

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

~~1846~~

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297162

Die Grundzüge

der praktischen Hydrographie

Richard Benker

Dr. phil. Richard Benker, Professor an der Universität zu Köln

1895

1895

x

1528

Bibliothek der gesamten Technik o 53. Band

Die Grundzüge
der
praktischen Hydrographie

Von

Richard Brauer

K. K. Baurat im Ministerium des Innern in Wien

Mit 24 Tabellen und 38 Textfiguren

22. 28451



Hannover

Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung

1907

2.38



I- 301717

Alle Rechte vorbehalten.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

~~II 1846~~

Altenburg
Pierersche Hofbuchdruckerei
Stephan Geibel & Co.

Akc. Nr.

~~3546/49~~

Vorwort.

Ich habe mir die Aufgabe gestellt, die Grundzüge der praktischen Hydrographie in dem engen Rahmen eines Handbüchleins darzulegen und mich auf das Wichtigste des Gegenstandes zu beschränken, um Techniker, an die in der Praxis einschlägige Arbeiten herantreten, und Laien, die sich für die hydrographische Forschung interessieren, in das Wesen dieses Wissenszweiges einzuführen.

In der Absicht, bei den Hauptmerkmalen der praktischen Hydrographie zu verbleiben, habe ich Ablenkungen auf die verwandten Wissensgebiete (Klimatologie, Hydromechanik, Wasserbau usw.) nach Möglichkeit vermieden bzw. auf das Notwendigste eingeengt.

Die Erfahrungen, die mir dabei zustatten gekommen sind, verdanke ich meiner langjährigen Tätigkeit im Österreichischen Hydrographischen Zentralbureau, das, von dem verewigten Ministerialrate **R o m u a l d I s z k o w s k i** auf breiter Basis organisiert, unter seinem gegenwärtigen Vorstande, dem Ministerial-

rate Diplom-Ingenieur Ernst Lauda, einen Aufschwung sondergleichen genommen hat.

Ich kann mir daher nicht versagen, diese mit der hydrographischen Forschung in Österreich so eng verknüpften Namen zu nennen.

Wien, im März 1907.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Einleitung	9

A. Die Niederschlagsbeobachtungen.

Der Kreislauf des Wassers	11
Die Niederschlagsmessung	11
Die selbstregistrierenden Regenmesser.	16
Die Messung der Schneedecke.	20
Die meteorologischen Anstalten.	21
Die Vorschriften für meteorologische Beobach- tungen.	22
Das Beobachtungsnetz	23
Der Wasserwert der Schneedecke	26
Die Summen und Mittelwerte der Niederschläge; Sturzregen.	29
Mittlere Jahresniederschlagshöhen.	31
Perzentueller Anteil der Monate an der Jahresniederschlagshöhe	33
15jährige Niederschlagsmittel in Württem- berg.	36
37jährige Niederschlagsmittel in der Schweiz	37
Größte Monatssummen des Niederschlages.	38
Größte Tageshöhen des Niederschlages	40
Sturzregen	42
Regenkarten	50
Schneekarten	51
Das Niederschlagsgebiet; das Flußgebiet	52
Die Niederschlagsmenge	55
Die mittlere Niederschlagshöhe eines Gebietes.	56

B. Die Wasserstands- und Abflusverhältnisse.

Die Speisung der Wasserläufe	60
Die Wasserstände und ihre Messung	60

	Seite
Die selbstregistrierenden Pegel	64
Die Verwaltung des Pegelwesens	68
Das Pegelnetz	69
Das Pegelprofil	70
Die Verarbeitung der Wasserstandsablesungen	71
Wasserstands-Mittel und -Grenzwerte	71
Die Häufigkeit bzw. Dauer der Wasserstände	75
Die Beharrungswasserstände	79
Korrespondierende Wasserstände; Pegelrelationen	79
Niederwasser, Mittelwasser und Hochwasser.	81
Graphische Darstellungen	83
Das hydrologische Jahr (Abflußjahr)	88
Die Wassermenge	90
Die Beziehung zwischen Wassermenge und Wasserstand	92
Die Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluß	97
Hochwasseruntersuchungen	107
Die Hochwasservorhersage u. Wasserstandsprognose	113
Hochwasserwarnungen	119
Schneesmelzhochwässer	122
Eishochwässer und Eiserscheinungen im allgemeinen	123
Seeretention	125
Die Schätzung der Höchstwassermenge	127
Die Schätzung der Mittel- und Niederwassermengen	128
Die Beziehungen zwischen der Lufttemperatur und der Wasserführung der Flüsse	133
Hydrographische Notizen für die Entwässerung der Städte (Kanalisation)	136
Der Wasserbedarf für Wasserversorgungsanlagen	139
Die Ausnutzung der Wasserkraft.	142

C. Die Wassermessungen.

Die Wassergeschwindigkeit; das Gefälle	144
Die Instrumente und Geräte zur Messung der Wassergeschwindigkeit.	149
1. Die Oberflächenschwimmer	149
Die Schwimmermessungen.	150
2. a) Der hydrometrische Stangenflügel	153
b) Der Schwimmflügel oder Hochwasserflügel	166
Vorrichtungen zum Zählen und Registrieren der Flügelumdrehungen	170
Die Meßgeräte	172
Die Umlaufwerte der hydrometrischen Flügel.	174
Die Bestimmung der Flügelkonstanten (Tarierung der Flügel)	175

	Seite
Hydrometrische Prüfungsanstalten	177
Die Durchführung von Wassergeschwindigkeits- messungen in offenen Gerinnen	180
a) Das Arbeitsprogramm	180
b) Die Meßstelle	181
c) Die geodätische Aufnahme und planliche Darstellung der Meßstelle	182
d) Die Gefällsbestimmung des Wasserspiegels an der Meßstelle	183
e) Die Erhebung der Wassergeschwindigkeit im Messungsprofile	185
f) Die Bestimmung der mittleren Geschwindig- keit in den Lotrechten und die Berechnung des wahren mittleren Messungswasserstandes	190
g) Die Berechnung der Abflußmenge aus den mittleren Geschwindigkeiten in den Lot- rechten	198
h) Die Bestimmung der Abflußmenge aus den Oberflächengeschwindigkeiten	200
i) Die Berechnung der mittleren Profil- geschwindigkeit	202
Geschwindigkeitsformeln	202
Die Aufnahme des Flußgrundes	214
Die unmittelbare Bestimmung der Wassermenge	220
Messung mit geeichten Gefäßen	221
Messung an Druckschützen	221
Messung an Überfällen	226
Messung an Stauanlagen	229
—	
Sachregister	231

Einleitung.

Unter der Bezeichnung „praktische Hydrographie“ ist jener Wissenszweig zu verstehen, der sich mit den Abflußvorgängen in den natürlichen und künstlichen Gerinnen wie auch mit ihren Ursachen und Wirkungen beschäftigt.

Die praktische Hydrographie liefert dem Wasserbauingenieur die Grundlagen für die Projektierung und Ausführung von Wasserbauwerken aller Art, die Grundlagen für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte und schafft Mittel und Wege zur Milderung der schädlichen Wirkungen der Hochwässer. Ihre Hauptaufgaben liegen daher in der Beobachtung der atmosphärischen Niederschläge (Regen und Schnee) und der Wasserstandsschwankungen der Flüsse, in der Sammlung und Verwertung dieser Beobachtungsergebnisse und in der Bestimmung der Abflußmengen der Gewässer. Aus den benannten Erhebungsdaten resultieren jene wichtigen Verhältniszahlen, die die Beziehung zwischen den Niederschlagsmengen und den abfließenden Wassermassen einerseits und zwischen den Wasserständen und den Wassermengen der Flüsse anderseits darstellen.

Das Wissensgebiet der praktischen Hydrographie wird daher am besten in drei Hauptabschnitte zu gliedern sein:

- A. Die Niederschlagsbeobachtungen.
 - B. Die Wasserstands- und Abflußverhältnisse.
 - C. Die Wassermessungen.
-

A. Die Niederschlagsbeobachtungen.

Der Kreislauf des Wassers.

Der den Luftraum erfüllende, zu Wolken verdichtete Wasserdampf fällt unter der kühlenden Einwirkung von aufsteigenden Luftströmungen, je nach dem Stande der Lufttemperatur, meist als Regen oder Schnee zur Erde. Das Regen- oder das Schneeschmelzwasser wird zum Teile von den Pflanzen, von der Ackerkrume, von dem Wald- und Wiesengrunde aufgenommen, versickert zum großen Teile durch die Spalten der Erdrinde, um sich auf wasserundurchlässigen Schichten zu sammeln, als Quellen wieder zutage zu treten, die offenen Gerinne zu füllen und dem Meere bzw. den Landseen zuzuströmen. Die feuchte Erde, die stehenden und fließenden Gewässer und vor allem das Meer geben einen Teil ihrer Feuchtigkeitsmenge als Dunst wieder an die Luft ab; es entstehen Nebel und Wolken, und das Spiel beginnt von neuem. Diesen sich endlos wiederholenden Vorgang nennt man den Kreislauf des Wassers.

Die Niederschlagsmessung.

Die verschiedenen Formen, in welchen das Wasser aus dem Luftraum herabfällt (Regen, Schnee, Tau, Graupel, Hagel usw.), faßt man unter dem ge-

meinsamen Namen „Niederschlag“ zusammen. In Laienkreisen wird unter „Niederschlag“ irrtümlich meist nur „Nebel“ verstanden.

Für den Wasserbauer bzw. für den Hydrographen ist vor allem der als Regen oder Schnee fallende Niederschlag von Interesse, und zwar ist es das Volumen, die „Menge“ dieser Niederschläge, die zu kennen für ihn von Wichtigkeit ist, da sie ja zu den Abflusssmengen der Flüsse in einer direkten Beziehung steht und aus diesen die Abmessungen für künstliche Gerinne und Kanäle, ferner die Grundlagen für die Flußregulierungen abzuleiten sind.

Es ist daher notwendig, die Niederschläge zu messen.

Man mißt aber nicht die Menge des Regens, sondern die Regenhöhe, d. i. die Höhe (bzw. Tiefe) der Wasserschichte, die sich auf der undurchlässigen, ebenen und wagerechten Bodenfläche eines dem Regen ausgesetzten Gefäßes mit vertikalen Wänden ohne Abfluß ansammelt. Es ist einleuchtend, daß dies das gleiche Höhenmaß ist, das sich ergeben würde, wenn der Regen auf ein ebenso großes, undurchlässiges, ebenes und wagerechtes Flächenstück des Erdbodens fiel, ohne einen Abfluß zu finden.

Die Regenhöhe wird in Millimetern ausgedrückt.

Die Apparate, in denen man den Regen aufängt, um die Regenhöhe zu messen, nennt man „Regenmesser“ oder „Ombrometer“.

Sie bestehen im wesentlichen aus einem Zinkblechbehälter, dem ein zweites ebensolches Gefäß mit trichterförmigem Boden aufgesetzt ist. Das in den Trichter gelangende Niederschlagswasser ergießt sich in ein Sammelgefäß (Kanne oder Flasche), das auf dem Boden des Zinkblechbehälters steht. Der

Behälter ist an einem in die Erde gerammten hölzernen Ständer befestigt oder auf ein Konsolbrett gestellt, das an dem Ständer angebracht ist.

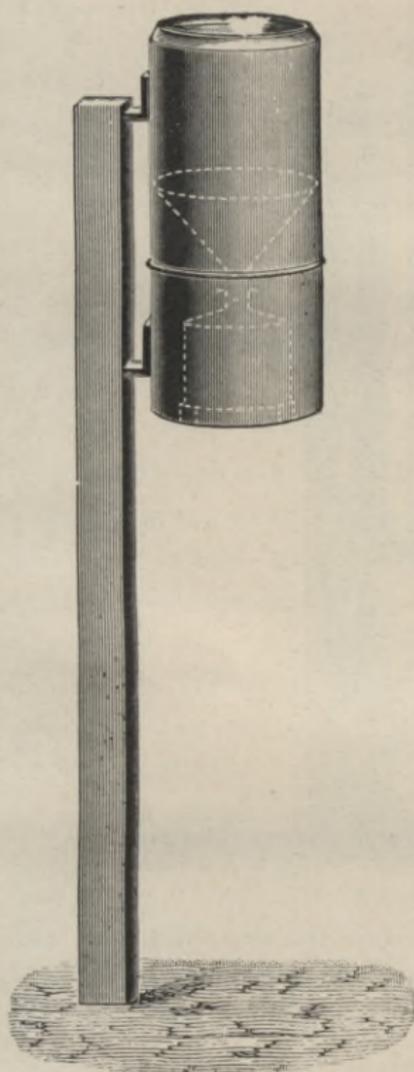


Abb. 1.

Der Hellmannsche Regenmesser.

Die Abb. 1 zeigt den in Preußen in Gebrauch stehenden Hellmannschen Regenmesser; die Abb. 2 den österreichischen Apparat.

Der erstere hat eine Einfallsöffnung von 159,6 mm Durchmesser und $\frac{1}{50}$ qm = 200 qcm Fläche; das österreichische Ombrometer hat eine Einfallsöffnung von 252,3 mm Durchmesser und $\frac{1}{20}$ qm = 500 qcm Fläche. Die Höhe der Öffnung über dem Boden wird, wenn nicht besondere Gründe für eine höhere Lage sprechen (Schneeverwehung), gewöhnlich mit 1 m gewählt.

Zur Messung des Niederschlagswassers bzw. zur Bestimmung der Regenhöhe dient die Maßröhre oder das Meßglas, ein mit einer gravierten Teilung versehenes röhrenförmiges Glasgefäß von wenigen Zentimetern Durchmesser, in welches der Inhalt

des Sammelgefäßes eingefüllt wird.

Die Abb. 3 zeigt ein solches Meßglas. Die bezifferten Teilstriche bedeuten ganze Millimeter der Regenhöhe, die Zwischenteilstriche Zehntelmillimeter.

Zur näheren Erklärung der Teilung des Glases sei folgendes hinzugefügt: Bedeutet V die im Regen-

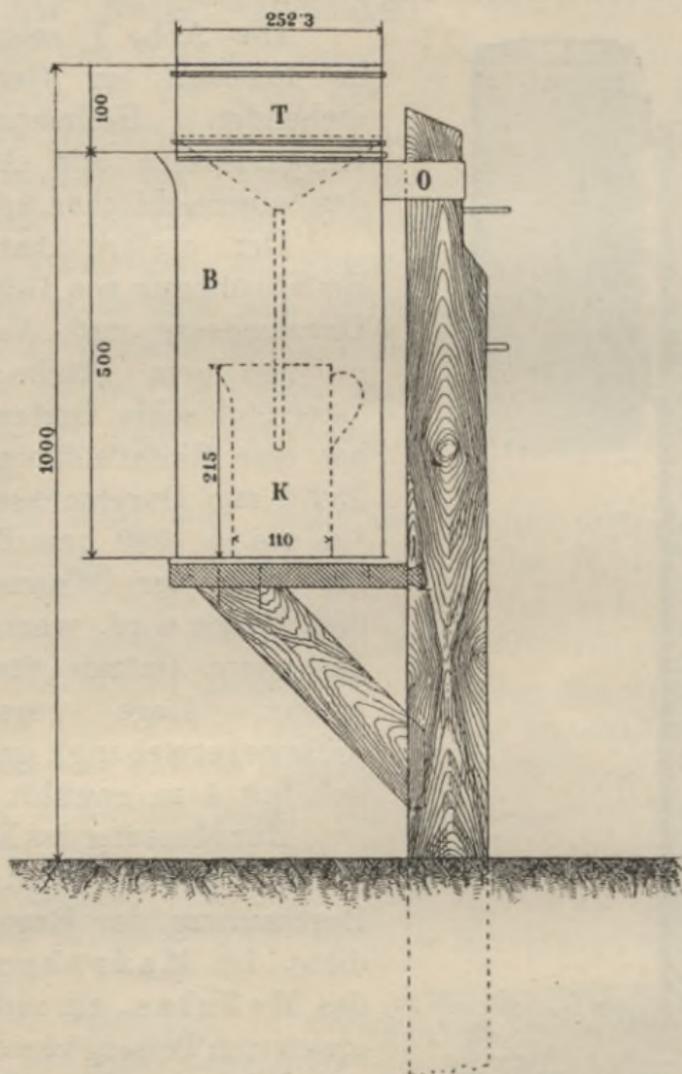


Abb. 2. Der österreichische Regenmesser (Ombrometer).

messer aufgefangene Wassermenge, F die Einfallsfläche des Regenmessers und h die Regenhöhe, so ist:

$$V = F \cdot h.$$

In dem Meßglase mit der Kaliberfläche f bildet

dasselbe Wasserquantum eine Säule von der Höhe x ; es ist also auch

$$V = fx,$$

daher

$$Fh = fx$$

$$x = \frac{Fh}{f}.$$

Ist nun $F = 20 f$ und $h = 1$ mm, so ist

$$x = 20 \text{ mm},$$

d. h. eine 20 mm hohe Wassersäule in dem Meßglase repräsentiert 1 mm Regenhöhe.

Da das Meßglas nur auf 10 mm Niederschlagshöhe geteilt ist, muß dasselbe zwei oder mehrere Male gefüllt werden, wenn mehr als 10 mm Niederschlag gefallen sind.

Fällt der Niederschlag in Form von Schnee (Hagel oder Graupeln), so muß er geschmolzen werden, falls die Schmelze nicht ohnehin sofort eintritt.

Man trägt das Auffangegefäß in einen wärmeren geschlossenen Raum, deckt dasselbe, um die Verdunstung möglichst zu verhüten, zu und mißt nun das Schmelzwasser so wie den Regen mittels der Maßröhre. Indessen fängt der untere Behälter des Regenmessers die etwa noch fortgesetzt fallenden Schneemengen auf. Auch kann man den Behälter durch ein gleichkalibriges Reservegefäß ersetzen, damit von der Niederschlagsmenge nichts ungemessen verloren gehe.

Die Messung der Regenhöhe wird gewöhnlich nur einmal des Tages, und zwar in den Morgen- oder Mittagstunden vorgenommen; das Ergebnis der Messung

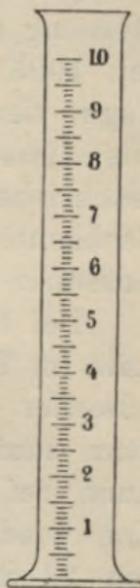


Abb. 3.
Die Meßröhre.

gilt für die abgelaufenen 24 Stunden als Tagesniederschlag und wird entweder für den Tag der Messung (wie in Preußen, Bayern, Sachsen, Baden, seit 1905 auch Württemberg usw.) oder für den dem Tage der Messung vorhergegangenen Tag (bis 1904 Württemberg, Österreich, Schweiz) aufgeschrieben. Im letzteren Falle notiert also der Beobachter z. B. den am 1. Mai um 7 Uhr früh gemessenen Niederschlag für den 30. April.

Bei Schneefall müssen die Messungen mehrmals im Tage wiederholt werden, da die Gefäße sich schneller füllen. Die Messungsergebnisse werden dann summiert, um den Niederschlag zu erhalten. Auch bei ergiebigen Regenfällen empfiehlt sich eine wiederholte Messung innerhalb des Zeitraumes von 24 Stunden, um die verschiedenen Grade der Dichtigkeit (Intensität) des Regens der Zeit nach festsetzen zu können. Bei Sturzregen (Wolkenbrüchen) interessiert der Beginn und die Dauer des Ergusses sowie die Regenhöhe während desselben.

Diese sogenannten „außerordentlichen Beobachtungen“ sind für technische Zwecke von einer besonderen Wichtigkeit, da man hiedurch einen Maßstab für die größten im Verlaufe einer Stunde oder einer Minute zu erwartenden Regenhöhen bzw. Regenmengen erhält, auf deren Kenntnis man bei der Projektierung einer unterirdischen Wasserableitung, einer Kanalisation, angewiesen ist.

Die selbstregistrierenden Regenmesser.

Die besten Anhaltspunkte über den zeitlichen Verlauf und die Dichtigkeitsverteilung der Niederschläge geben die selbstzeichnenden Regenmesser (Regenschreiber, Ombrographen), die meist

auf dem Prinzipie beruhen, daß das in den sogenannten Sammelzylinder gelangende Regenwasser einen „Schwimmer“ hebt und die Schwimmerbewegung

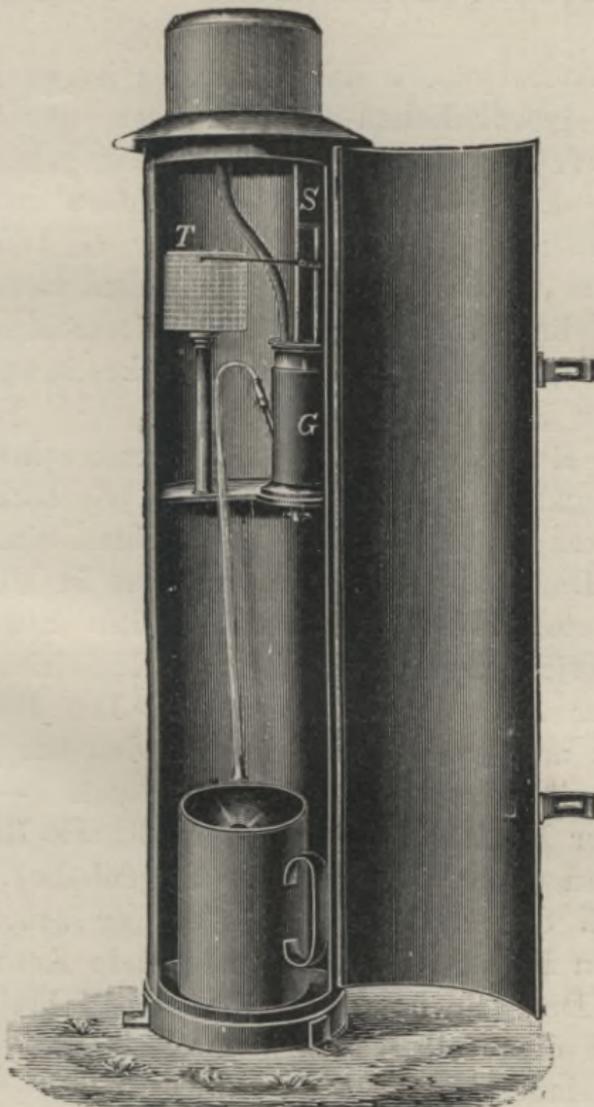


Abb. 4. Der registrierende Regenmesser Hellmann-Fueß.

mittelst eines Schreibstiftes auf eine langsam rotierende, mit einem entsprechend geteilten Registrierpapier überzogene „Trommel“ übertragen wird.

Als der einfachste und billigste Apparat dieser Gattung gilt heute der von dem Mechaniker R. Fueß in Steglitz bei Berlin konstruierte registrierende Regenmesser (Regenschreiber) von G. Hellmann (Abb. 4).

Die Auffangfläche des Apparates ist so groß wie die der gewöhnlichen Regenmesser des Systems Hellmann (200 qcm). Das Regenwasser gelangt durch eine von dem Boden des Fangtrichters ausgehende Röhre unter den in dem Zylinder *G* befindlichen Schwimmer, dessen Achse *S* mit dem Schreibstift in Verbindung steht. Die Registriertrommel dreht sich unter dem Antriebe eines Uhrwerkes in 24 Stunden einmal um ihre Achse.

Das Registrierpapier ist im senkrechten Sinne nach Stunden geteilt und nach Sechstelstunden (10 Minuten) unterteilt; im wagerechten Sinne ist es für die Darstellung der Regenhöhen in Millimetern und Zehntelmillimetern rastriert. Ein Stück eines mit Aufzeichnungen versehenen Registrierstreifens ist in der Abb. 5 wiedergegeben. Die Bezifferung von links nach rechts gibt die Stunden an, jene von unten nach oben die Regenhöhen von 0—10 mm. Langt der Registrierstift an dem oberen Rande des Papiers an (also bei je 10 mm Regenhöhe), so entleert sich der Zylinder *G*, indem er seinen Inhalt durch den Heber in das untenstehende Kontrollgefäß ergießt. Der Schwimmer — mit dem Schreibstift — sinkt auf die Nullage hinab und steigt, wenn der Regen andauert, neuerlich empor.

Auf ganz ähnlichen Prinzipien beruht der in der Abb. 6 (Seite 20) dargestellte, im österreichischen hydrographischen Dienste in Verwendung stehende und in der mechanischen Anstalt O. A. Ganser in Wien konstruierte „Ombrograph“ (Modell 1902;

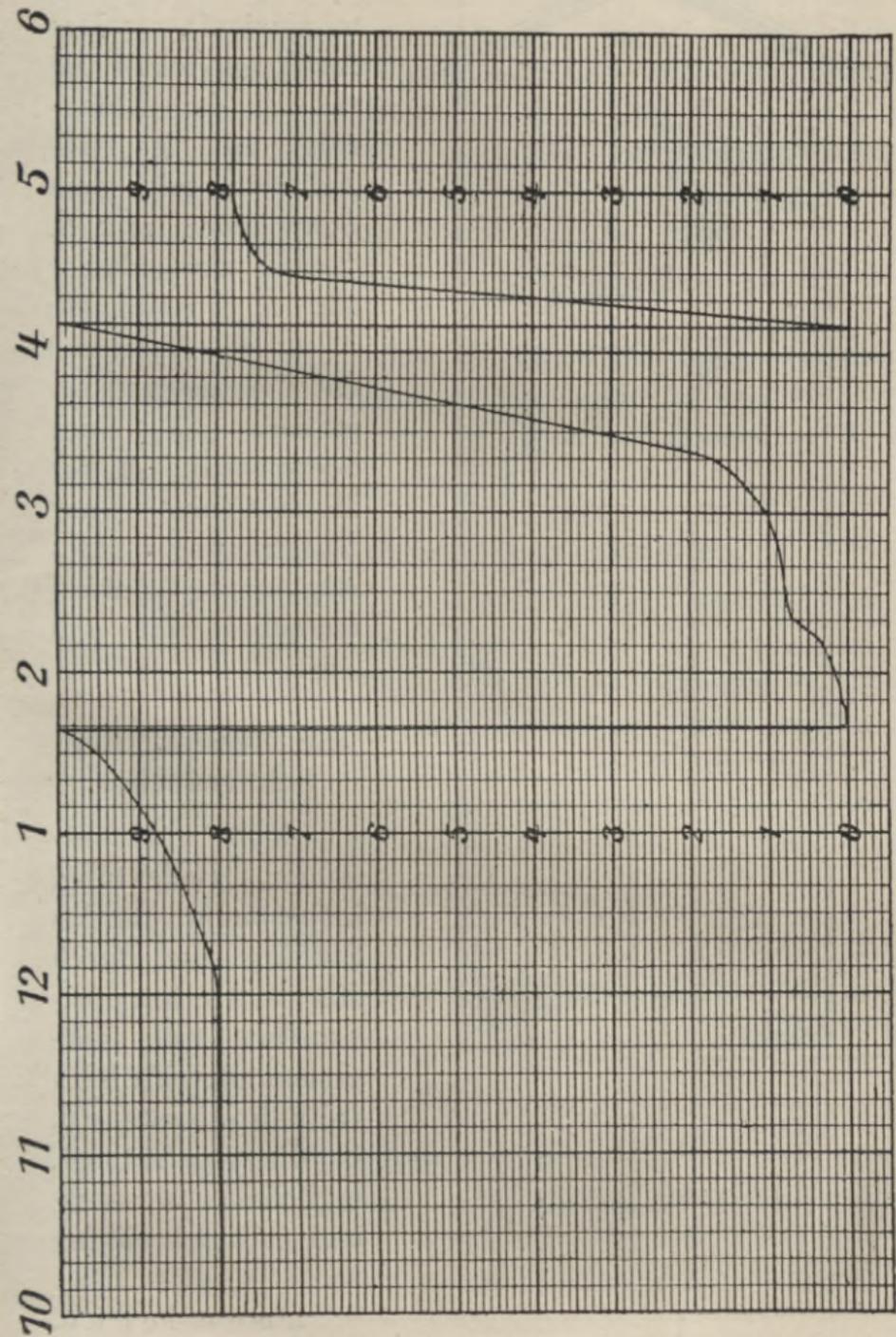
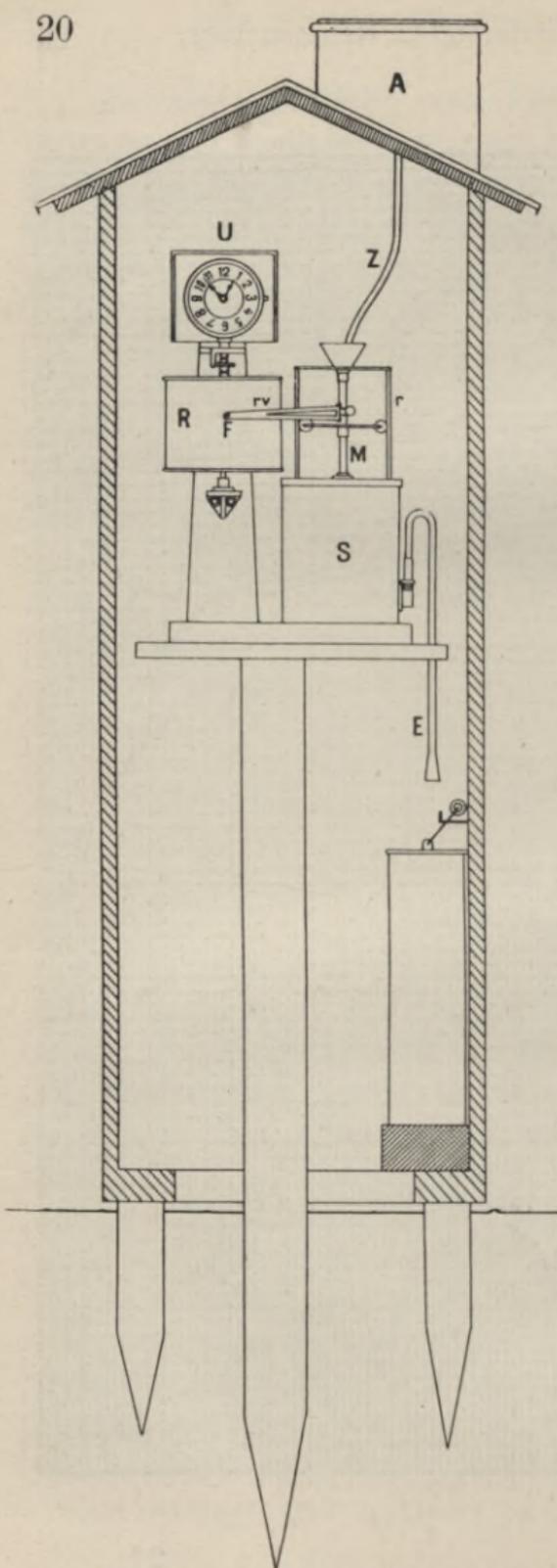


Abb. 5. Aufzeichnungen des Regenschreibers von Hellmann.



System Iszkowski, modifiziert). Der Auffangetrichter ist mit *A*, das Abfallrohr mit *Z*, der Zylinder mit dem Schwimmer mit *S*, der Entleerungsheber mit *E* bezeichnet; *R* ist die Trommel mit dem Registrierpapier, *F* der Schreibstift, *M* der Mechanismus zur Übertragung der Bewegung der Schwimmerachse auf den Stift.

Die Messung der Schneedecke.

Von wesentlicher Bedeutung, insbesondere für das Studium der durch die Schneeschmelze entstehenden Frühjahrshochwässer, ist die regelmäßige, tägliche Messung und Aufschreibung der Stärke der Schneedecke. Hiezu dient der

Abb. 6. Ombrograph (Modell 1902 des österr. hydrogr. Zentralbureaus).

Schneepegel; ein mit einer Dezimeter- (oder Zentimeter-)Teilung versehener, senkrecht in den Boden gerammter Pfahl (oder Stab). Der Nullpunkt der Teilung liegt in der Oberfläche des Bodens. Die Teilung muß namentlich dann besonders deutlich ausgeführt werden, wenn die Ablesung des Pegels — wie dies im Hochgebirge oft der Fall ist — aus weiten Entfernungen, etwa mit dem Fernglase durchzuführen ist.

Die Ablesung des Pegels wird meist in den Morgenstunden vorgenommen und die erhobene Schneehöhe gilt für den Tag der Messung. Die Maßeinheit hiefür ist das Zentimeter.

Die meteorologischen Anstalten.

Die Durchführung aller eben besprochenen Messungen und Beobachtungen, bzw. die Errichtung, Ausstattung und Überwachung der betreffenden Beobachtungsstationen, die Anwerbung und Anleitung der Beobachter, die Prüfung, Verwertung und Veröffentlichung der Messungsergebnisse fällt in den Tätigkeitsbereich der meteorologischen bzw. auch der hydrographischen Anstalten.

Solche sind:

a) Im Deutschen Reiche:

- Das Königl. Preußische Meteorologische Institut in Berlin;
- Die Meteorologische Station I. Ordnung in Aachen;
- Die Deutsche Seewarte in Hamburg;
- Das Meteorologische Observatorium der freien Hansestadt Bremen;
- Das Königl. Sächsische Meteorologische Institut in Dresden (früher in Chemnitz);
- Die Meteorologische Zentralstation in München;

Das Hydrotechnische Bureau in München;
 Die Meteorologische Zentralstation in Stuttgart;
 Das Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie
 im Großherzogtum Baden in Karlsruhe;
 Das Hydrographische Bureau in Darmstadt (Hessen);
 Der Meteorologische Landesdienst in Straßburg;
 Die Meteorologische Zentralstelle in Ilmenau
 (Thüringen).

b) In Österreich:

Die K. K. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien;
 Das K. K. Hydrographische Zentralbureau in Wien
 (Departement 16 des Ministeriums des Innern).

Anmerkung: Das Hydrographische Zentralbureau hat das Netz der Regenstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, den Anforderungen der Hydrographie (Gewässerkunde) entsprechend, erweitert und verwertet die Aufschreibungen aller in Österreich bestehenden Regenmeßstationen für seine Zwecke.

Über eigene Beobachtungsnetze verfügen auch:
 Das Bauamt der Stadt Wien, der Naturforschende Verein in Brünn (Mähren) usw.

c) In der Schweiz:

Die Meteorologische Zentralstation in Zürich;
 Das eidg. Hydrometrische Bureau in Bern.

Die Vorschriften für meteorologische Beobachtungen.

Von den die nähere Beschreibung der Regenmeßapparate und ihrer Bedienung enthaltenden Vorschriften über die Durchführung der Messungen, über die Aufstellung der Apparate und die Aufschreibung der Beobachtungsergebnisse usw. seien hier die folgenden ausgewählt:

Anleitung zur Anstellung und Berechnung meteorologischer Beobachtungen. Herausgegeben vom Königl. Preuß. Meteorologischen Institute in Berlin. A. Asher in Berlin 1904.

Jelineks Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen nebst einer Sammlung von Hilfstabellen. Herausgegeben von der Direktion der K. K. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien; 1905. In Kommission bei Wilh. Engelmann in Leipzig.

Vorschriften für ombrometrische Beobachtungen nebst Anleitung zur Beobachtung der Lufttemperatur. Herausgegeben vom K. K. Hydrographischen Zentralbureau in Wien; 1895. In Kommission bei Wilh. Braumüller.

Vorschriften für die Beobachtung der Schneedecke und der wichtigsten Begleiterscheinungen. Herausgegeben vom K. K. Hydrographischen Zentralbureau in Wien; 1895.

Das Beobachtungsnetz.

Einer Veröffentlichung des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien, der „Instruktion für die Durchführung des ombrometrischen Dienstes“, seien die nachfolgenden Grundsätze für die räumliche Anordnung und Fixierung des Netzes der ombrometrischen Beobachtungsstationen entnommen:

„Bei der Veränderlichkeit, welcher die atmosphärischen Niederschläge unterliegen, ist zu ihrer Beurteilung ein möglichst dichtes Netz der ombrometrischen Stationen erforderlich.

„Um ferner einen tunlichst gleichen Genauigkeitsgrad der bezüglichen Erhebungen bei verschiedenen

Terrainlagen zu erlangen, wird im Gebirge, woselbst die Niederschläge in der Regel stärker, öfter und ungleichmäßiger als im Flach- und Hügellande auftreten, die Ausgestaltung eines verhältnismäßig noch dichterem Stationsnetzes als in dem letzteren anzustreben sein.

„Überdies ist ein besonderes Gewicht darauf zu legen, daß der verschiedenartige ombrometrische Charakter der einzelnen Teile eines Flußgebietes bzw. die Abhängigkeit der Menge und der Verteilung der Niederschläge von der Höhenlage der betreffenden Terrainpunkte deutlich zum Ausdruck gelangen.

„Dieser Zweck kann nur dadurch erzielt werden, daß in den Tälern, sowie auf den Gehängen und Kämmen (Wasserscheiden) eine dem ombrometrischen Charakter dieser Gebirgsteile entsprechende Anzahl von Beobachtungsstationen angelegt wird, wobei die Gehänge voraussichtlich die meisten Stationen erheischen werden.

„In analoger Weise muß bei Anordnung derjenigen Stationen, welche die Erhebungen der jeweiligen Höhe der Schneedecke bezwecken, darauf Bedacht genommen werden, daß die Schneedecke je nach der die Wirkungsweise der Winde und der Sonnenstrahlen bedingenden Art der Exposition und der Höhenlage der betreffenden Stelle, sowie nach den sonstigen in den Vorschriften für die Beobachtung der Schneedecke erwähnten Umständen verschiedenartig gestaltet, demgemäß die zur Feststellung der wahren (mittleren) Schneedeckenhöhe notwendigen Vorkehrungen nach Maßgabe der Ortsverhältnisse fallweise getroffen werden müssen.“

Es ist einleuchtend, daß bei der Ausgestaltung eines Stationsnetzes für die Beobachtung der Niederschläge neben den eben erläuterten Gesichtspunkten

auch der Einfluß der Meeresnähe und die Lage der Gebirgszüge zu der herrschenden Windrichtung in Betracht kommen, da die geringere Entfernung eines Ortes von dem Meere einen größeren Feuchtigkeitsgehalt der Luft mit sich bringt und die Gebirge den Zug der Luftschichten je nach der Windrichtung ab- oder zuleiten.

Das Netz des Meteorologischen Instituts in Berlin erstreckt sich nicht nur auf Preußen, sondern auch auf die benachbarten deutschen Staaten und umfaßte im Jahre 1902 im ganzen 2567 Niederschlagsstationen, von welchen 2294 im Königreiche Preußen, die übrigen 273 in den angrenzenden Großherzogtümern, Herzogtümern und Fürstentümern bzw. in den freien Städten gelegen sind.

Die Dichtigkeit des Netzes ist sehr verschieden. Während im norddeutschen Flachlande auf etwa 250—350 qkm eine Station entfällt, ist die Stationsanzahl in den gebirgigen Landesteilen 3—8 mal so groß. Am dichtesten ist das Netz in den hohen Gebirgsstöcken (Riesengebirge, Harz, Thüringer Wald, Taunus, Westerwald, Sauerland); daselbst kommt eine Station schon auf 30—60 qkm¹.

Über die mittlere Dichte des Stationsnetzes in den größeren hier in Betracht kommenden mitteleuropäischen Staatsgebieten gibt die Tabelle (Seite 26) Aufschluß.

Die Anzahl der Stationen, an welchen die Stärke der Schneedecke (Schneehöhe, Schneetiefe) gemessen wird, betrug

¹ Siehe Veröffentlichungen des Königlich Preußischen Meteorologischen Institutes in Berlin: Ergebnisse der Niederschlagsbeobachtungen im Jahre 1902; von G. Hellmann. Erscheint alljährlich.

in Preußen im Jahre 1900 . . .	180
„ Sachsen „ „ 1901/02 . . .	636
„ Bayern „ „ 1898 . . .	122
„ Baden „ „ 1905 . . .	38
„ Österreich „ „ 1905/06 rund	1100.

Staat	Flächeninhalt in qkm	Anzahl der Stationen (Jahr)	Eine Station entfällt auf qkm
Preußen	348 607	2294 (1902)	152
Sachsen	14 993	179 (1901)	84
Bayern	75 865	340 (1904)	223
Württemberg	19 517	96 (1904)	204
Baden	15 081	51 (1905)	300
Hessen	7 682	44 (1905)	175
Reichsland	14 507	64 (1901)	226
Österreich ¹	300 010	2656 (1904)	113
(ohne Ungarn)			
Schweiz	41 346	375 (1904)	110

Der Wasserwert der Schneedecke.

Da die Sammlung von Daten über die Stärke der Schneedecke für die Lösung von hydrotechnischen Aufgaben, etwa für die Schätzung der Schmelzwassermengen, die die Flüsse bei dem plötzlichen Eintreten von Tauwetter abzuführen haben, nur dann ihren Zweck zu erfüllen geeignet ist, wenn man den Wasserwert der Schneedecke kennt, d. h. wenn man weiß, welcher Wasserhöhe die gemessene Schneelage entspricht, werden an einzelnen Schneepegelstationen solche Wertbestimmungen vorgenommen.

So wurde z. B. in dem Gebiete des Preußischen Meteorologischen Instituts im Jahre 1902 an 19 Stellen der Wassergehalt der Schneedecke erhoben.

¹ Das dichteste Netz hat Böhmen: eine Station auf 71 qkm.

Im Mittel betrug der Wasserwert eines Zentimeters der Schneestärke 1,54 mm und schwankte zwischen den Werten 0,2 und 6,7 mm.

In dem Jahrbuche des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien pro 1903, Abschnitt I: „Das Donaugebiet“ finden sich die folgenden Angaben über den Wasserwert der Schneedecke.

W a s s e r w e r t d e r S c h n e e d e c k e
i m W i n t e r 1902/03.

Station	Datum	Schnee- höhe in cm	Alter der Schnee- decke in Tagen	Wasser- wert in mm	Schneehöhe
					Wasserwert
Scharnitz	3/XII. 1902	64	47	72,5	8,8 : 1
Rothholz	22./XII. „	30	7	69	4,4 : 1
„	8./I. 1903	30	24	80	3,7 : 1
„	26./I. „	37	42	90	4,1 : 1
„	23./II. „	25	70	60	4,2 : 1
Saalfelden	22./XII. 1902	47	6	58,2	8,1 : 1
„	4./I. 1903	48	19	82,5	5,8 : 1
Hadersdorf	24./I. „	12	12	14,4	8,3 : 1
Raxalpe	28./I. „	31	?	129	2,4 : 1
„	13./III. „	112	?	110	10,2 : 1
Semmering	13./III. „	32	8	38	8,4 : 1
Stixenstein	14./III. „	20	7	64,4	3,1 : 1

Ein Zentimeter der Schneehöhe entsprach sohin :

in Scharnitz	einer Wasserhöhe von	$(72,5 : 64) = 1,13$	mm
in Rothholz	am 22./XII. 1902	einer Wasserhöhe v.	2,28 „
„	„ 8./I. 1903	„	„ 2,70 „
„	„ 26./I. „	„	„ 2,44 „
„	„ 23./II. „	„	„ 2,38 „
in Saalfelden	„ 22./XII. 1902	„	„ 1,23 „
„	„ 4./I. 1903	„	„ 1,72 „
in Hadersdorf	„	„ 1,20 „

auf der Raxalpe am 28./I. 1903	einer Wasserhöhe v.	4,17	mm
" " " " 13./III. " "	"	0,98	"
auf dem Semmering . . .	"	1,19	"
in Stixenstein	"	3,22	"

Als Mittelwert ergibt sich hieraus eine Wasserhöhe von 2,05 mm. Die Grenzwerte sind: 0,98 und 4,17 mm Wasserhöhe für 1 cm Schneehöhe.

In der Station Langen am Arlberge (Rheingebiet) ergaben sich die folgenden, dem VI. Abschnitte des eben bezeichneten Jahrbuches entnommenen Werte der Schneedichte.

Datum 1903	Höhe in cm	Wasserwert in mm	Dichte
3. Januar . . .	123,5	263	0,21
10. " . . .	81	159,3	0,20
17. " . . .	98	319,1	0,33
24. " . . .	99	318,3	0,32
31. " . . .	92	270,6	0,29
7. Februar . . .	101	335,7	0,33
14. " . . .	100	319,4	0,32
21. " . . .	122,5	388	0,32
28. " . . .	87,5	364,5	0,42
7. März	113	392,7	0,35
14. "	95	373,8	0,39
21. "	86	356,3	0,41
28. "	45,5	199,9	0,44
4. April	51,5	182,1	0,35
11. "	84	226,6	0,27
18. "	86	257,1	0,29
25. "	73	283,3	0,39
2. Mai	31	145,5	0,47
24. Oktober . . .	8	25,1	0,31
21. November . .	53	64,8	0,12
28. "	98	196,8	0,20
5. Dezember . .	67	186,4	0,28
12. "	75	215,7	0,29
19. "	65	206,1	0,32
26. "	63	201,7	0,32

Mittelwert der Dichte 0,32

Im Mittel entsprach demnach ein Zentimeter Schneehöhe einer Wasserhöhe von 0,32 cm oder von 3,2 mm. Die Grenzwerte resultierten mit 1,2 und 4,7 mm.

Man sieht aus den weiten Grenzen des Wasserwertes der Schneedecke, daß ein allgemeiner Mittelwert für die Umrechnung von Schnee in Wasser eigentlich nicht besteht bzw. nicht praktisch anwendbar wäre. Soll daher die Berechnung eines Schneeschmelzhochwassers der Menge nach halbwegs verläßlich durchgeführt werden, so muß eine genügend große Anzahl von tatsächlichen Erhebungsdaten über die Ausbreitung der Schneedecke, über ihre Mächtigkeit und ihre Dichte vorliegen.

Um den Wasserwert der Schneedecke zu bekommen, wird (an einer Stelle, wo der Schnee möglichst gleichmäßig abgelagert ist und ungefähr dieselbe Mächtigkeit aufweist, wie um den Schneepiegel) mit dem zum Regenschirm gehörigen Behälter oder mit dem Reservegefäß ein Schneezylinder aus der Schneelage ausgestochen, durch Unterschieben einer Platte gehoben und in dem Behälter zur Schmelze gebracht. Das Schmelzwasser wird dann mit dem Meßglase in derselben Weise gemessen wie das Regenwasser.

Die Summen und Mittelwerte der Niederschläge; Sturzregen.

Wie aus den vorstehenden Ausführungen zu entnehmen ist, bildet die „Niederschlagshöhe“ bzw. die tägliche Messung derselben eines der wesentlichsten Elemente der hydrographischen Forschung und die Veröffentlichung der Beobachtungsergebnisse

einen Hauptbehelf für das Studium hydrographischer Fragen.

Es sind aber nicht so sehr die einzelnen Tagesniederschlagshöhen, als vielmehr ihre Summen im Verlaufe eines Monats, einer Jahreszeit, eines Jahres; ferner die Mittelwerte der Summen für eine längere Reihe von Jahren oder auch die Summen im Verlaufe einer Regenperiode, eines mehrtägigen katastrophalen Ergusses usw., die den Wasserbautechniker interessieren; schließlich aber auch die näheren Angaben über die außergewöhnlichen (extremen) Regenhöhen im Verlaufe einer Stunde, einer Minute (Sturzregen).

Es folgt nun hier eine Reihe von Tabellen, aus welchen ein Überblick über die Regenverhältnisse im Deutschen Reiche, in Österreich und in der Schweiz gewonnen werden soll.

(Siehe Tabelle I Seite 31 und 32.)

Es muß betont werden, daß alle in der Tabelle I enthaltenen Zahlen Mittelwerte sind, daß also auch die Grenzwerte der Schwankung der Jahresniederschlagshöhe innerhalb der in der ersten Rubrik angegebenen Gebiete (zehnjährige) Mittelzahlen vorstellen, nicht aber äußerste Grenzwerte des Jahresniederschlages überhaupt. Für hydrotechnische Zwecke, z. B. zum Studium der Wasserverhältnisse eines Flußgebietes, reichen die Mittelzahlen nicht nur aus, sie sind vielmehr allein maßgebend, wenn die aus den Niederschlagsverhältnissen abzuleitenden allgemeinen Gesichtspunkte für die Regulierung eines Gewässers auf Mittelwasser gewonnen werden sollen.

Tabelle I. Mittlere Jahresniederschlagshöhen.
(Durchschnitt aus mehrjährigen Perioden).

Gebiet	Hauptfluß	Periode	Die mittlere Jahresniederschlagshöhe	
			schwankt je nach der Lage der Orte von — bis	beträgt im Durchschnitt
Ostpreußen	Memel und Pregel	1889—1898	514—752	600
Westpreußen	Weichsel	1890—1899	443—770	541
Posen	Warthe (Oder)	1890—1899	450—620	513
Schlesien	Oder	1888—1897	517 bis über 1400	680
Brandenburg	Oder,	1891—1900	460—700	556
Pommern	Ostseeflüsse und	1891—1900	450—784	599
Mecklenburg	Elbe	1891—1900	515—681	602
Sachsen (Provinz) mit Thüringen	Elbe	1891—1900	418—1700 (Harz)	593
Schleswig-Holstein, Hannover	Eider, Elbe, Weser	1892—1901	569—820	718
mit Oldenburg u. Braunschweig	und Ems	1892—1901	584—1305	690
Harz, östlicher Teil	—	1892—1901	700—1700	633
Harz, westlicher Teil	—	1892—1901	700—1700	1030
Westfalen	Weser, Ems, Rhein	1892—1901	535—1300	804
Hessen-Nassau mit Oberhessen	Weser, Rhein	1893—1902	520—1085	691
Rheinprovinz	Rhein	1893—1902	513—1345	754
Hohenzollern	Rhein, Donau	1893—1902	638—1247	785
Sachsen (Königreich).	Elbe	1864—1890	488—1028	732
Bayern (Donaugebiet)	Donau	1901—1904	475—1835	887
Württemberg	Rhein, Donau	1888—1902	615—1926	871
Baden	Rhein	1888—1897	495—1700	1058
Hessen (Großherzogtum)	Rhein	1901—1905	464—1065	676
Elsaß-Lothringen	Rhein	1894—1901	570—2185	1060
	Mosel	1894—1901	637—1289	820

Tabelle I. (Fortsetzung.)

Gebiet	Hauptfluß	Periode	Die mittlere Jahresniederschlagshöhe	
			schwankt je nach der Lage der Orte von — bis	beträgt im Durchschnitt
Schweiz	Rhein, Rhone, Donau, Po	1864—1900	644—2256	1187
	Inn	1900—1904	528—2066	1129
	Traun	"	723—2057	1326
	Enns	"	834—1730	1284
	Donau in Niederösterreich.	"	437—1819	780
	March	"	414—1246	685
	Mur	"	738—1639	1006
	Drau	"	723—2314	1208
	Save	"	1038—2440	1602
	Österreich.	Rhein bis zum Bodensee	"	800—2258
	Etsch	"	537—1717	1026
	Küstenland	"	805—3521	1945
	Dalmatien	"	493—5536	1418
	Elbe	"	354—1753	653
	Oder	"	577—1451	902
	Weichsel	"	449—1449	755
	Dniestr	"	490—1331	767
	Sereth	"	554—899	732
	Pruth	"	543—929	733

Anmerkung: Die Daten für Preußen und die benachbarten deutschen Staaten sind den „Regenkarten“ von Hellmann, die Daten für die übrigen Staaten den Publikationen der meteorologischen bzw. hydrographischen Landesanstalten entnommen.

Tabelle II. Prozentueller Anteil der Monate an der Jahresniederschlagshöhe
(für einzelne Gebiete Nord- und Süddeutschlands).

Gebiet	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Oktober	Novbr.	Dezbr.
Ostpreußen	5,7	5,0	5,7	6,0	8,5	9,9	14,5	11,8	9,8	9,7	6,9	6,5
Westpreußen	5,7	4,6	6,3	6,0	9,5	10,8	13,7	11,9	9,4	9,0	6,9	6,2
Posen	5,9	4,9	6,8	6,8	9,8	11,9	13,5	11,6	8,3	7,6	6,3	6,6
Schlesien, Ebene	5,2	5,1	6,7	6,3	9,7	12,0	13,9	12,4	9,0	7,4	6,3	6,0
„ Bergland	4,9	4,4	7,0	6,6	10,5	13,0	13,2	11,2	9,1	8,0	6,3	5,8
Brandenburg	6,4	5,6	7,2	5,9	8,4	10,0	13,4	11,0	8,5	9,2	7,1	7,3
Pommern	6,0	5,8	7,1	6,5	9,2	11,7	12,8	10,4	7,6	8,9	6,9	7,1
Mecklenburg	6,9	5,5	6,8	5,5	6,7	8,0	10,8	11,4	9,7	11,7	8,4	8,6
Sachsen (Provinz)	6,6	5,8	6,8	5,6	7,1	8,8	11,5	11,2	9,7	10,7	7,7	8,5
Thüringen	6,4	5,5	6,1	4,9	5,9	6,7	9,7	12,1	11,0	13,4	9,3	9,0
Schleswig-Holstein:												
Ostküste	6,9	5,5	6,8	5,5	6,7	8,0	10,8	11,4	9,7	11,7	8,4	8,6
Binnenland	6,6	5,8	6,8	5,6	7,1	8,8	11,5	11,2	9,7	10,7	7,7	8,5
Westküste	6,4	5,5	6,1	4,9	5,9	6,7	9,7	12,1	11,0	13,4	9,3	9,0
Hannover-Oldenburg, Braunschweig:												
Nordseeküste	6,1	5,5	6,4	5,1	6,9	8,2	11,7	12,8	9,6	11,3	8,4	8,0
Binnenland	6,7	6,0	7,6	6,1	8,0	10,4	12,5	10,3	7,9	9,0	7,5	8,0
Harz	7,4	6,5	8,2	6,2	7,5	10,0	11,8	9,2	7,0	9,4	7,9	8,9

Tabelle II. (Fortsetzung.)

Gebiet	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Oktober	Novbr.	Dezbr.
Westfalen	7,6	6,7	7,4	5,9	7,2	9,2	11,6	10,1	7,6	9,0	8,5	9,2
Hessen-Nassau u. Rhein- provinz	7,2	6,2	6,9	6,1	8,2	10,2	11,5	9,9	8,1	9,3	7,9	8,5
Hohenzollern	4,8	3,7	7,0	7,1	10,7	13,7	12,9	11,5	9,0	8,1	6,0	5,5
Sachsen (Königreich)	5,5	6,3	8,0	7,0	9,0	12,0	11,5	9,8	7,0	8,1	8,0	7,8
Baden:												
Bodenseegebiet.	3,6	3,3	5,6	7,2	10,4	12,6	13,0	13,7	11,1	10,7	5,3	3,5
Baar	5,2	5,5	7,4	5,7	9,1	12,6	13,1	10,2	8,9	10,8	6,0	5,6
Südöstl. Schwarzwald	5,3	6,7	8,9	5,7	7,1	11,4	10,7	9,1	9,1	11,1	7,1	7,6
Südl. Schwarzwald	5,1	6,8	8,9	6,3	7,0	11,6	11,5	8,6	9,2	11,2	7,0	6,8
Nördl. Schwarzwald:												
Höhen	6,4	7,9	10,5	6,6	6,7	10,2	10,6	7,1	8,1	10,1	7,4	8,3
Tal	6,0	6,9	10,0	6,3	7,2	11,6	11,5	7,9	8,1	10,2	7,1	7,2
Rheinebene	6,1	5,5	8,0	6,2	6,9	12,7	12,2	9,6	9,2	11,5	6,6	5,7
Kraichgau	6,2	6,2	8,2	6,3	7,6	13,4	11,7	8,6	7,9	11,7	6,1	6,1
Odenwald	6,8	6,9	7,7	5,4	6,7	12,1	12,3	9,2	8,7	9,9	6,5	7,8

Anmerkung: Die Daten für Preußen und die norddeutschen Kleinstaaten sind aus den „Regenkarten“ von Hellmann abgeleitet; die Daten für Sachsen und Baden den Publikationen des Meteorologischen Institutes in Dresden bzw. des Zentralbureaus für Meteorologie in Karlsruhe entnommen.

Diese Verhältniszahlen dienen dazu, für einen Ort oder für ein Gebiet, dessen mittlere Jahresniederschlagshöhe man kennt, die auf die einzelnen Monate entfallenden Anteile ungefähr zu bewerten. Durch die Summation der Verhältniszahlen für je drei aufeinanderfolgende Monate (Dezember, Januar, Februar; — März, April, Mai; — Juni, Juli August; — September, Oktober, November) erhält man die Verhältniszahlen für die Jahreszeiten.

In den Tabellen III und IV (Seite 36 und 37) sind 15jährige bzw. 37jährige Monats- und Jahresmittel des Niederschlages für einzelne Stationen in Württemberg bzw. in der Schweiz enthalten und nach der Seehöhe der Orte aneinandergereiht. Aus diesen Daten läßt sich der perzentuelle Anteil der Monate an dem Jahresniederschlage entwickeln.

Sie gestatten auch einen Vergleich der Regenverhältnisse eines einzelnen Jahres mit dem Durchschnitte.

Aus ihrer Anordnung nach der Seehöhe der Orte ist im allgemeinen zu ersehen, daß die Niederschlagssumme mit der Seehöhe des Ortes wächst; doch finden sich genügend Abweichungen in dieser steigenden Reihe, die verraten, daß nicht die Seehöhe allein ein maßgebender Faktor für den Regenreichtum eines Ortes ist, sondern noch vielerlei andere Einflüsse sich geltend machen, wie die Richtung der benachbarten Gebirgszüge gegen die herrschenden Winde oder der Charakter der Winde überhaupt usw.

Die Tabelle V (Seite 38 und 39) enthält einige Angaben über die in Preußen und den Nachbarstaaten gemessenen größten Monatssummen des Niederschlages. Auch in diesen Ziffern prägt sich der Berglandcharakter gegenüber dem Flachlande aus.

Im Vergleiche mit den in der Tabelle I wieder-

Tabelle III. 15-jährige Niederschlagsmittel (mm) in Württemberg für den Zeitraum 1888—1902¹.

Station	See- höhe in m	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Heilbronn. . .	170	48,2	39,7	48,3	51,4	57,0	84,6	88,1	69,5	58,7	75,0	40,7	50,8	707,0
Mergentheim . .	210	44,0	32,7	45,6	45,0	51,0	76,3	73,8	52,1	56,6	59,1	32,4	46,2	614,8
Stuttgart . . .	265	39,5	37,8	46,4	55,8	65,2	79,1	95,2	65,7	54,9	65,2	33,4	40,4	678,6
Kirchheim . . .	320	43,6	37,4	50,8	67,3	72,5	96,3	111,1	90,9	63,0	71,5	38,5	44,0	786,9
Hohenheim . . .	405	35,9	35,2	46,2	54,4	67,1	85,4	91,4	71,2	56,5	62,5	31,0	38,5	675,3
Wolfenhausen .	470	39,8	34,5	49,6	50,8	63,7	77,5	89,6	76,4	55,3	62,0	35,2	40,5	674,9
Biberach . . .	535	35,8	31,0	44,4	71,5	85,8	106,8	104,3	103,2	78,8	74,8	37,8	32,6	806,8
Altshausen . .	600	35,6	30,8	43,6	63,5	77,4	98,1	103,5	101,2	78,1	72,9	38,4	33,6	776,7
Dobel	690	89,2	86,6	109,7	95,4	110,9	128,4	137,0	109,1	94,7	122,7	76,4	94,5	1254,6
Münsingen . . .	715	50,7	50,5	54,7	70,2	74,6	106,8	100,2	96,2	70,1	72,3	39,7	50,4	836,4
Freudenstadt .	735	126,5	119,8	131,8	106,7	112,0	114,3	126,3	101,2	90,5	126,5	89,7	152,5	1397,8
Ennabeuren . .	780	50,7	50,2	55,6	68,1	69,5	98,7	92,6	91,4	67,5	68,8	39,3	53,2	805,6
Hausen	805	44,7	39,2	53,6	61,2	81,6	96,7	104,1	93,0	70,7	76,4	43,3	45,2	809,7
Böttingen . . .	905	57,6	51,8	69,0	77,6	91,8	115,2	106,4	109,0	85,8	86,9	54,2	58,3	963,6
Ruhstein	915	146,4	153,9	173,3	143,9	145,8	176,4	195,4	158,0	135,4	174,5	133,9	188,8	1925,7

¹ Aus dem Meteorologischen Jahrbuch von Württemberg; 1904. Stuttgart 1906.

Tabelle IV.
37jährige Niederschlagsmittel in der Schweiz
für den Zeitraum 1864—1900¹.

Station	See- höhe in m	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Basel	278	35	37	49	62	78	98	83	79	71	77	58	47	774
Altstätten	470	57	65	78	101	118	164	168	154	124	107	79	78	1293
Reichenau	597	53	61	70	77	86	108	130	130	112	105	73	68	1073
St. Gallen	703	56	65	87	112	140	185	173	162	142	115	74	71	1382
Einsiedeln	910	73	89	112	124	150	193	202	193	139	130	94	98	1597
Beatenberg	1150	75	81	109	119	129	177	172	170	117	120	90	94	1453
Splügen	1471	55	39	76	111	156	153	174	172	171	177	114	66	1464
Bernhardin	2070	96	72	155	207	233	183	198	220	256	320	186	130	2256

¹ Aus den „Ergebnissen der täglichen Niederschlagsmessungen in der Schweiz“ Jahrgang 1904; Zürich, Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt.

Tabelle V.
Größte Monatssummen des Niederschlages
für Preußen und die Nachbarstaaten¹, Bayern und Österreich².

Gebiet	Größte Monats- summe in mm	Monat und Jahr	Beobachtungsort (Seehöhe)
Ostpreußen	313	Juli 1888	Gorztyzen (153)
Westpreußen	272	Juli 1855	Schönberg (275)
Posen	206	Juli 1888	Bromberg (40)
Schlesien, Ebene	309	August 1854	Proskau (175)
" Bergland	534	Juli 1897	Wang (873)
Brandenburg	229	Juli 1858	Berlin (40)
Pommern	210	August 1865	Köslin (38)
Sachsen (Provinz) und Thüringen	239	Juli 1882	Sondershausen (194)
Schleswig-Holstein	234	Oktober 1880	Apenrade (10)
Hannover	200	Juni 1863	Lüneburg (15)
Oldenburg	221	September 1899	Jever (8)
Braunschweig } (im Flachland	227	August 1838	Braunschweig (80)
Bremen	235	Juli 1861	Bremen (6)
Harz	456	Dezember 1854	Klausthal (585)
Westfalen	240	Juli 1898	Lage im Detmoldschen (100)
Hessen-Nassau	259	Juni 1871	Hanau (98)
Rheinprovinz	239	September 1809 (?)	Trier (140)

Bayern:			
Donaugebiet	689	September 1899	Weisbach bei Innzell (611)
"	645	September 1899	Stuben (874)
"	432	September 1899	Hohenburg (710)
"	416	Juli 1897	Ödwies (900)
Österreich.			
Donaugebiet	793	September 1899	Alt-Aussee (945)
"	594	Juli 1897	Hintersee (Salzach) (685)
"	584	Juli 1893	Schmittenhöhe (1935)
Marchgebiet	376	Juni 1894	Ober-Bezwa (540)
Murgebiet	582	Juli 1903	Bodenbauer (877)
"	502	September 1899	" Raibl (981)
Draugebiet	596	Oktober 1895	Feistritz a. d. Wochein (507)
Savegebiet	761	Oktober 1896	Silbratsgefäll (931)
Rheingebiet	540	Januar 1899	Franzenshöhe (2000)
Etschgebiet	549	August 1900	Doll (882)
Küstenland	1021	Oktober 1894	" (882)
"	739	Oktober 1894	Crkvice (1050)
Dalmatien	1642	November 1903	" (1050)
"	1550	November 1893	" (1050)
Elbegebiet	563	Juli 1897	Riesenhain (Aupa) (812)
Oder	559	Juli 1903	Lisa hora (1325)
"	501	Juli 1897	Weißbach (Böhmen) (505)
Weichsel	645	Juni 1894	Weichsel-Czorny (510)

¹ Aus Hellmanns Regenkarten.² Aus den Jahrbüchern des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien.

Tabelle VI. Größte Tageshöhen des Niederschlages.

Gebiet	Größter Tagesniederschlag in mm	Datum	Beobachtungsort (Seehöhe)
Ostpreußen	144	8. August 1890	Kurwien (126)
"	144	9. Juli 1898	Rominten (155)
Westpreußen	154	2. August 1896	Wildgarten (118)
Posen	107,8	30. Juli 1897	Koschmin (144)
Schlesien, Ebene	116	18. Juni 1889	Tworog (251)
" Bergland	239	30. Juli 1897	auf der Schneekoppe (1603)
Brandenburg	170	14. April 1902	Berlin (40)
Pommern	102	7. September 1880	Kolberg (2)
Mecklenburg	118	12. Mai 1890	Schwerin (40)
Sachsen (Provinz) mit Thüringen	238	22. Juli 1885	auf dem Büchenberge bei Wernigrode (232)
" Schleswig-Holstein "	153	16. Mai 1889	Schlanstedt (115)
" " " " " "	100	14. August 1859	Kiel (5)
" " " " " "	91	22. Juli 1901	Westerhever (1)
Hannover, Oldenburg und Braunschweig:			
Flachland	117	25. Juli 1901	Ahllden (30)
Bergland	156	3. August 1896	Harzburg (244)
Westfalen	112	27. Juni 1888	Niedermarsberg (254)
Hessen-Nassau	125	2. September 1884	Schlüchtern (205)

Die Summen u. Mittelwerte d. Niederschläge; Sturzregen. 41

Hessen-Nassau	110	26. Juli 1894	Grävenwiesbach (296)
Rheinprovinz	115	11. Juni 1898	Zweifallshammer (218)
Hohenzollern	100	7. Juni 1895	Steinhilben (800)
Sachsen (Königreich)	108	29. Mai 1889	Meißen (106)
Bayern:			
Donaugebiet	163,3	2. August 1901	Oberjoch (1136)
Inngebiet	241,9	12. September 1899	Reichenhall (471)
Württemberg	115	11. Juni 1876	Friedrichshafen (410)
Baden	175	9. März 1896	Kniebis (900)
Hessen	116	30. Juli 1862	Gießen (159)
Elsaß-Lothringen	140,2	17. Mai 1902	Lauchensee (924)
Österreich (für die Zeit 1895—1904):			
Oberösterr. Donaugebiet	287,5	12. September 1899	Mühlau (Ennsgebiet) (753)
Niederösterr. Donaugebiet	217,5	12. September 1899	Lackenhof (Ybbsgebiet) (835)
Marchgebiet	131,8	10. Juli 1903	Mittel-Beetzwa (500)
Murgebiet	207	12. September 1899	Bodenbauer (Mürzgebiet) (877)
Draugebiet	254,7	13. September 1903	Waidegg (Gail) (625)
Sauegebiet	247,2	23. November 1904	Feistritz (507)
Kärntenland	336	17. März 1900	Monte Maggore (950)
Dalmatien	354,2	12. März 1901	Crkvice (1050)
Rheingebiet bis zum Bodensee	193,2	18. Januar 1899	Sibratsgräll (Bregenzer Ache) (931)
Etschgebiet	210	17. April 1898	Sulden (1845)
Elbegebiet	345,1	29. Juli 1897	Neuwiese (Isar) (780)
Odergebiet	240,2	9. Juli 1903	Neu-Rothwasser (310)
Weichselgebiet	144,3	7. Juli 1895	Dukla (351)
Dniestergebiet	154,5	23. August 1896	Zawadka (655)
Sereth-Pruthgebiet	124,3	10. Juli 1900	Czudin (Serethgebiet) (390)

Tabelle VII. Sturzregen.

Gebiet	Beobachtungs- ort	Datum	Sturzregen von mehr- stündiger Dauer			Sturzregen von kurzer Dauer		
			Gesamt- regen- höhe in mm	Dauer in Stan- den (h) und Minuten	Regen- höhe in einer Minute mm	Gesamt- regen- höhe in mm	Dauer in Minuten	Regen- höhe in einer Minute mm
Ostprenußen	Rominten	9./VII. 1898	142,7	8h 30'	0,28	—	—	—
"	Aweyden	4./VIII. 1895	—	—	—	23	5	4,60
Westpreußen	Wildgarten	1./VIII. 1896	134	1h 40'	1,34	—	—	—
"	Jastrow	30./VII. 1896	117,6	4h 45'	0,41	—	—	—
"	Adelheidsthal	22./VI. 1898	—	—	—	26,3	13	2,02
Posen	Meseritz	30./VII. 1897	75,6	8h	0,16	—	—	—
"	"	20./V. 1899	—	—	—	9,9	3	3,30
Schlesien	Flinsberg	30./VII. 1897	127	10h	0,21	—	—	—
"	Seiferschau	22./V. 1898	—	—	—	14,6	5	2,92
Brandenburg	Triebel	21./VI. 1895	142,6	3h 30'	0,68	—	—	—
"	Wolfsbruch	3./VII. 1894	71	5h 45'	0,21	—	—	—
"	Treuenbrietzen	31./VII. 1897	—	—	—	—	—	—
Pommern	Gr. Karzenburg	29./VI. 1893	85,1	5h	0,28	—	—	—
"	Pinnow	16./VII. 1891	—	—	—	51,2	23	2,23
Mecklenburg	Schwerin	11./V. 1890	111	1h 35'	1,16	—	—	—
						32	15	2,13

Mecklenburg	Gr. Schönfeld	25./VIII. 1900	55,5	3h 30'	0,26	—	—	—
"	Bernitt	23./VIII. 1900	—	—	—	24,2	10	2,42
Sachsen (Provinz)	Mücheln	6./VI. 1896	118,2	3h 15'	0,61	—	—	—
"	Wolmirsleben	31./VII. 1894	80,6	7h	0,19	—	—	—
"	Laue	5./VI. 1895	—	—	—	29,8	6	4,97
Schleswig-Holstein	Flensburg	13./VII. 1893	88	6h 45'	0,22	—	—	—
"	Pinneberg	11./VIII. 1895	—	—	—	17,3	5	3,46
Hannover-Braunschweig	Jesteburg	11./VIII. 1901	89,7	1h 45'	0,85	—	—	—
"	Bursfelde	25./VII. 1894	49,6	6h 30'	0,13	—	—	—
"	Hettensen	15./VIII. 1901	—	—	—	12,5	3	4,17
Westfalen	Niedermarsberg	6./VIII. 1897	103	0h 45'	2,29	—	—	—
"	Ob. Jöllenberg	26./VII. 1895	50,6	6h 45'	0,12	—	—	—
"	Weringhausen	13./V. 1899	—	—	—	12,9	3	4,30
"	Ödingen	20./VIII. 1900	—	—	—	78,3	30	2,61
Hessen-Nassau	Kassel	25.-26./VII. 1894	84,6	7h 38'	0,18	—	—	—
"	Ob. Aula	6.-7./V. 1898	80	10h	0,13	—	—	—
"	Vockerode	16./VIII. 1899	—	—	—	34,4	15	2,29
Rheinprovinz	Karbach	28./VII. 1898	78,3	8h	0,16	—	—	—
"	Morsbach	19./VII. 1895	—	—	—	33,2	10	3,32
Hohenzollern	Harthausen	6./VI. 1895	80,3	3h 15'	0,41	—	—	—
"	"	10./VII. 1896	69,9	4h	0,29	—	—	—
"	Liggersdorf	24./VIII. 1898	—	—	—	—	—	—
Sachsen (Königreich)	Annaberg	10./IX. 1867	—	—	—	10,8	5	2,16
Hessen (Großherzogtum)	Gießen	13./V. 1901	40,3	1h 08'	0,60	—	—	—
"	Darmstadt	28./VII. 1902	—	—	—	24	15	1,60
"	"	"	—	—	—	6,3	4	1,58

Tabelle VII. (Fortsetzung.)

Gebiet	Beobachtungs- ort	Datum	Sturzregen von mehr- stündiger Dauer			Sturzregen von kurzer Dauer		
			Gesamt- regen- höhe mm	Dauer in Stun- den (h) und Minuten	Regen- höhe in einer Minute mm	Gesamt- regen- höhe mm	Dauer in Minuten	Regen- höhe in einer Minute mm
Bayern (Donaugebiet)	Oberzell	28./IV. 1898	84	1h 15'	1,12	—	—	—
"	Stuben	9./VII. 1903	—	—	—	5,8	1	5,8
"	Oberheisendorf	12./IX. 1905	—	—	—	30,7	10	3,07
" (Rheingebiet).	Bergtheim	2./VI. 1903	71	1h 15'	0,94	—	—	—
"	Aschaffenburg	10./VIII. 1903	—	—	—	4,9	1	4,90
"	Creußen	9./VIII. 1903	—	—	—	29,5	15	1,97
Österreich	Kreuzen bei Villach a. d. Drau	28./V. 1904	—	—	—	197	45	4,38
"	Gleichenberg in Steiermark	5./VIII. 1893	—	—	—	65	30	2,17
"	Mariabrunn bei Wien	1./VIII. 1896	—	—	—	17,4	5	3,48
"	Wien	1./VIII. 1896	—	—	—	37,3	15	2,49
"	"	2.-3./VII. 1895	—	—	—	20	12	1,67
Schweiz	Basel	28./VII. 1896	—	—	—	22,3	5	4,46

Anmerkung: Die Daten sind teils den Hellmannschen Regenarten, teils den Publikationen der meteorologischen Landesanstalten, teils dem „Lehrbuch der Meteorologie“ von Hann (Leipzig 1906) entnommen.

gegebenen mittleren Jahressummen derselben Gebiete zeigt sich, daß eine einzige Monatssumme oft den halben Wert der Jahressumme erreicht. Andererseits werden die mittleren Monatssummen oft weit übertroffen durch einen einzigen Tagesniederschlag.

Diesbezüglich sei auf die Tabelle VI (Seite 40 und 41) verwiesen, die für die deutschen Staaten und für Österreich (ohne Ungarn) eine Auslese der größten gemessenen Tageshöhen des Niederschlages enthält.

Die Gebirgsländer Österreichs (Alpen, Karst) und das schlesische Bergland treten dabei mit besonders hohen Zahlen aus der Reihe.

Die größten Tagesergiebigkeiten weisen die hochgelegenen Stationen Monte Maggiore im österreichischen Küstenland (336 mm; Seehöhe 950 m) und Crkvice in Dalmatien (354,2 mm; Seehöhe 1050 m) auf. Diese Küstengebiete treten ja auch durch die hohen Ziffern der Jahresregenhöhe und der größten Monatssummen (Tabelle I und V) hervor.

Auffallend ist der bisher bekannte Höchstwert der Tagesregenhöhe der am Isergebirge gelegenen Station Neuwiese (345,1 mm; Seehöhe 780 m).

Die in der letzten Kolonne der Tabelle VII (Seite 42, 43, 44) enthaltenen Zahlen sind sehr hohe Intensitätszahlen; sie kommen aber gewöhnlich nur für ganz kurze Zeiträume in Betracht (3—15 Minuten). Weit geringer sind die in der sechsten Kolonne enthaltenen Intensitäten mehrstündiger Sturzregen, welche Intensitäten sehr verschiedene Werte annehmen und mit der Regendauer ziemlich im umgekehrten Verhältnisse stehen. Je länger der Regen anhält, desto geringer ist die auf eine Minute entfallende Regenmenge.

Es ist bereits gesagt worden, daß die Intensitätszahlen bei der Entwässerung der Städte (Kanalisation) eine große Rolle spielen.

Ihre Beobachtung bzw. die Sammlung von statistischen Daten über vehemente Ergüsse ist daher von Interesse, und zu diesem Behufe ist jeder Stadtverwaltung die Aufstellung von selbstregistrierenden Regenmessern zu empfehlen; dies um so mehr, als bei der Wahl der Abflußprofile für Kanalisationen nicht nur die Intensität der Sturzregen, sondern auch die Häufigkeit ihres Auftretens in gewissen Intensitätsgraden in Betracht fällt. Aus Gründen der Ökonomie und aus technischen Rücksichten wird man die Kanalprofile nicht immer der größten Intensität der Sturzregen anpassen können, wohl aber einem Mittelwerte derselben, einem Mittelwerte ihrer Dauer und einem entsprechenden Häufigkeitsmaße.

Nach Hellmann ergibt sich das Verhältnis der Intensität zu der Dauer der Sturzregen für Deutschland aus der folgenden Zusammenstellung:

	Minuten					Stunden	
Dauer	1—5	6—15	16—30	31—45	46—60	1—2	2—3
Regenhöhe pro Minute in mm	3,19	2,57	1,87	1,37	0,99	0,85	0,45

Dem „Lehrbuche der Meteorologie“ von Dr. Julius Hann¹ seien die folgenden Erklärungen über die Entstehung von Sturzregen bzw. Wolkenbrüchen entnommen:

„Da die Wassermenge, die an einem ungewöhnlich warmen, feuchten Sommertage über Mitteleuropa in der ganzen Atmosphäre vorhanden ist, kaum über $15 \times 2,3 = 34,5$ kg pro Quadratmeter² geschätzt werden

¹ Leipzig 1906.

² Dampfdruck mit 15 mm (Quecksilbersäule) angenommen; 2,3 kg ist als Gewicht des Dampfes pro 1 mm Druck auf 1 qm in Rechnung zu ziehen; daher $15 \times 2,3$ kg das Gesamtgewicht pro Quadratmeter, entsprechend einer Wasserhöhe von 34,5 mm.

kann, so könnte dieselbe, vollständig kondensiert, nur eine Niederschlagshöhe von 34,5 oder rund 35 mm geben. Da weit größere Niederschläge fallen, so muß eine Zufuhr von feuchter Luft aus der Umgebung des Niederschlages angenommen werden. In der Tat ist ja nur auf diesem Wege die Entstehung sehr großer Niederschläge in kurzer Zeit über einem flachen Lande überhaupt denkbar. Über einem abnorm erwärmten Orte erhält die feuchte Luft einen plötzlichen Impuls zum Emporsteigen, kühlt sich dabei ab und kondensiert ihren Wasserdampfgehalt zum größeren Teile. Die Luft der Umgebung wird naturgemäß zum Ersatz der aufsteigenden Luft herbeigezogen und steigt gleichfalls auf. Es konzentriert sich derart der Wasserdampfgehalt der Luft einer weiteren Umgebung an dem Orte des einmal eingeleiteten Niederschlages und kommt da gleichfalls zur Kondensation. Es hängt dann nur von der Geschwindigkeit des Aufsteigens der Luft ab, wieviel Niederschlag dabei fallen kann. Nehmen wir die Luft bei 15° gesättigt an, so enthält der Kubikmeter rund 13 g Wasserdampf. Wird die Luft so hoch¹ hinaufgeführt, daß sie bis -8° abkühlt, so werden in jedem Kubikmeter rund 10 g Wasserdampf kondensiert; dies erfordert ein Aufsteigen der Luft um $4\frac{1}{2}$ km (roh veranschlagt). Geben wir der aufsteigenden Luftbewegung eine Geschwindigkeit von 5 m pro Sekunde, so legt sie diese Höhe in 15 Minuten zurück. In diesen 15 Minuten verlieren demnach 4500 cbm je 10 g Wasserdampf, was einen Niederschlag von 45 kg pro Quadratmeter oder 45 mm

¹ Das Niveau des Aufsteigens und des Zuströmens liegt stets in einiger Höhe über der Erdoberfläche, in der mittleren Wolkenregion etwa.

Regenhöhe ergeben würde. Dies entspricht schon ziemlich den größten Niederschlägen in unserer Tabelle. Dieselben sind aber nur möglich, wenn aus einem weiten Umkreis die feuchte Luft während der ganzen Zeit stetig dem Niederschlagsorte zuströmt und dort aufsteigt. Es ergibt sich aber daraus auch, daß solche Niederschläge nur ganz lokal auftreten können, nicht zugleich über größere Flächen. Wohl aber kann der Kondensationsherd fortschreiten und seine Wassermengen nach und nach auf einen mehr oder minder schmalen bandartigen Landstreifen ausgießen. In den meisten Fällen erschöpft sich aber der Auftrieb der feuchten Luft und der begleitende Niederschlag in kurzer Frist, einem kurzen, heftigen Erguß folgt bald schwächerer Regen; denn die zuerst aufgestiegene Luft ist die wärmste und dampfreichste, die nachfolgende ist schon kühler und dampfärmer. Es erklärt sich aus dem Gesagten auch die Vorliebe, mit der die kurzen, aber sehr intensiven Schlagregen über erwärmten Niederungen auftreten, sowie die Zeit ihres Auftretens hauptsächlich an den Nachmittagen des Sommerhalbjahres.

„Für die Wassermassen jedoch, die nach den Beschreibungen und einzelnen Messungen bei wirklichen „*Wolkenbrüchen*“ zuweilen herabstürzen, scheint die obige Erklärung allein nicht völlig ausreichend zu sein. Die Bezeichnung *Wolkenbruch* verleitet dabei leicht zu der Annahme, daß in der Tat aufgesammeltes *Wolkenmaterial* aus irgendeinem Grunde plötzlich herabstürzen könnte, also das Zusammenbrechen mächtiger *Wolkenbänke* den „*Wolkenbruch*“ veranlassen möge. Die Rechnung ergibt aber, daß diese Annahme nicht haltbar ist. Nach Konrad enthalten die dichtesten *Wolken* etwa 5 g Wasser

pro Kubikmeter; selbst eine 4 km mächtige Wolkenbank von dieser Dichte (die aber kaum möglich ist wegen der niedrigen Temperatur in ihren oberen Schichten), würde nur 20 kg Wasser pro Kubikmeter liefern können, d. i. nur einen Niederschlag von 20 mm, also noch keinen „Wolkenbruch“.

„Dagegen nimmt Ferrel an, daß durch die Heftigkeit der aufsteigenden Luftbewegung in einem aufsteigenden Luftwirbel oder Luftschlauch der in demselben gebildete Niederschlag in Tropfenform in große Höhen hinaufgeführt und suspendiert erhalten werden könne. Es gehört keine große Geschwindigkeit dazu, um selbst ziemlich große Wassertropfen zu heben und in Suspension zu halten¹.

„Die seitlich dem Luftschlauch zuströmende feuchte Luft liefert stets neues Niederschlagsmaterial, das in dem aufsteigenden Luftwirbel so lange aufgespeichert erhalten werden kann, bis letzterer schwächer wird oder ganz zusammenbricht, worauf die angesammelte Wassermenge auf einmal über einem Orte herabstürzt. Das kann auch geschehen, wie Ferrel meint, wenn ein solcher Luftwirbel bei einer Fortbewegung ein Hindernis trifft, z. B. ein Gebirge, welches durch Reibung oder einseitige Hemmung des Zuflusses den Wirbel schwächt und auflöst.“

Das Kapitel über die Sturzregen soll nicht geschlossen werden, ohne darauf hinzuweisen, daß die

¹ Ferrel meint, daß die Größe der Regentropfen in allen Fällen ein Maß für die Geschwindigkeit der aufsteigenden Bewegung der Luft ist. Sind die Tropfen klein, so ist letztere nur schwach, fallen große Tropfen, so ist dies ein Zeichen, daß die aufsteigende Bewegung kräftig genug ist, die kleineren am Fallen zu hindern. Lenard hat diesen Vorgang durch Versuche quantitativ vollkommen erläutert. Met. Z. 1904, S. 260.

in den vorstehenden Tabellen enthaltenen Intensitätszahlen für die Tagesniederschläge bzw. für die Sturzregen nicht an bestimmte Orte gebunden sind. Es können die in den angegebenen Beobachtungsstationen gemessenen Regenhöhen in einem gleichen oder noch größeren Ausmaße in den Nachbarstationen, in Orten von ähnlicher Lage, ja selbst in sehr verschiedenen Breiten und Höhen gewärtigt werden, wie dies ja auch aus den in den Tabellen V und VI angeführten, den Beobachtungsorten beigesetzten „Seehöhen“ hervorgeht.

Regenkarten.

Will man sich ein anschauliches Bild über die Niederschlagsverhältnisse eines Gebietes verschaffen, so erweist sich die kartographische Darstellung als der beste Behelf. Man trägt in eine Landkarte des Gebietes (etwa in eine Karte im Maßstabe 1 : 750 000) eine möglichst große Anzahl von Niederschlagsbeobachtungsstationen ein, notiert neben den Namen dieser Orte die Niederschlagshöhen der Periode, die man versinnlichen will — vielleicht die Regenhöhen eines bestimmten Tages, einer Regenperiode, oder die Summen des Niederschlages für irgendeinen Monat, für ein Jahr bzw. für eine längere Reihe von Jahren — und verbindet die Orte mit gleicher Regenhöhe durch Linien, die man die Linien gleicher Regenhöhe oder Isohyeten nennt. So erhält man eine Regenkarte, die uns ein Bild der Verteilung des Regens eines bestimmten Tages, einer Regenperiode usw. bietet.

Solche Regenkarten sind den Jahresberichten der meteorologischen und hydrographischen Anstalten gewöhnlich als Beilage angeschlossen; doch sind einige auch als eigene Publikationen erschienen; so

die Regenkarten der preußischen Provinzen und der benachbarten kleinen deutschen Staatengebiete von G. Hellmann (8 Hefte¹). Auch die Veröffentlichung: „Die Niederschlagsverhältnisse der norddeutschen Stromgebiete“ von demselben Autor (Berlin 1906) enthält eine Regenkarte, die ein Durchschnittsbild über die Regenverteilung in Norddeutschland nach den Ergebnissen von vieljährigen Beobachtungen dar-
bietet.

Die Linien gleicher Regenhöhen sind auf diesen Karten meist für runde Zahlen gezogen (für 200, 400, 600, . . . 1200, 1400 mm Regenhöhe) und die Flächen zwischen denselben durch Farbtöne unterschieden, so daß das nasseste Gebiet (gewöhnlich das Bergland) am dunkelsten, das trockenste Gebiet (gewöhnlich das Flachland) am lichtesten abgetönt ist. Solchen Karten kann man auch die Regenhöhe für beliebige Orte, an denen keine Messungen vorgenommen worden sind, entnehmen, indem man ihnen die dem Gebiete zwischen den zwei angrenzenden Isohyeten zukommende mittlere Regenhöhe zuteilt.

Schneekarten.

In ähnlicher Weise kann die Schneedecke bildlich dargestellt werden, indem in eine Karte die Linien der gleichen Schneestärke (Isochyonen) eingezeichnet werden. Das Hydrotechnische Bureau in München gibt für Bayern, das Hydrographische Zentralbureau in Wien für das obere Rheingebiet, für das Donau-, das Oder- und das Adriagebiet, die Hydrographische Landesabteilung in Prag für das Gebiet der Elbe in Böhmen und die Hydrographische

¹ Verlag Dietrich Reimer, Berlin 1899—1903.

Landesabteilung in Lemberg für das Gebiet der Flüsse Galiziens in den Wintermonaten allwöchentlich eine Schneekarte heraus, die den Stand der Schneebedeckung des Bodens deutlich veranschaulicht.

Das Niederschlagsgebiet; das Flußgebiet.

Die kartographische Darstellung der Regendichte bzw. der Schneedecke hat aber nicht nur den Wert eines deutlichen Bildes, sie ist auch ein wichtiger praktischer Behelf zur Bestimmung der Niederschlagsmenge, d. i. des Produktes aus der Niederschlagshöhe (die mit dem Regenschirm, dem Ombrometer, gemessen wird) und der Fläche des Gebietes, auf welches der Regen niedergegangen ist, also des Niederschlagsgebietes, das für den Hydrographen, für den Wasserbautechniker gleichbedeutend ist mit dem Begriffe „Flußgebiet“.

Das Flußgebiet, das eigentliche Arbeitsfeld des Wasserbauers, ist von den Wasserscheiden begrenzt. Diese setzen sich aus den Gratlinien der Gebirge, aus den obersten Sattellinien der Gebirgspässe, aus den Scheitellinien der Hügelketten zusammen, sind im Hochgebirge am deutlichsten ausgeprägt, im Hügellande schwieriger zu verfolgen und verwischen sich fast völlig im Flachlande. Sie scheiden das aus dem Luftraume niederfallende Wasser, indem sie es nach rechts und links verschiedenen Tälern, verschiedenen Flußläufen zuführen. So hat jeder Bach sein Niederschlagsgebiet, so setzt sich das Gebiet eines Flusses aus den Niederschlagsgebieten der ihm zuströmenden Bäche, so setzt sich das Stromgebiet aus den Niederschlagsgebieten der Zuflüsse und Nebenflüsse des Stromes zusammen (siehe die nachfolgende Abb. 7).

Es läßt sich aber auch für jede Stelle eines Flußlaufes das Niederschlagsgebiet abgrenzen, auf der Landkarte zeichnerisch darstellen und die Fläche des

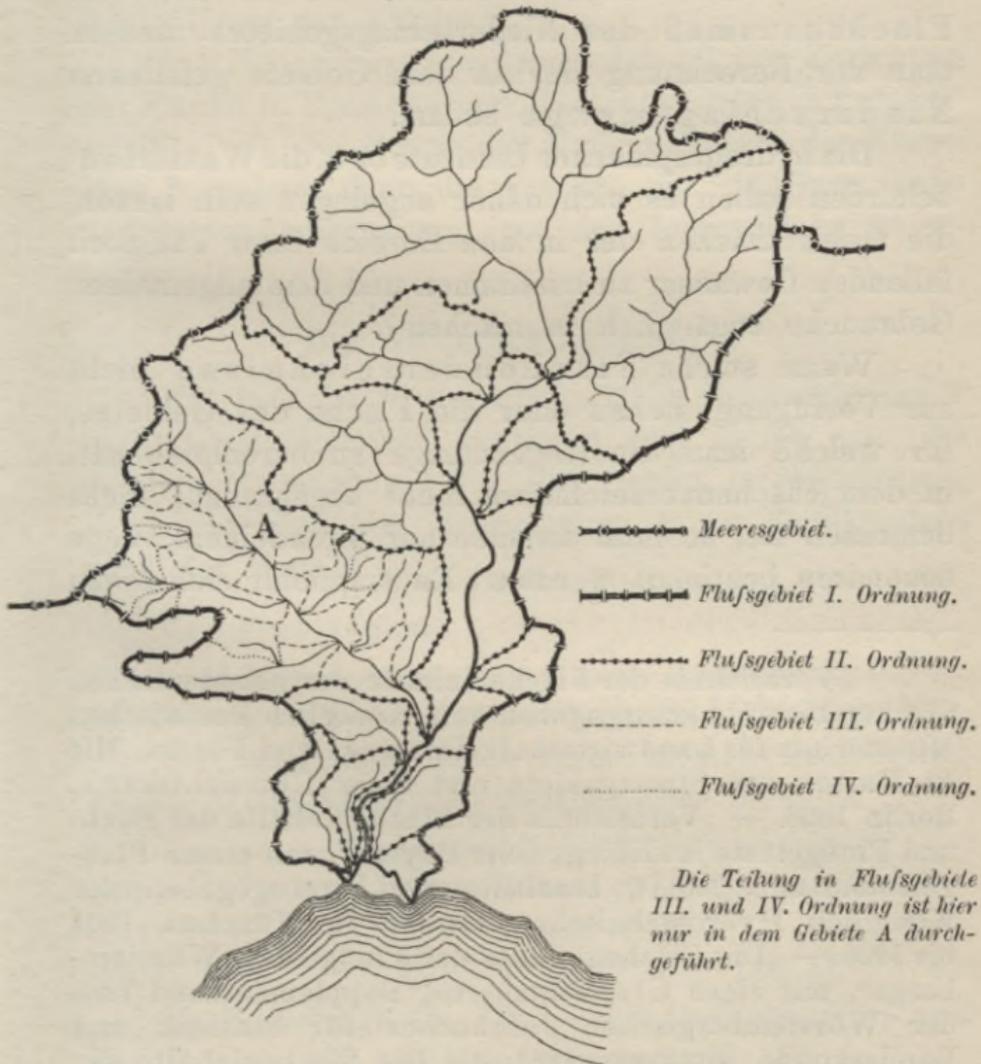


Abb. 7. Flußgebietskarte.

Gebietes bestimmen. Man spricht z. B. von dem Stromgebiete des Rheins bis Basel, der Elbe bis Tetschen, der Donau bis Passau usw. und meint damit das ganze oberhalb Basel, oberhalb Tetschen,

oberhalb Passau gelegene Gebiet des Stromes und seiner oberhalb der bezeichneten Orte einmündenden Nebenflüsse samt ihren Zuflüssen.

Wie oben bereits erwähnt, ist es nun das Flächenausmaß des Niederschlagsgebietes, dessen man zur Berechnung der in dem Gebiete gefallenen Niederschlagsmenge bedarf.

Die hydrographischen Institute bzw. die Wasserbau-behörden haben es sich daher angelegen sein lassen, die Gebietsflächen der in den Bereich ihrer Tätigkeit fallenden Gewässer zu bestimmen und dem allgemeinen Gebrauche zugänglich zu machen¹.

Wenn solche Flächenverzeichnisse nicht zur Verfügung stehen oder die Fläche des Gebietes, für welche man die Regenmenge zu berechnen hat, in dem Flächenverzeichnisse nicht abgegrenzt, nicht bemessen ist, so muß dieselbe auf irgendeinem Wege besonders bestimmt werden. Es empfiehlt sich hiezu

¹ „Verzeichnis der Flächeninhalte der norddeutschen Stromgebiete“; herausgegeben vom Königlich Preußischen Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forste. Mit 42 Karten der Stromgebiete und einer Übersichtskarte. Berlin 1893. — „Verzeichnis der Flächeninhalte der Bach- und Flußgebiete im Königreiche Bayern“, mit einem Flußgebietsatlas 1:200 000; bearbeitet und herausgegeben vom Königlich Hydrotechnischen Bureau in München, 1904 bis 1905. — „Die Flächeninhalte der Flußgebiete Württembergs“, mit einer Übersichtskarte; Supplementband 1883 der Württembergischen Jahrbücher für Statistik und Landeskunde. Stuttgart 1884. — „Die Flächeninhalte der Flußgebiete des Großherzogtums Baden“, mit einer hydrographischen Übersichtskarte; 4. Heft der „Beiträge zur Hydrographie Badens“. Karlsruhe 1886. — „Flächenverzeichnis“, Beilage zum ersten Heft der „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“: Übersichtskarte der hydrographisch ergänzten österreichischen Flußgebiete 1:750 000. Wien 1896 usf. usf.

die Abgrenzung des Gebietes auf einer möglichst genauen Landkarte (z. B. einer Spezialkarte im Maßstabe 1 : 25 000 usw.) und die Anwendung eines „Flächenmessers“ (Planimeters, Polarplanimeters) zur Bestimmung der Fläche¹.

Als Näherungsmethode genügt oft die Zerlegung der Fläche in Dreiecke und Rechtecke oder in Parallelstreifen von der Breite der Maßstabeinheit der Karte. Man berechnet dann die Flächen der einzelnen Teile und bildet ihre Summe, um die Gesamtfläche zu erhalten.

Die Niederschlagsmenge.

Hat man die Niederschlagsfläche eines Gebietes F in Quadratkilometern bestimmt und kennt man die mittlere Regenhöhe h für das Gebiet in Millimetern, so ergibt sich die Regenmenge Q in Kubikmetern nach der Formel $Q = 1000 \cdot F \cdot h$.

Ist $F = 1$ qkm
und $h = 1$ mm,
so ist $Q = 1000$ cbm oder 10 000 Hektoliter (hl).

Hat man die Fläche ihrer kleinen Ausdehnung wegen in Hektaren (ha) bestimmt, so ist

$Q_1 = 10 F \cdot h$.
Für $F = 1$ ha
 $h = 1$ mm
erhält man $Q_1 = 10$ cbm oder 100 hl.

Z. B. beträgt die Fläche des Donaugebietes von den Quellen bis zur Mündung des Inn

$$F = 50\,388,3 \text{ qkm.}$$

¹ Über Flächenmessen siehe den 12. Band der „Bibliothek der gesamten Technik“: Wilh. Miller, „Die Vermessungskunde“. Ein Taschenbuch für Schule und Praxis, 2. Auflage. Jänecke, Hannover.

Die mittlere Jahresniederschlagshöhe wurde für dieses Gebiet für das Jahr 1904 mit

$$h_m = 789,9 \text{ mm}$$

bestimmt.

Der Gesamtniederschlag betrug somit:

$$Q = 1000 \times 50\,388,3 \times 789,9 = 39\,800,155 \text{ Tausend } m^3$$

oder

$$Q = 39,8 \text{ cbkm.}$$

Die mittlere Niederschlagshöhe eines Gebietes.

Will man die mittlere Jahresniederschlagshöhe für irgendein Flußgebiet bis zu einer gewissen Stelle des Flusses berechnen, und hat man die Niederschlagsfläche F , wie vorhin besprochen wurde, bestimmt, so trägt man — das Vorhandensein eines Netzes von Regenstationen in diesem und in den benachbarten Gebieten vorausgesetzt — in die orographische Karte des Gebietes die für einzelne Orte bekannten (den meteorologischen oder hydrographischen Jahrbüchern zu entnehmenden) Jahresregenhöhen ein. Man verbindet hierauf die Orte mit gleicher Regenhöhe (Isohyeten), bzw. man schaltet zwischen diesen Linien, unter Berücksichtigung der Terraingestaltung solche mit runden Niederschlagszahlen (650, 700, 750, 800 mm usw.) ein. So erhält man eine Anzahl von Teilflächen, für welche ein und dieselbe Regenhöhe gilt: z. B. eine Teilfläche (einen Streifen) zwischen den Linien 650 und 700 mm; für diese gilt das arithmetische Mittel $\frac{650 + 700}{2} = 675$ mm als Niederschlagshöhe h_1 usf.

Planimetriert man die Teilflächen und erhält man für diese die Flächenwerte:

$$f_1, f_2, f_3, f_4$$

und sind die zugehörigen Regenhöhen mit

$$h_1, h_2, h_3, h_4$$

ermittelt worden, so erhält man die mittlere Regenhöhe h_m des Gesamtgebietes F aus der Formel:

$$h_m = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + f_3 h_3 + f_4 h_4}{F}$$

Tabelle VIII.

Niederschlags-			Mittlere Jahresnieder- schlagshöhe in mm
Stufe in mm	Fläche in qkm	Menge in Tausenden von cbm	
600— 700	463,1	301,015	1373
700— 800	252,1	189,075	
800— 900	291,2	247,520	
900—1000	369,5	351,025	
1000—1200	409,3	450,230	
1200—1400	353,2	459,160	
1400—1600	551,8	827,700	
1600—1800	478,8	813,960	
1800—2000	502,0	953,800	
2000—2200	571,6	1,200,360	
2200—2400	33,6	77,280	
600—2400	4,276,2	5,871,125	

In der vorstehenden Tabelle VIII ist auf Grund der Regenkarte des Traungebietes (Abb. 8) die Berechnung der mittleren Jahresregenhöhe des Traungebietes für 1904 nach der beschriebenen Methode durchgeführt. Sind nur wenige Regenmeßstationen in dem Gebiete, so ist eine andere Methode anzuwenden.

Man trägt die betreffenden Stationen in die Karte ein und begrenzt die Gebiete, für welche die den

Orten zugehörigen Regenhöhen, je nach der Seehöhe und der Lage der Orte, je nach dem Zuge der Gebirge und der Wasserscheiden, Geltung haben können. Sind die Flächen dieser Teilgebiete planimetrisch mit f_1, f_2, f_3 und f_4 usw. bestimmt worden, und gelten für diese Flächen die mittleren Regenhöhen

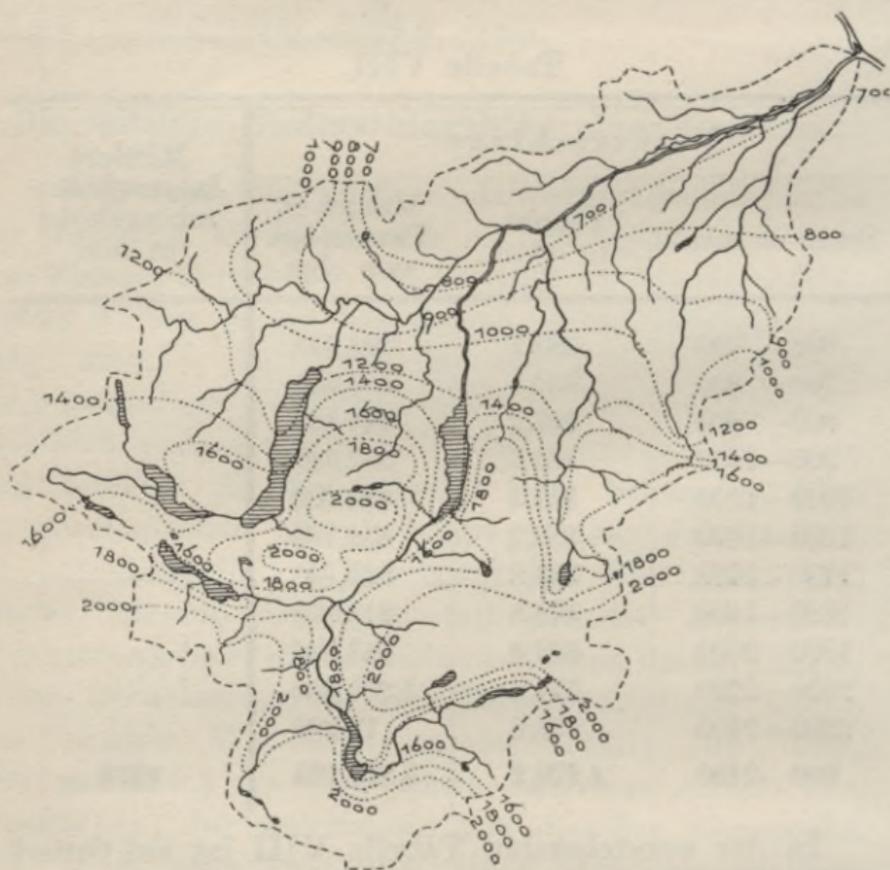


Abb. 8. Regenkarte des Traungebietes für das Jahr 1904.

h_1, h_2, h_3, h_4 , so resultiert die mittlere Regenhöhe des Gesamtgebietes wieder aus der obigen Gleichung.

Auf dieselbe Weise ist vorzugehen (d. h. nach einer der zwei Methoden), wenn h_m nicht die mittlere Jahresregenhöhe, sondern etwa die mittlere Regenhöhe für eine Reihe von Jahren bzw. eine Monats-

regenhöhe oder eine Summe von Tagesregenhöhen bedeutet, oder etwa die Summe für eine mehrtägige, außergewöhnlich ergiebige Regenzeit.

So wurden die mittleren Niederschlagshöhen für einen einzigen Tag — den regenreichen 12. September 1899 — für die einzelnen Teile des österreichischen Donaugebietes mit den folgenden Werten berechnet: für das Gebiet der Donau von den Quellen

	bis zur Innmündung	mit	26,4	mm
"	"	"	des Inn bis Kufstein	" 20,8 "
"	"	"	" " von Kufstein bis	
	zur Salzachmündung	mit	87,7	"
"	"	"	der Salzach bis Salzburg	" 74,2 "
"	"	"	von Salzburg bis zur Mündung	mit 122,1 "
"	"	"	der Salzach	" 91,8 "
"	"	"	des Inn von der Salzach-	
	mündung bis Passau	mit	51,2	"
"	"	"	des Inn	" 68,8 "
"	"	"	der Traun	" 113,1 "
"	"	"	" Enns bis zur Salza-	
	mündung	mit	116,0	"
"	"	"	der Salza	" 104,4 "
"	"	"	" Enns von der Salza bis	
	zur Steyr	mit	140,4	"
"	"	"	der Steyr	" 141,1 "
"	"	"	" Enns von der Steyr bis	
	zur Mündung	mit	83,7	"
"	"	"	der Enns	" 120,6 "
"	"	"	" Ybbs	" 134,6 "
"	"	"	" Traisen	" 99,1 "
"	"	"	" Donau bis Wien	" 60,3 "
"	"	"	" Donau bis zur March-	
	mündung	mit	59,4	"

B. Die Wasserstands- und Abfluß- verhältnisse.

Die Speisung der Wasserläufe.

Die Bäche, Flüsse und Ströme empfangen ihr Wasser zum Teil unmittelbar aus dem Luftraume, da ein gewisses Quantum der Niederschlagsmenge den offenen Gerinnen zufließt, zum Teile mittelbar aus unterirdischen Becken, in welchen sich das durch die Erde sickernde Regenwasser oder das Schneeschmelzwasser ansammelt und als Quellen zutage tritt. Im Hochgebirge spielt auch das ewige Eis der Gletscher — namentlich im Sommer — bei der Speisung der Gerinne wesentlich mit, und im Tale, in der Ebene hat das bis zu undurchlässigen Schichten versickerte Regen- oder Schneewasser, d. i. das Grundwasser, seinen Anteil an der Versorgung der Flußläufe mit flüssigen Massen.

Die Wasserstände und ihre Messung.

Da der Wasserreichtum der Quellbecken und der Grundwasserschichten von den Launen des Wetters abhängig ist, so unterliegt er einem steten Wechsel, der selbstverständlich in der Wasserführung der Flüsse zum Ausdrucke kommt und sich in dem wechselnden Stande ihrer Oberfläche, ihres Niveaus, sichtbar macht.

Bald haben wir es mit einem niedrigen, bald mit einem hohen Wasserstande zu tun, bald sehen wir eine unscheinbare Wasserader in dem Flußbette dahinschlängeln, das wir zu anderen Zeiten bis zum Rande mit schäumenden Wogen erfüllt gesehen haben. Bald liegt die Rinne des Baches ausgetrocknet vor uns, bald läuft das Wasser über den Uferrand und überschwemmt die anrainenden Niederungen.

Der Wasserstand ist es daher, der für den Anrainer, der für den Mühlenbesitzer, dem das Wasser das Mühlrad treibt, für den kleinen Schiffer und den an dem Großhandelsverkehre zu Wasser Beteiligten von Interesse ist.

Der Wasserstand ist infolgedessen ein wesentliches Moment der hydrographischen Forschung und die Festlegung und Überlieferung des Maßes seiner Schwankungen eine Hauptaufgabe der hydrographischen Anstalten bzw. der mit der Wasserbauverwaltung betrauten Ämter.

Die Erkenntnis von der Wichtigkeit der Wasserstandsbeobachtungen reicht bis in die graue Vorzeit zurück; haben doch schon die alten Ägypter die Wasserstände des Nils, des Befruchters ihres Landes, gemessen.

Die Vorrichtung, die zur Messung der Wasserstände dient, nennt man Pegel.

Der Pegel ist eine nach dem landesüblichen Längenmaße, bei uns also nach dem Metermaße, geteilte Latte oder ein Metallstab, der entweder an einem Brückenjoch, einem Brückenpfeiler, einer Ufermauer oder an einem in die Sohle des Flußbettes eingerammten Pfahl angebracht ist; auch kann er an dem schief aufsteigenden Ufergelände befestigt sein, wobei seine Teilung entsprechend verzerrt auszuführen ist.

Die Einheit der Teilung ist das Zentimeter¹, wie denn überhaupt die Wasserstände in Zentimetern ausgedrückt werden.

Die Teilung soll stets deutlich ausgeführt und vom Ufer aus ablesbar sein. Man beziffert den Pegel gewöhnlich nur von Dezimeter zu Dezimeter, markiert besonders die Bezeichnung der ganzen Meter und hebt die halben Dezimeter durch längere Striche hervor, während die Zentimeterstreifen abwechselnd als schwarze und weiße Flächen erscheinen.

Die Latte muß so lang und so angebracht sein, daß niedrigste und höchste Wasserstände an derselben abgelesen werden können.

Hinsichtlich der Höhenlage des Nullpunktes der Pegelskala bestehen verschiedene Gepflogenheiten und Anordnungen.

In Preußen wurde im Jahre 1810 eine Regelung dahin durchgeführt, daß man für die Lage des Nullpunktes das Maß von zwei Fuß unter dem niedrigsten Wasserstande festsetzte. In anderen Teilen des Reiches verlegte man die Nullpunkte in die Sohlenhöhe oder in die Niedrigwasserhöhe. In Österreich trachtet man, den Nullstrich mit dem Niveau der alljährlich wiederkehrenden Niederwässer in Übereinstimmung zu bringen.

Ein wesentliches Moment für die Messung der Wasserstände ist jedoch die Lage des Nullpunktes eigentlich nicht, denn die relative Lage zur Flußsohle erleidet durch die Veränderlichkeit der Sohle die verschiedensten Wandlungen. Wesentlich ist die Teilung des Pegels vom Nullpunkte nach auf- und abwärts, die Bezifferung nach auf- und

¹ Man begnügt sich häufig mit einer Teilung von 2 zu 2 cm, auch von 5 zu 5 cm.

abwärts; wesentlich ist ferner die Beibehaltung der einmal fixierten Lage des Nullpunktes für alle Zeiten, die Beibehaltung derselben, wenn ein alter Pegel durch einen neuen ersetzt werden soll; wesentlich ist daher auch die Festlegung der Höhenlage des Nullpunktes gegenüber einem in der Nähe befindlichen Fixpunkte (Festpunkt), damit die unveränderte Lage des Nullpunktes immer wieder geprüft werden kann. Mit der Überwachung der Lage der Pegelnullpunkte ist in Preußen seit dem Jahre 1891 das Bureau für Hauptnivellements und Wasserstandsbeobachtungen im Ministerium für öffentliche Arbeiten betraut. Mustergültig ist in dieser Hinsicht auch der Pegeldienst in der Schweiz ausgestaltet, und die hydrographischen Institutionen in Österreich, Bayern und Baden haben Ordnung in diesen Zweig des Pegelwesens gebracht.

Es muß hervorgehoben werden, daß jahrelange Aufschreibungen über die Schwankungen der Wasserstände wertlos werden können, wenn es zweifelhaft ist, ob die Lage des Pegelnullpunktes in dem betreffenden Zeitraume eine Verschiebung erlitten hat oder nicht. Aber auch wenn man das Maß der etwaigen Verschiebung kennt, entsteht die Schwierigkeit, daß man ältere Daten über Wasserstandsschwankungen auf die neue Nullebene des Pegels umrechnen muß, um sie mit den neueren Daten vergleichen zu können.

Jeder Nullpunkt soll also in dem Landesnivellement seine Cote haben und gegen einen nahen Festpunkt nivellitisch festgelegt sein.

Hinsichtlich der Ablesung der Pegel und der Aufschreibung der Wasserstände gilt folgendes als Regel:

Steht das Wasser über dem Nullpunkte des

Pegels, so wird der Aufschreibung des abgelesenen Höhenmaßes das Zeichen + (plus) vorgesetzt; steht das Wasser unter dem Nullpunkte, so wird das Zeichen — (minus) vorgesetzt.

(Die Aufzeichnung + 134 bedeutet also, daß das Wasser 134 cm über dem Pegelnullpunkte — über Null — steht; die Aufzeichnung — 15 bedeutet, daß das Wasser 15 cm unter Null steht.)

Die Pegel werden in der Regel täglich einmal (in den Morgen- oder Mittagsstunden) abgelesen. Wo es die Notwendigkeit erfordert, ist eine mehrmalige Ablesung des Pegels zu bestimmten Tagesstunden anzuordnen, und in Zeiten der Hochwassergefahr sind stündliche Aufschreibungen von großer Bedeutung für die Lösung der praktischen Aufgaben der Hydrographie.

Die selbstregistrierenden Pegel.

Vollkommen zweckdienlich sind für gewisse Aufgaben nur die Aufschreibungen der sogenannten selbstschreibenden (selbstregistrierenden, automatischen) Pegel.

Es sind dies mehr oder weniger komplizierte Apparate, bei welchen sich die Bewegungen eines auf dem Wasser ruhenden Schwimmers durch verschiedenartige Übersetzungen auf einen Schreibstift übertragen, der die Wasserstandsschwankungen im verjüngten Maßstabe auf einer durch eine Uhr bewegten, mit Registrierpapier überzogenen Trommel wiedergibt. Sie liefern ein getreues Abbild der Wasserstandsbewegung. Aus den Aufzeichnungen dieser Apparate lassen sich vor allem die im Verlaufe einer Hochflut erreichten höchsten Wasserstände genau entnehmen und die einzelnen Phasen der Wasserstandsbewegung der Zeit nach sicher feststellen.

Daß dies nicht nur einen historischen, sondern auch einen praktischen Wert hat, wird aus den späteren Ausführungen über die Aufgaben der Hydrographie im Dienste der Wasserwirtschaft und des Verkehrs zu Wasser hervorgehen.

Von den zahlreichen Systemen solcher Apparate seien hier nur einige angegeben:

der in Preußen am meisten in Verwendung stehende kurvenzeichnende Kontrollpegel von Seibt-Fuß in Berlin¹, zu welchem Seibt für die Ablesung der Zeiten und Höhen aus den aufgezeichneten Wasserstandslinien eine besondere Vorrichtung erdacht hat²;

der selbstregistrierende Pegel von Ott in Kempten;

der selbstregistrierende Wasserstandszeiger (Limnigraph) des K. K. Hydrographischen Zentralbureaus in Wien (Mechaniker: O. A. Ganser)³ (Abb. 9).

Bei all diesen Apparaten bedarf es der Anlage eines eigenen Unterbaues bzw. eines Schachtes für den Schwimmer. Die Höhe bzw. Tiefe des Schachtes, der mit dem Wasserlaufe durch eine Rohrleitung, durch einen Kanal oder durch einen Schlitz in der Ufermauer in direkter Verbindung steht, muß die freie Auf- und Abbewegung des Schwimmers vom

¹ Siehe das „Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1893, S. 542 und das „Handbuch d. Ingen.-Wissenschaften“; Abschn. Wasserbau; 4. Aufl., 1. Band.

² Siehe das „Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1896, S. 572 und wie vorher Note 1.

³ Siehe Anleitung zur Aufstellung und Behandlung selbstregistrierender Wasserstandszeiger (Limnigraphen). Herausgegeben vom K. K. Hydrographischen Zentralbureau in Wien; 1905.

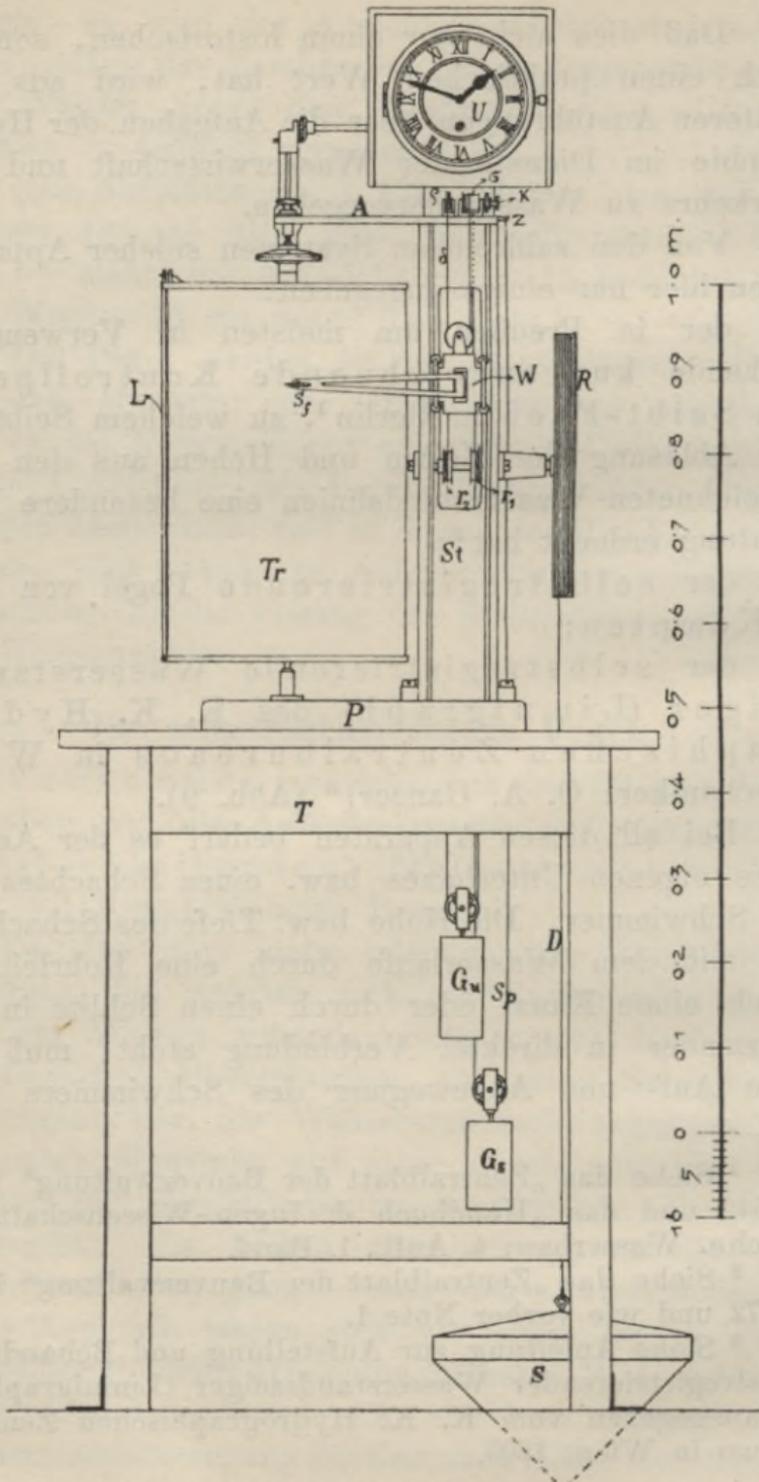


Abb. 9. Limnigraph des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien.

niedrigsten bis zum höchsten Wasserstande ermöglichen.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß es oft schwer fällt, den Schwimmerschacht oder die Zuleitungen zu demselben vor Verschlammung zu bewahren. Die Reinhaltung bzw. die ständige Überwachung und häufige Räumung des Schachtes muß dringend empfohlen werden.

Von Apparaten, die nicht mit Schwimmern arbeiten und daher eines Schwimmerschachtes nicht bedürfen, sei nur der Druckluftpegel von Seibt-Fueß in Berlin erwähnt¹. Die Bewegungen des Wasserpiegels wirken auf die unter einer ins Wasser versenkten kleinen Taucherglocke befindliche Luft. Der Druck wirkt durch ein enges — in die Decke der Glocke eingelassenes Bleirohr auf eine kommunizierende, mit Quecksilber gefüllte Röhre.

Die hiedurch entstehenden Schwankungen des Quecksilbers werden durch einen kleinen Schwimmer auf einen Schreibstift übertragen, der nun das Bild der Wasserstandsschwankungen auf einer Registriertrommel niederschreibt.

Die beschriebenen bzw. benannten Apparate bedürfen, wie erwähnt, einer aufmerksamen Behandlung und Überwachung.

Zur Kontrolle ihrer Aufschreibungen muß stets ein gewöhnlicher Pegel an Ort und Stelle angebracht sein, dessen Ablesungen mit den Notierungen des selbstregistrierenden Pegels übereinzustimmen haben.

¹ Siehe das „Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1896, S. 202 und 1897, S. 93, und das „Handbuch d. Ingenieurwissenschaften“; Abschn. Wasserbau; 4. Aufl., 1. Band.

Die Verwaltung des Pegelwesens.

Die Errichtung, Erhaltung und Bedienung der Pegel, die Bestellung und Überwachung der mit der Lesung und Registrierung der Wasserstände betrauten Organe und die Verarbeitung, Publizierung und Verwertung der Erhebungsdaten fällt in den Bereich der Obliegenheiten der Wasserbauverwaltungen bzw. der hydrographischen Institute, wie:

der Landesanstalt für Gewässerkunde in Berlin — für Preußen und die norddeutschen Kleinstaaten;

der Königlich Wasserbaudirektion in Dresden — für Sachsen;

des Hydrotechnischen Bureaus in München — für Bayern;

des Hydrographischen Bureaus der Kgl. Ministerialabteilung für den Straßen- und Wasserbau in Stuttgart — für Württemberg;

des Zentralbureaus für Hydrographie und Meteorologie in Karlsruhe — für Baden;

der Abteilung für Bauwesen im Großherzoglichen Ministerium der Finanzen bzw. des Hydrographischen Bureaus in Darmstadt — für Hessen;

des Ministeriums in Straßburg — für Elsaß-Lothringen.

des K. K. Hydrographischen Zentralbureaus in Wien — für Österreich;

der Hydrographischen Sektion im Königl. ungarischen Ackerbauministerium in Budapest — für Ungarn;

des eidgenössischen Hydrometrischen Bureaus in Bern — für die Schweiz

usw. usw.

Alle diese Anstalten haben eigene Instruktionen für den Pegeldienst bzw. Vorschriften für die Beobachter herausgegeben und publizieren in ihren Jahrbüchern die Ergebnisse der Beobachtungen, während ihre wissenschaftlichen Arbeiten als „Gesonderte Mitteilungen“ (Preußen), Abhandlungen oder „Beiträge zur Hydrographie“ (Baden, Österreich) erscheinen.

Das Pegelnetz.

Ein dichtes Netz von Beobachtungsstationen ist über die Forschungsgebiete der benannten Institute ausgestreut und für jedes Flußgebiet zu einem für die Lösung hydrographischer Fragen dienlichen System ausgestaltet.

Für die örtliche Lage der Pegel bzw. für die Distanzen der einzelnen Pegel voneinander sind teils allgemeine Grundsätze, teils Umstände lokaler Natur maßgebend.

An den Hauptflüssen sind die Mündungsstellen der größeren Nebenflüsse, an den Nebenflüssen ihre Mündungsstrecken und die Mündungsstellen der Zuflüsse ausschlaggebend für die Anbringung von Pegeln, und zwar soll unterhalb und oberhalb der Einmündungen bzw. zwischen je zwei Nebenfluß- oder Zuflußmündungen wenigstens je ein Pegel angebracht sein, damit der Einfluß der Nebenadern auf die Wasserführung des Hauptflusses aus den Pegel-lesungen hervorgehe. Dabei ist immer zu trachten, daß die Pegel außerhalb des Stau-Bereiches der Nebenflüsse zu liegen kommen; ebenso muß bei der Setzung von Pegeln in den Mündungsstrecken der Neben- und Zuflüsse darauf geachtet werden, daß das Stauwasser des Hauptstromes nicht bis an den Nebenflußpegel heranreicht.

Im übrigen sind die Lage von größeren Städten und Ansiedelungen, von industriellen Anlagen und der Bestand von Brücken, deren Joche und Pfeiler sich für die Anbringung von Pegeln ja besonders eignen, bei der Wahl der Pegelstellen entscheidende Momente. Die Nähe von Wohnstätten ist schon wegen der Bestellung der Pegelbeobachter erforderlich.

Auch ist zu trachten, daß die Distanzen der Hauptstrompegel nicht zu groß und untereinander möglichst gleich sein sollen.

An kleinen Nebenflüssen und an deren Zuflüssen wird man sich häufig mit je einem Pegel nahe der Mündung begnügen müssen, um eine zu weit gehende und unökonomische Gliederung des Beobachtungsnetzes zu verhüten.

Ferner ist ein Hauptaugenmerk darauf zu richten, daß die Flußstrecke, in welche die örtliche Lage des Pegels fällt, möglichst regelmäßig ausgebildet, nicht in mehrere Arme geteilt ist, vielmehr die ganze Wassermenge des Flusses geschlossen aufnimmt.

Der Pegel soll womöglich bei niedrigem und bei hohem Wasserstande vom Wasser benetzt sein. Wo dies nicht erreichbar oder nicht zweckentsprechend ist, empfiehlt sich die Anbringung zweier Pegel, eines Niederwasser- und eines Hochwasserpegels, deren Skalen (Teilungen) auf dasselbe Nullniveau bezogen sein müssen.

Das Pegelprofil.

An dieser Stelle sei der Ausdruck Pegelprofil erklärt: als der durch den Pegel oder in dessen Nähe gelegte bzw. gedachte Querschnitt des Flusses.

Die Verarbeitung der Wasserstandsablesungen.

Das große Erhebungsmaterial, das durch die regelmäßige Beobachtung der Pegel anwächst und bei der Zentralstelle der hydrographischen Institutionen zusammenläuft, ist daselbst nicht nur einer Prüfung und Sichtung zu unterziehen und für die Veröffentlichung vorzubereiten, sondern auch nach verschiedenen Gesichtspunkten zu ordnen und zu verarbeiten.

Wasserstandsmittel- und Grenzwerte.

Zunächst sind gewisse Durchschnittswerte der Wasserstände (Mittelwerte) zu berechnen; so die Mittel der täglichen Morgen-(oder Mittags-)Ablesungen in jedem Monat (Monatsmittel; mittlerer Monatswasserstand), wobei die etwa vorgenommenen, unregelmäßigen Zwischenablesungen nicht zu berücksichtigen sind und bei der Addition der Einzelablesungen die Wasserstände über Null von jenen unter Null zu sondern sind; die Summe der letzteren kommt mit dem Vorzeichen — (minus) in Rechnung, ist also von der Summe der positiven, mit dem Vorzeichen + (plus) versehenen Wasserstände abzuziehen.

In derselben Weise wird aus den täglichen Ablesungen oder aus den zwölf Monatsmitteln eines Jahres das Jahresmittel der Wasserstände (der mittlere Jahreswasserstand) abgeleitet.

Sind für eine Pegelstation mehrjährige ununterbrochene Beobachtungsergebnisse vorhanden, so bietet sich die Gelegenheit zur Ermittlung von mehrjährigen Durchschnittswerten der Monats- und Jahresmittel der Wasserstände.

In der folgenden Tabelle IX sind z. B. die zehnjährigen Mittelwerte aus der Periode 1894—1903

Tabelle IX.

Periode bzw. Jahr	Monats- und Jahresmittel der Wasserstände in cm												Höchster	Niedrigster		
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember			Jahr	
	Graz.												Wasserstand in cm			
1894—1903	-109	-109	-75	-31	+19	+11	-25	-33	-50	-63	-85	-102	-55	+141	-133	Mur.
1904	-129	-109	-86	+13	+8	-31	-100	-132	-87	-54	-85	-116	-76	+130	-152	
Differenz	-20	0	-11	+44	-11	-42	-75	-99	-37	+9	0	-14	-21	-11	-19	Mur.
Puntigam.																
1894—1903	-239	-237	-207	-167	-124	-134	-167	-171	-184	-194	-215	-231	-189	-19	-261	Mur.
1904	-237	-218	-202	-122	-120	-150	-200	-224	-192	-167	-191	-214	-186	0	-250	
Differenz	+8	+19	+5	+45	+4	-16	-33	-53	-8	+27	+24	+17	+3	+19	+11	Mur.

Tabelle IX (Fortsetzung).

Periode bzw. Jahr	Monats- und Jahresmittel der Wasserstände in cm												Höchster	Niedrigster		
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember			Jahr	
	Wildon.												Wasserstand in cm			
1894—1903	-52	-50	-23	+15	+51	+46	+14	+13	0	-7	-27	-39	-5	+114	-59	Mur.
1904	-20	0	+11	+84	+79	+53	+8	+17	+14	+39	+3	-16	+20	+260	-85	
Differenz	+32	+50	+34	+69	+28	+7	-6	-30	+14	+46	+30	+23	+25	+146	+24	Mur.
Landscha.																
1894—1903	-96	-97	-70	-39	+2	-4	-33	-34	-46	-55	-71	-83	-52	+131	-110	Mur.
1904	-88	-63	-44	+27	+36	+24	-11	-33	+5	+10	-26	-45	-18	+210	-103	
Differenz	+8	+34	+26	+66	+34	+28	+22	+1	+41	+65	+45	+38	+34	+79	+7	Mur.
Ehrenhausen.																
1894—1903	-7	-6	+14	+32	+59	+55	+36	+36	+27	+26	+12	+4	+24	+141	-17	Mur.
1904	+22	+49	+53	+99	+96	+81	+46	+25	+53	+79	+42	+24	+56	+250	0	
Differenz	+29	+55	+39	+67	+37	+26	+10	-11	+26	+53	+30	+20	+32	+109	+17	Mur.

für einzelne Pegelstellen der Mur in Steiermark angegeben und denselben die Monats- und Jahresmittel eines Jahres (1904) gegenübergestellt.

Aus den Differenzen geht hervor, daß die Wasserführung der Mur in den meisten Monaten des Jahres 1904 bzw. im Jahresverlaufe reichlicher war als im zehnjährigen Durchschnitte.

Es geht aber aus dem Vergleiche der Differenzen in den einzelnen Stationen untereinander noch hervor, daß das Verhalten der Wasserstände zu Graz scheinbar ein anderes war als in den Nachbarstationen, da sich die betreffenden Differenzen mit negativen Werten ergeben haben.

Nachdem an diesem Verhalten zehn Monate ihren Anteil hatten, so darf geschlossen werden, daß in der Flußstrecke zu Graz eine Veränderung, und zwar eine Vertiefung der Sohle des Flußbettes vor sich gegangen sein müsse. In der Tat tieft sich daselbst die Sohle seit Jahren aus, und zwar infolge der Flußregulierungsbauten, die dort ausgeführt worden sind.

Erstreckt sich eine solche Abweichung der Differenzen z. B. nur auf die Wintermonate, dann ist unter Umständen damit ein Wink gegeben, daß Eisanschoppungen, Eisgänge usw. einen Einfluß auf die Wasserstandsmittel ausgeübt haben.

Dies zur Kennzeichnung des Wertes, der u. a. den Mittelberechnungen für längere Perioden zukommt.

Aber nicht nur die Mittelwerte, sondern auch die Grenzmaße der Wasserstände verdienen unsere Beachtung: die höchsten und niedrigsten Wasserstände, die in den einzelnen Monaten eines Jahres bzw. im Verlaufe eines Jahres, einer Periode und während der ganzen Beobachtungsdauer abgelesen worden sind.

Verfügt man über langjährige Aufzeichnungen,

so sind auch für die höchsten und niedrigsten Jahreswasserstände Durchschnittsmaße abzuleiten. Man erhält das mittlere Hochwasser- und das mittlere Niederwasserniveau für eine lange Reihe gleichbenannter Monate bzw. für eine lange Reihe von Jahren.

Daß aus einer langen Reihe von Aufschreibungen über Niederst- und Höchstwässer und aus ihren Mittelzahlen die wertvollsten Anhaltspunkte für die Projektierung von Flußregulierungen, von Hochwasserdämmen und Niederwasserbauten hervorgehen, bedarf wohl kaum einer besonderen Begründung.

Die Häufigkeit bzw. Dauer der Wasserstände.

Für die gleichen Zwecke, aber auch für Zwecke der Flußschifffahrt ist oft die Kenntnis der Häufigkeit und der Dauer des Vorherrschens gewisser Wasserstände im Verlaufe eines Jahres oder im Verlaufe der Schifffahrtsperiode von Belang. Ist es ja doch z. B. nicht gleichgültig, ob der für die Schifffahrt günstigste Wasserstand an fünf Tagen im Jahre oder an 200 Tagen zu gewärtigen ist, bzw. ob die Sperrung der Schifffahrt wegen zu niedrigen Wasserstandes im Verlaufe des Sommers an 20 oder an 100 Tagen verfügt werden muß.

Es ist also wichtig, die Dauer der Wasserstände oder, wie man es anders¹ nennt, die Häufigkeit der Wasserstände zu berechnen.

Für diese Berechnung genügt es, wenn man die Wasserstandsdaten nach Niveauunterschieden von je 10 cm zusammenfaßt, so daß die Wasserstände

¹ Siehe das „Handbuch der Ingen.-Wissenschaften“; Abschn. Wasserbau; 4. Aufl., 1. Band.

von 0 bis + 9,
 „ + 10 „ + 19,
 „ + 20 „ + 29
 usw.,

ferner die negativen Wasserstände

von — 1 bis — 10,
 „ — 11 „ — 20,
 „ — 21 „ — 30
 usw.

in je eine dieser Phasen zusammengezogen werden, die man mit +5, +15, +25 bzw. — 5, — 15, — 25 bezeichnen kann.

Auf Grund der die täglichen Aufzeichnungen einer Pegelstation enthaltenden Tabellen läßt sich hierauf berechnen, an wieviel Tagen (oder Bruchteilen von Tagen¹) im Jahre Wasserstände in der Phase + 5, + 15, + 25 usw. abgelesen worden sind.

Die Zahlen, die man erhält, sind also Tage, bzw. sie bedeuten die Dauer der einzelnen Wasserstandsphasen im Verlaufe eines Jahres in Tagen. In der Reihe dieser Dauerzahlen wird nun immer eine die größte sein. Die dieser Zahl zukommende Wasserstandsphase nennt man den längst-andauernden Wasserstand des Jahres².

¹ Das Hydrographische Zentralbureau in Wien berechnet die Dauer der Wasserstände auf Zehnteltage genau; siehe die Jahrbücher. In den Jahrbüchern der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde ist die Häufigkeit der Wasserstände nur auf ganze Tage berechnet, und sind die Wasserstandsabstufungen nicht von 10 zu 10, sondern von 20 zu 20 und mehr Zentimetern bemessen. Siehe auch den 1. Band der „Besonderen Mitteilungen“ der Landesanstalt. Berlin 1906. Nr. 1: Bindemanns Aufsatz über die Häufigkeit der Wasserstände.

² Nach dem „Handbuch der Ingen.-Wissenschaften“; Abschn. Wasserbau; 4. Aufl., 1. Band, auch „Scheitelwert“ oder „dichtester Wert“ benannt.

Wie bereits erwähnt, kann man diese Berechnung auch für einen Jahresabschnitt, etwa für die Sommer- oder Schifffahrtsperiode, ausführen. Man erhält dann den längstandauernden Wasserstand der Schifffahrtsperiode.

Hat man die Rechnungen für eine Reihe von Jahren durchgeführt, so ergeben sich mehrjährige Mittelwerte der Dauer der einzelnen Wasserstandsphasen und die zugehörigen mittleren längstandauernden Wasserstände der Jahres- bzw. der Schifffahrtsperiode.

Es ist früher darauf hingewiesen worden, daß die Bezeichnungen „Dauer der Wasserstände“ und „Häufigkeit der Wasserstände“ wechseln, bzw. daß eine einheitliche Bezeichnung für die bezüglichen Zahlenreihen fehlt.

Ist es einerseits begründet, von „Häufigkeitszahlen“ zu sprechen, wenn gezählt wird, wie häufig ein gewisser Wasserstand im Verlaufe eines Jahres abgelesen worden ist (Zählung auf ganze Tage), so ist andererseits der Ausdruck Dauer prägnanter, wenn nach Tagen und Zehnteltagen ausgerechnet wird, wie lange im Verlaufe eines Jahres eine gewisse Wasserstandsphase in summa andauert hat.

Da es vielleicht von Interesse ist, zu wissen, welcher Bezeichnungen sich diesbezüglich die älteste deutsche hydrographische Institution bedient, seien dem Jahrbuche des Zentralbureaus für Meteorologie und Hydrographie in Baden pro 1901 die folgenden Definitionen entnommen:

1. Die absolute Häufigkeit oder kurzweg die Häufigkeit der Wasserstände eines beliebigen Teilungsabschnittes am Pegel ist die Anzahl oder das Vorkommen der in diesen Abschnitt fallenden regelmäßigen Wasserstandsangaben für den be-

trachteten Zeitraum nach Tagen oder nach Prozenten der Gesamtzeitdauer.

2. Die Benetzungsdauer für eine gewisse Wasserstandshöhe am Pegel bedeutet die Zeitdauer, während welcher sich der Wasserspiegel im Laufe der Gesamtzeit über dieser Höhe bewegt hat, d. h. während welcher die Pegelplatte mindestens bis zur betreffenden Stelle benetzt war.

3. Der Spielraum ist der Pegelteilungsabschnitt, an dem sich während der betrachteten Zeit die Wasserstände bewegt haben; sein Maß ist gleich dem Unterschied des Höchst- und Niedrigstandes für diesen Zeitraum.

4. Die Spielraummitte ist das arithmetische Mittel aus Höchst- und Niedrigstand.

5. Der gemittelte Stand ist das arithmetische Mittel sämtlicher Wasserstände des betrachteten Zeitraumes.

6. Der gewöhnliche Stand ist der Wasserstand, dem die Hälfte oder 50 % der Gesamtzeit als Benetzungsdauer zukommen, also diejenige Wasserstandshöhe, welche im Laufe der Gesamtzeit ebenso oft überschritten als nicht erreicht worden ist.

7. Die mittlere absolute Häufigkeit oder kurzweg die mittlere Häufigkeit für gleich große, den Spielraum umfassende Pegelteilungsabschnitte ist das arithmetische Mittel der absoluten Häufigkeiten für diese Abschnitte.

8. Die mittlere Benetzungsdauer ist das arithmetische Mittel der Benetzungsdauer sämtlicher Wasserstände des Spielraumes.

Über die graphische Konstruktion der Häufigkeitskurven und Dauerlinien wird später (Seite 84) die Rede sein.

Die Beharrungswasserstände.

Von den in dem vorigen Abschnitte besprochenen längstandauernden Wasserständen, d. i. von jenen, die im Verlaufe des Jahres bzw. einer Periode am längsten angedauert haben und daher am Pegel am häufigsten abgelesen worden sind, müssen jene Wasserstände genau unterschieden werden, die ununterbrochen eine längere Zeit hindurch anhalten. Man nennt sie **Beharrungswasserstände**. Auch diese haben ihre Bedeutung.

Denkt man sich, es werde in einer längeren Flußstrecke an allen Pegelstationen durch mehrere Tage stetig ein und derselbe Wasserstand erhoben, so hat man es mit einem Ruhezustand, mit einem **Beharrungszustande** in der Wasserführung des Flusses zu tun. Die während eines solchen Zustandes an den einzelnen Pegeln abgelesenen Wasserstände sind sogenannte **korrespondierende Wasserstände**.

Korrespondierende Wasserstände; Pegelrelationen.

Hat man für zwei oder mehrere benachbarte Pegel einer Flußstrecke mehrere korrespondierende Wasserstände in verschiedenen Höhenlagen gefunden, so läßt sich hieraus die gegenseitige Beziehung der Pegellesungen zueinander, d. i. die **Pegelrelation**, bestimmen, indem man sich die **Relationslinien** zeichnerisch ermittelt, wie dies in der nachstehenden Abb. 10 dargestellt ist.

Man kann aus solchen Relationslinien die etwa unbekanntes (nicht zur Aufzeichnung gekommenen) Wasserstände der Station *B* aus jenen der Station *A* ableiten; auch läßt sich aus den Relationslinien schließen, wie hoch der Wasserstand in der fluß-

abwärts gelegenen Station *B* sich stellen wird, wenn er in der oberen Station *A* ein gewisses Maß erreicht hat. Diese Vorausbestimmung der Wasserstände hat namentlich für den Lastenverkehr zu Wasser und bei Hochwasser eine besondere Wichtigkeit. Es wird hievon noch später die Rede sein.

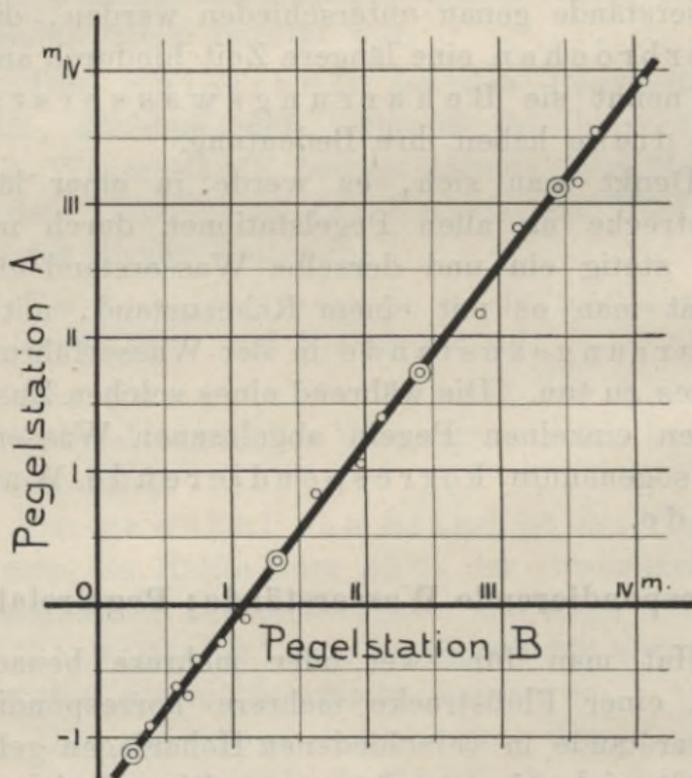


Abb. 10. Pegelrelationslinie (die doppelt geringelten Punkte entsprechen Beharrungsständen von langer Dauer).

Die Relationslinien sind bei geschiefbeführenden Flüssen sehr veränderlich und bedürfen daher von Zeit zu Zeit einer Richtigstellung, wie dies auch bei allen vorherbesprochenen Mittelwerten und Grenzmaßen der Wasserstände — man kann sie alle unter der Bezeichnung charakteristische Wasserstände zusammenfassen — der Fall ist.

Niederwasser, Mittelwasser und Hochwasser.

Die eben besprochenen charakteristischen Wasserstände bezeichnen für jeden Pegel ganz bestimmte Niveaus, da sie entweder die Mittel aus einer Reihe von Pegelungen oder die bekannten äußersten Grenzen der Wasserstandsschwankungen für die ganze Beobachtungsperiode bzw. für einen gewählten Teil derselben darstellen.

Unsicher dagegen sind die allgemeinen Bezeichnungen Niederwasser, Mittelwasser und Hochwasser hinsichtlich ihrer Niveaulage. Man versteht unter diesen Benennungen meistens gewisse Zonen der Wasserstandsschwankung und muß ihnen ein Beiwort anfügen, wenn man sie auf ein Niveau begrenzen will.

Will man z. B. unter „Niederwasser“ den seit dem Bestande eines Pegels überhaupt abgelesenen niedrigsten Wasserstand, unter „Hochwasser“ etwa das Mittel aus allen im Verlaufe der letzten zehn Jahre abgelesenen Jahreshöchstständen verstehen, so muß dies ausdrücklich gesagt werden.

Ebenso muß der Begriff „Mittelwasser“ stets präzisiert werden, wenn man damit eine genaue mittlere Wasserstandslage bezeichnen will.

Man kann z. B. — und dies ist der häufigste Fall — das Mittelwasser als das arithmetische Mittel aus den täglichen Frühablesungen (oder Mittagsablesungen) einer Reihe von Jahren ableiten; oder man bezeichnet den der mittleren sekundlichen Wassermenge einer gewählten Periode (siehe Seite 96) entsprechenden Wasserstand als Mittelwasser; schließlich ist es auch zulässig, denjenigen Wasserstand als Mittelwasser zu wählen, der im Verlaufe einer mehrjährigen Periode ebenso oft über-

schritten wie nicht erreicht worden ist. Dieser Wasserstand, dem die jährliche Dauerzahl von $\frac{365}{2} = 182,5$ Tagen zukommt, ergibt sich aus den Häufigkeitszahlen (siehe Seite 75) bzw. aus der Dauerkurve (Seite 85), indem man die Ordinate bei 182,5 zieht. Ihr Schnittpunkt mit der Dauerlinie bezeichnet den Mittelwasserstand. Den aus der Dauerlinie abgeleiteten Mittelstand nennt man auch den gewöhnlichen Wasserstand¹ (siehe Seite 78, Nr. 6); in dieser Benennung liegt allerdings kein Merkmal für ihre Bedeutung.

Auf die Begriffe Niederwasser, Mittelwasser und Hochwasser als Zonen der Wasserstandsschwankung zurückgehend, sei bemerkt, daß die Zonengrenzen zwischen Nieder- und Mittel-, bzw. zwischen Mittel- und Hochwasser gleichfalls stets erst gewählt werden müssen, wenn man sich in nähere Erörterungen über die Zonen einlassen will.

In den Jahrbüchern des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien sind z. B. der Betrachtung über die Dauer der Nieder-, Mittel- und Hochwässer im Verlaufe eines Jahres im Vergleiche mit einer längeren Periode die folgenden Zonengrenzen zugrunde gelegt:

Bezeichnen z. B. für eine bestimmte Pegelstation h_{max} , h_m und h_{min} die aus der zehnjährigen Beobachtungsperiode berechneten mittleren Werte für Hoch-, Mittel- und Niederwasser, so lassen sich die äußersten Grenzen, innerhalb deren sich die Mittelwässer bewegen, annehmen mit

¹ Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften: „Der Wasserbau“; 4. Aufl., 1. Bd., S. 263.

$$h_{m1} = \frac{h_{max} + h_m}{2}$$

als obere,

$$h_{m2} = \frac{h_m + h_{min}}{2}$$

als untere Grenze.

Die gesamte Wasserstandsamplitude dieser Beobachtungsstation ist hiedurch in drei Zonen geteilt, und zwar umfaßt die Zone der Hochwässer alle jene Wasserstände, deren Niveau höher als h_{m1} gelegen ist; die Mittelwässer bewegen sich zwischen den Grenzen h_{m1} und h_{m2} , und endlich gehören der Zone der Niederwässer alle jene Wasserstände an, die niedriger sind als h_{m2} .

Graphische Darstellungen.

Die Betrachtung über die Pegelrelationen hat uns auf den Weg der zeichnerischen (graphischen) Darstellung geleitet. Er führt in den meisten Fällen rascher zum Ziele als der Weg der Rechnung und versinnlicht die Zustände und Vorgänge in anschaulicher, augenfälliger Weise.

Während z. B. eine tabellarische Darstellung der an einem Pegel täglich abgelesenen Wasserstände nur ein geübtes Auge die Wasserstandsschwankungen erkennen läßt, gibt eine Zeichnung nach Art der nachstehenden Abb. 11 jedermann sofort eine klare Darstellung derselben.

Die Linie OP (Ordinatenachse) bedeutet die Pegelteilung im verjüngten Maßstabe. Durch die Nulllinie des Pegels ist eine Horizontale (die Abszissenachse) gelegt, auf welcher in gleichen Abständen die Beobachtungstage angereiht sind. Trägt man für jeden Tag die Pegellesung auf und verbindet die so

erhaltenen Punkte durch gerade Linien oder durch einen Kurvenzug, so erhält man die Wasserstandslinie oder Pegelkurve für den betreffenden Zeitraum. Die Monatsmittel der Wasserstände erscheinen auf dem Bilde als horizontale Linien von der Länge, die ein Monat auf der Darstellung einnimmt; das Jahresmittel als eine Horizontale von der Länge des Jahres.

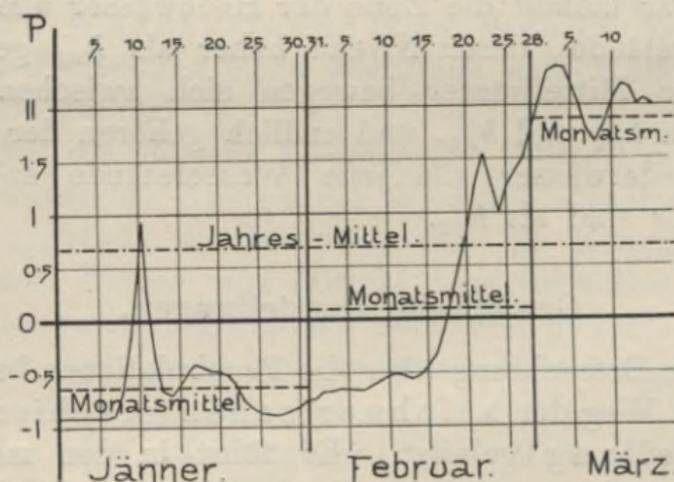


Abb. 11.

Auch die Häufigkeit bzw. die Dauer der Wasserstände läßt sich graphisch in einem Koordinatensystem wie das eben beschriebene, wenn schon in einem anderen Maßstabe, darstellen.

Die nächstfolgende Abb. 12 erläutert die Darstellungsweise. Im horizontalen Sinne sind die Tage, im vertikalen Sinne die Wasserstandsstufen und in den Stufenhöhen die denselben für den Zeitraum eines Jahres (einer Periode) zukommenden Häufigkeitszahlen von der Vertikalachse aus horizontal aufgetragen. Hiedurch ergibt sich die Häufigkeitskurve (siehe Seite 77, Nr. 1). Werden aber die-

jenigen Zahlen im gleichen Sinne aufgetragen, die angeben, wie oft bzw. wie lange die einzelnen Wasserstandsstufen im Verlaufe eines Jahres (einer Periode) überschritten waren (Benetzungsdauer), so erhält man die Dauerlinie (siehe Seite 78, Nr. 2).

Will man die Wasserstandsverhältnisse eines Jahres für einen ganzen Flußlauf in ihren charakte-

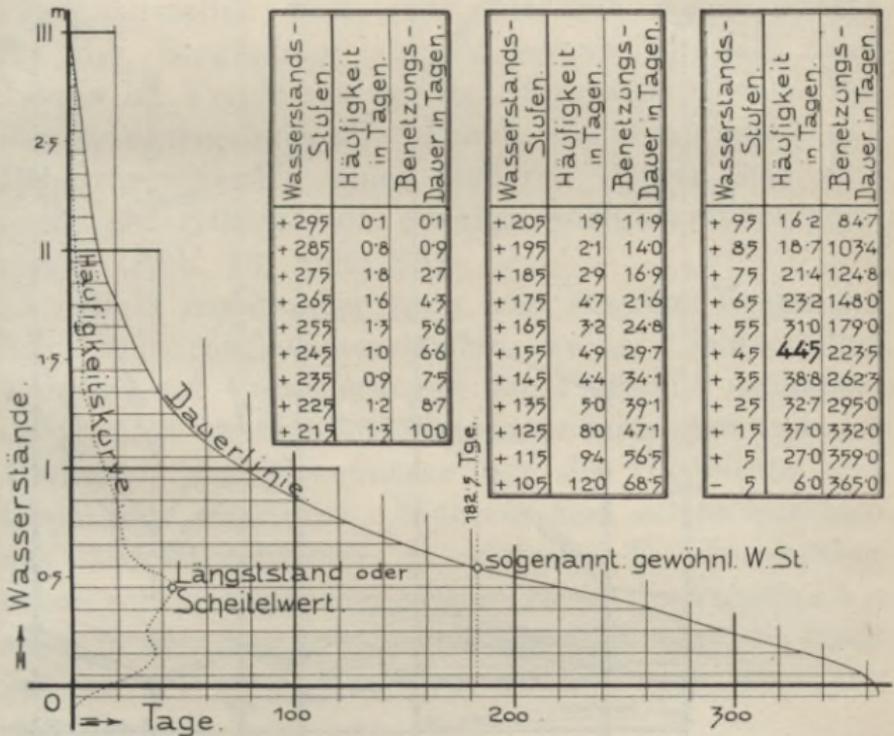


Abb. 12. Häufigkeitskurve und Dauerlinie

(die Häufigkeitszahlen sind aus den täglichen Wasserständen berechnet; die Zahlen für die Benetzungsdauer ergeben sich aus der Summation der Häufigkeitszahlen von oben nach unten).

ristischen Momenten graphisch darstellen, so hat ein im Verlaufe des Jahres beobachteter Beharrungswasserstand als (horizontale) Grundlinie (Basis) der Aufzeichnungen zu dienen. Trägt man auf dieser Grundlinie die Entfernungen der einzelnen Pegel im verjüngten Maßstabe auf, zieht durch die so erhaltenen

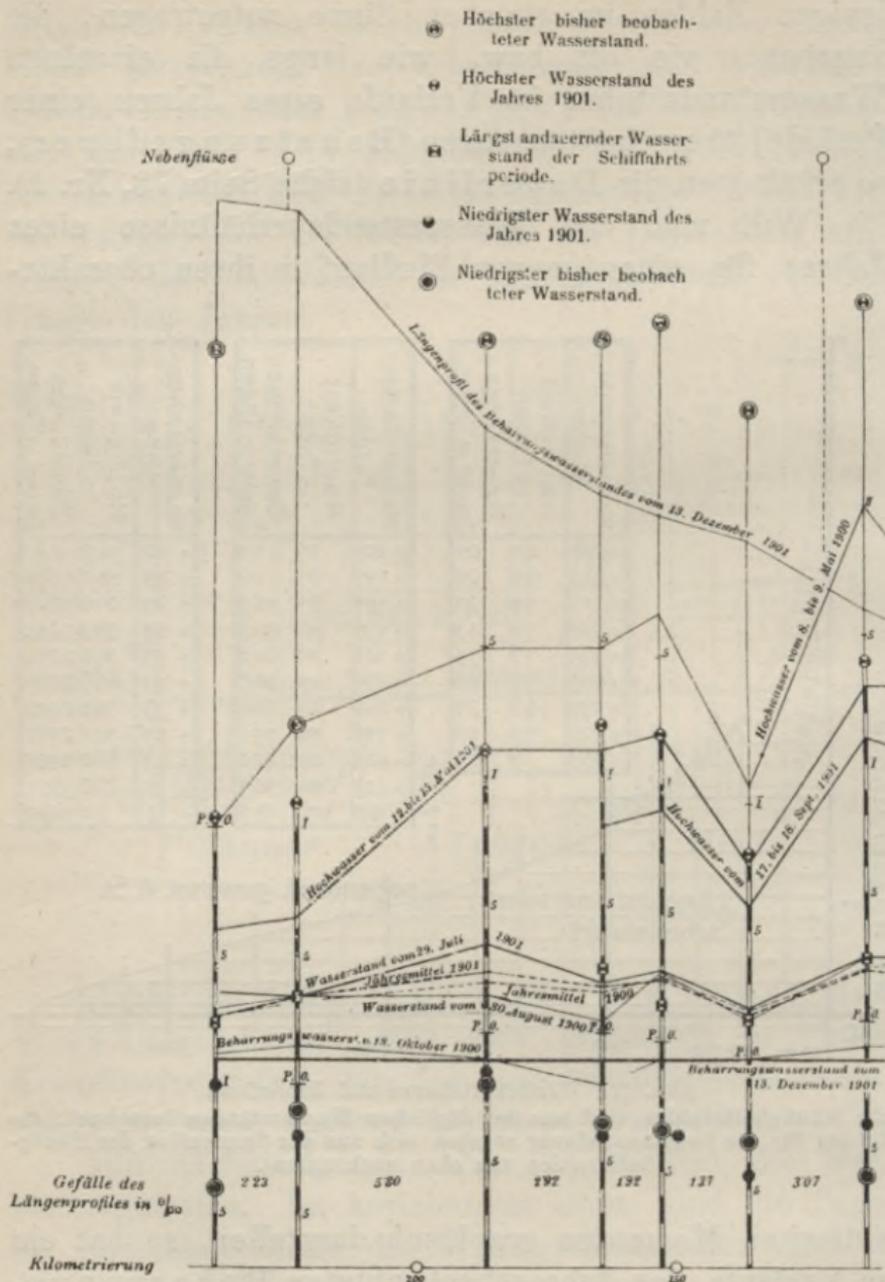


Abb. 13.

Punkte Senkrechte auf die Basislinie, so stellen diese Senkrechten die Pegel vor. Die Nullpunkte der

Pegel ergeben sich aus den Pegellesungen am Tage des Beharrungswasserstandes, indem man diese Wasserstände im verjüngten Maßstabe (etwa 1:100) von der Basislinie nach oben (+) oder unten (—) aufträgt. Hat man dann die einzelnen Pegelskalen von Null nach oben und unten geteilt, so kann man alle charakteristischen Wasserstände des Jahres und auch mehrjährige Vergleichswasserstände durch Linienzüge darstellen und erhält hiedurch Anhaltspunkte für die Beurteilung der Wasserverhältnisse eines Jahres im Vergleiche mit den durchschnittlichen Beobachtungsergebnissen. Durch die Eintragung des Beharrungsstandes eines früheren Jahres läßt sich auch ein Schluß auf etwaige Sohlenveränderungen ziehen (Abb. 13, Seite 86).

Nicht immer aber kann man aus dem Vergleiche von Beharrungswasserständen zweier Jahre ohne weiteres auf Veränderungen der Flußsohle schließen, da ja auch Profilveränderungen anderer Art und das Verhalten der Nebenflüsse auf die Gestaltung der Linienzüge einwirken. Sicherer sind solche Schlüsse aus den Mittelwerten zu ziehen. Es ist darüber schon vorhin gesprochen worden (siehe die Tabelle IX); aber da hier von graphischen Darstellungen die Rede ist, so sei auch in diesem Punkte nach derselben gegriffen.

Die Abb. 14 (nächste Seite) stellt den Gang der zehnjährigen Durchschnittsmaße der Monatsmittel und der monatlichen Niederst- und Höchststände zu Hainburg an der Donau für zwei aufeinanderfolgende Dezennien dar (1876—1885 und 1886—1895). Fast durchaus ist eine Steigerung der Mittelwerte im zweiten Dezennium zu erkennen. Hieraus läßt sich wohl mit Sicherheit auf eine Sohlenhebung in der betreffenden Stromstrecke schließen.

Das hydrologische Jahr (Abflußjahr).

Die Abb. 14 zeigt aber — von den Sohlenveränderungen ganz abgesehen — noch etwas anderes.

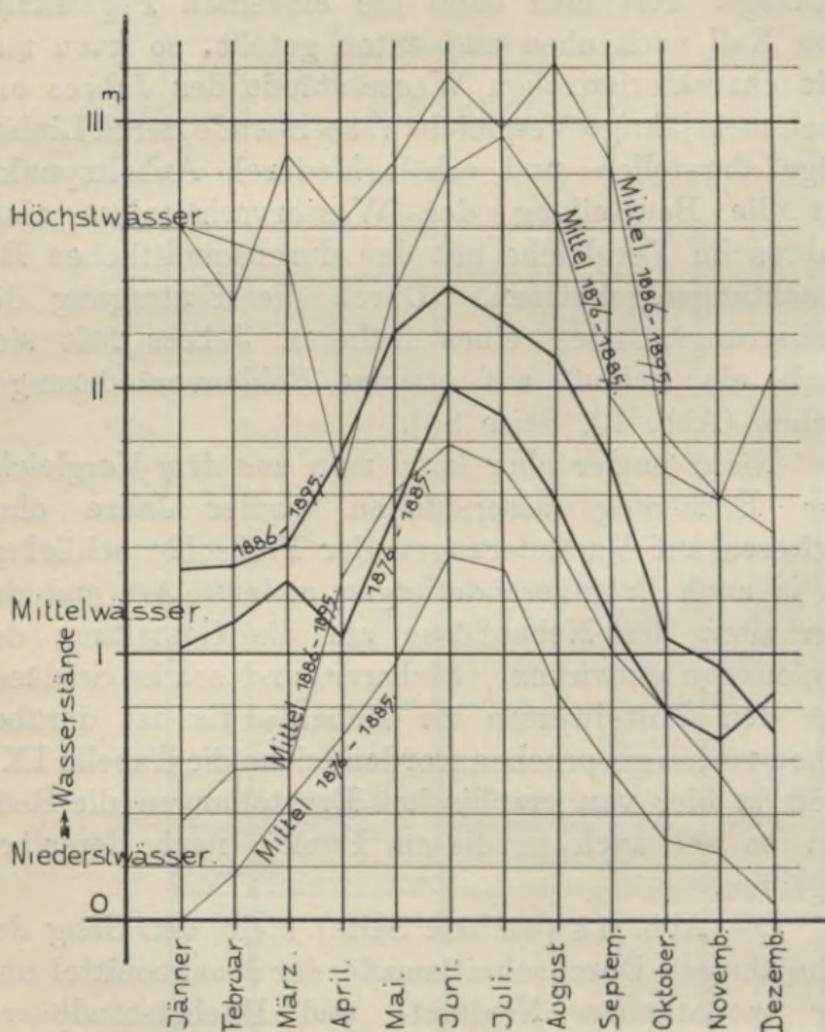


Abb. 14.

Sie weist infolge des Verlaufes der Niederst- und Mittelwässer darauf hin, daß die Wasserführung der Donau bei Hamburg durchschnittlich im Dezember am spärlichsten ist, daß sie bis Juni zunimmt und

hierauf bis zum nächsten Dezember wieder kontinuierlich kleiner wird. Eine Untersuchung gleicher Art hinsichtlich der übrigen österreichischen Donaupegel hat ergeben, daß längs der österreichischen Donau-Strecke die Erscheinung, daß die spärlichste Wasserführung in die Wintermonate fällt, einheitlich ist. Wir können also behaupten, daß sich die Jahreschwankung der Wasserstände der Donau von Dezember bis Dezember bzw. von Januar bis Januar vollzieht und haben Grund genug, diesem Zeitraume eine charakteristische Bezeichnung zu geben. Wir nennen ihn das hydrologische Jahr.

Das hydrologische Jahr ist nicht für alle Gewässer dasselbe; es ist vielmehr ein Charakteristikon für gewisse Systeme von Gewässern.

Die Alpenflüsse haben ein anderes hydrologisches Jahr als die deutschen Tieflandflüsse. So reicht das hydrologische Jahr der deutschen Weichsel, der Elbe, Weser, Ems von September bis August, jenes der Oder, des unteren Rheins von Oktober bis September und fällt das Höchstmaß der Wasserführung auf die Monate Februar bis April. Am oberen Rhein (schon bei Mannheim) macht sich der Gebirgscharakter des Gebietes geltend (Mindestmaß der Wasserführung, wie bei den meisten österreichischen Zuflüssen der Donau, im Februar, Höchstmaß im Juni), während die obere Donau (bei Tuttlingen) ihre kleinste Wasserführung im September, ihre größte im April hat.

Das hydrologische Jahr, das also für verschiedene Gewässer verschieden begrenzt ist, kann nur für rein hydrologische Untersuchungen zur Grundlage genommen werden. Bei Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß ist es nicht anwendbar, weil das meteorologische Jahr mit dem Solarjahre identisch ist; daher man auch bei den

Betrachtungen über die Wasserverhältnisse meist das Solarjahr beibehält.

Die oben angegebene Begrenzung des hydrologischen Jahres ist übrigens in der Praxis nicht die übliche; der Einheitlichkeit und anderer Umstände wegen beginnt z. B. das von der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde festgesetzte hydrologische Jahr mit dem 1. November, da im November meist Frost und der erste Schnee eintritt.

Das Österreichische Hydrographische Zentralbureau hat den 1. Dezember als den Beginn des hydrologischen Jahres festgesetzt, legt aber dieses Jahr nur den Berechnungen über die Dauer der Wasserstände zugrunde, die überdies nach den Wintermonaten Dezember bis Februar und der Schifffahrtsperiode, März bis November, getrennt durchgeführt werden, um die Wirkungen der Eiserscheinungen auf die Dauerwerte der Schifffahrtsperiode auszuschalten.

Die Wassermenge.

Die großen Schwankungen, denen die Wasserstände der Gerinne unterworfen sind, rühren, wie bereits erwähnt, von der, je nach den Witterungserscheinungen (Niederschlägen und Temperaturen) schwankenden Ergiebigkeit der Quellen, des oberflächlich abfließenden Regenwassers und des Grundwassers her. Sie sind daher von der zuströmenden Wassermenge abhängig. Je mehr Wasser dem Flußbette zuströmt, desto höher steigt der Wasserstand.

Unter der Wassermenge eines Flusses versteht man den Rauminhalt des einen bestimmten Querschnitt des Flusses in einer Sekunde

durchströmenden Wassers. Die Einheit der Wassermenge ist das Kubikmeter (cbm).

Von der für einen bestimmten Wasserstand ermittelten sekundlichen Wassermenge ausgehend, läßt sich für denselben Wasserstand die den Flußquerschnitt — das Flußprofil — in einer Stunde durchströmende Wassermenge, d. i. die stündliche Wassermenge, aus dieser die 24stündige oder Tageswassermenge und schließlich aus dieser die Wassermenge für einen längeren Zeitraum ableiten.

Beträgt die Wassermenge eines Flusses bei dem Wasserstande + 120 cm per Sekunde 1 cbm, so beträgt sie in der Stunde $1 \times 60 \times 60 = 3600$ cbm, in 24 Stunden $3600 \times 24 = 86400$ cbm usw.

Die Wassermenge eines Flusses ist zunächst von der örtlichen Lage des Flußquerschnittes abhängig. Je weiter talabwärts das Profil gelegen ist, desto größer ist das Niederschlagsgebiet, aus welchem die Wasseradern und Quellen zuströmen, desto größer die Anzahl der Neben- und Zuflüsse, um so größer also auch die Wassermenge, die das Flußprofil durchströmt.

Wie die Wassermenge mit der Größe des Niederschlagsgebietes zunimmt, das läßt sich in einer allgemeinen Formel nicht ausdrücken.

Ebensowenig wie in dieser Hinsicht eine einheitliche Verhältniszahl gefunden werden kann, ist auch eine einheitliche Verhältniszahl, die angibt, wieviel von der Niederschlagsmenge in den offenen Gerinnen zum Abflusse gelangt, nicht annehmbar; denn auch diese Verhältniszahl wechselt von Ort zu Ort, von Profil zu Profil und kann nur durch eine direkte Messung der Abflußmengen bestimmt werden. Sie ist dann auch nur für das Meßprofil strikte

gültig. Über das Verhältnis der Niederschlags- zur Abflußmenge wird später noch die Rede sein.

Die Beziehung zwischen Wassermenge und Wasserstand.

Die Wassermenge eines Flusses steht aber, wie gesagt, auch in einer direkten Beziehung zu dem Wasserstande. Es leuchtet dies sofort ein, wenn man bedenkt, daß die Wassermenge Q nichts anderes ist als das Produkt aus der Fläche F des nassen Querschnittes des Flusses und der Geschwindigkeit V , mit welcher das Wasser dahinfließt. Es ist

$$Q = F \cdot V,$$

wobei V den Weg bedeutet, den das Wasser in der Sekunde zurücklegt.

Da nun die Fläche F bei höheren Wasserständen größer ist als bei niedrigen und, nebenbei bemerkt, auch die Geschwindigkeit bei höheren Wasserständen größer ist als bei niedrigen, so muß auch die abfließende Wassermenge mit der Zunahme des Wasserstandes größer werden. Um nun das Verhältnis zwischen dem Wasserstande und der Wassermenge zu bestimmen, muß die Wassermenge bei verschiedenen Wasserständen gemessen oder auf rechnerischem Wege (unter Anwendung hydraulischer Formeln) ermittelt werden.

Man mißt aber aus leicht begreiflichen Gründen gewöhnlich nicht die Wassermenge direkt, sondern ihre zwei Faktoren: die nasse Profilfläche und die Abflußgeschwindigkeit. Die Messungsvorgänge sollen Gegenstand des Abschnittes C sein.

Hat man die sekundlichen Wassermengen (Q) für eine größere Anzahl von Wasserständen (h) (mindestens für drei verschieden hohe Niveaus) aus-

gemittelt, dann ergibt sich das Verhältnis der Wassermenge Q zum Wasserstand h aus der Gleichung:

$$Q = a + bh + ch^2.$$

Man nennt diese Formel die Gleichung der Abflußmengenkurve oder kurzweg die Konsumtionsgleichung.

Sind in dieser Formel zunächst die Größen Q und h für mehrere Fälle bekannt (gemessen), so können die Größen a , b und c , die sogenannten Konstanten, bestimmt werden.

Um die drei Unbekannten zu erhalten, bedürfen wir mindestens dreier Gleichungen. Es muß also die Wassermenge für dreierlei Wasserstände bekannt sein.

Kennt man die Wassermenge für mehr als drei Wasserstände, so ist zur Bestimmung der drei Konstanten die Durchführung einer komplizierten Ausgleichsrechnung (Methode der kleinsten Quadrate) erforderlich.

Man kann dies aber vermeiden, wenn man sich zur Darstellung der Konsumtionskurve des graphischen Weges bedient.

Trägt man in einem Koordinatensystem (Abb. 15), in welchem die Wasserstände die Ordinaten, die Wassermengen die Abszissen bedeuten, die gemessenen Wassermengen in der Höhe der zugehörigen Wasserstände auf, so erhält man eine Anzahl von Punkten, durch welche sich eine vermittelnde, stetig gekrümmte Linie — die Abflußmengenkurve oder Konsumtionskurve — legen läßt.

Wählt man aus der Reihe von Punkten drei aus, die gut in die Kurve hineinfallen und möglichst weit voneinander entfernt sind, wie z. B. die Punkte p_1 , p_2 und p_3 in der Abb. 15, und setzt man die

denselben entsprechenden Wasserstände und Wassermengen in die obige Gleichung ein, so erhält man drei Gleichungen:

$$Q_1 = a + bh_1 + ch_1^2$$

$$Q_2 = a + bh_2 + ch_2^2$$

$$Q_3 = a + bh_3 + ch_3^2$$

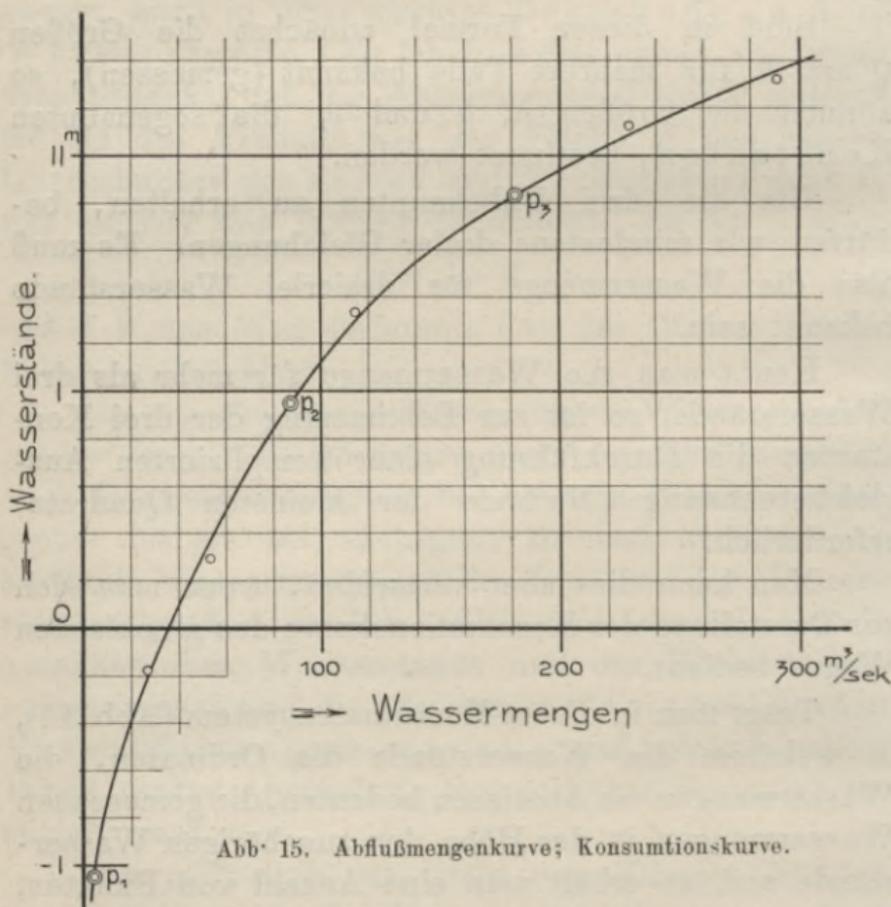


Abb. 15. Abflußmengenkurve; Konsumtionskurve.

aus welchen man nach den bekannten einfachen Methoden die drei Unbekannten a , b und c berechnen kann.

Außer der eben besprochenen analytischen Form der Konsumtionsgleichung sind von zahlreichen Autoren andere Formen empfohlen worden,

die aber in der Praxis wenig Eingang gefunden haben und daher hier nicht näher besprochen werden können. Sie beruhen auf verschiedenartigen Anschauungen über die Gestalt der Konsumtionskurve.

Alle diese Gleichungen lassen sich nach Art der Abb. 15 graphisch darstellen — man erhält die genauen Konsumtionskurven, aus welchen man für sämtliche Wasserstände die zugehörigen sekundlichen Wassermengen unmittelbar entnehmen kann. Es muß bezüglich dieser Kurven noch folgendes betont werden:

1. Sie gelten, streng genommen, nur für Wasserstände, die innerhalb der Wasserstandsgrenzen liegen, für welche die Wassermengen tatsächlich gemessen worden sind. Über dem höchsten Messungswasserstand und unter dem niedrigsten ist der Gang der Kurve unsicher. Soll die Kurve für niedrige und für höchste Wasserstände Gültigkeit haben, so muß die Kurve auf Messungen beruhen, die bei niedrigen und bei höchsten Wasserständen durchgeführt worden sind.

2. Sie gelten nur so lange, als sich in dem Messungsprofile, welchem sie zugehören, keine wesentlichen Veränderungen (Anschotterungen, Austiefungen) vollzogen haben. Soll eine Kurve lange Zeit Gültigkeit haben, so muß sie auf Messungen in einem unveränderlichen — möglichst gleichbleibenden Profile beruhen.

Wo ein stetiges Verhalten des Profils nicht nachweisbar ist, oder — umgekehrt — Profilveränderungen stattgefunden haben, dort muß von Zeit zu Zeit die Wassermengenkurve auf Grund von neuen Messungen überprüft bzw. neu bestimmt werden.

Wie bereits erwähnt, bildet die Gleichung für die sekundliche Wassermenge den Ausgangspunkt

für die Berechnung der Tagesabflußmenge, indem man das für eine Sekunde berechnete Volumen mit $60 \times 60 \times 24 = 86\,400$ multipliziert. Da die Pegel in der Regel einmal im Tage abgelesen werden, so lassen sich auf Grund der Tagesablesungen die täglichen Abflußquantitäten bewerten.

Die Summe aller Tagesabflußmengen in einem Monate gibt die Monatsabflußmenge, die Summe aller Tagesabflußmengen in einem Jahre gibt die Jahresabflußmenge für das betreffende Pegelprofil.

Dividiert man die Monatsabflußmenge durch die Anzahl der Tage im Monate mal 86 400, so erhält man die mittlere sekundliche Monatsabflußmenge; dividiert man die Jahresabflußmenge durch die Anzahl der Tage im Jahre (365, 366) und durch 86 400, so resultiert die mittlere sekundliche Jahresabflußmenge, die bei vielen hydrologischen Untersuchungen die Hauptrolle spielt.

Diese Mittelmengen lassen sich aber nicht nur aus den Tagesmengen ableiten. Es genügt in den meisten Fällen, wenn man die mittlere sekundliche Monatswassermenge unmittelbar aus der Konsumtionsgleichung herleitet, indem man für h das Monatsmittel der Wasserstände einsetzt. Die so erhaltene mittlere Monatsabflußmenge multipliziert mit der Anzahl von Sekunden im Monate gibt uns die gesamte Abflußmenge des betreffenden Monats.

Addiert man die Monatsabflußmengen der zwölf Monate eines Jahres, so erhält man die Gesamt-abflußmenge des Jahres. Diese dividiert durch die Anzahl der Sekunden im Jahre ergibt die mittlere sekundliche Jahresabflußmenge.

Annähernd läßt sich die sekundliche Jahresmenge auch aus dem Jahresmittel der Wasserstände

bewerten, indem man diesen Mittelwasserstand oder einen anderen der vorhin (Seite 81 und 82) erörterten Mittelwasserstände in die Konsumtionsgleichung einsetzt¹.

Die Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluß.

Es ist im Verlaufe der Ausführungen des öfteren von dem Verhältnisse zwischen der Niederschlags- und der Abflußmenge die Sprache gewesen.

Wir sind nun so weit, daß wir auf dieses Verhältnis näher eingehen können, da wir nun wissen, wie wir die Niederschlagsmenge für ein gewisses Gebiet und wie wir die Abflußmenge für ein gewisses Flußprofil (Pegelprofil) zu bestimmen haben. Das betreffende Gebiet ist das Niederschlagsgebiet des Flusses von den Quellen bis zu dem fraglichen Pegelprofil, mit Einschluß der Gebiete aller oberhalb des Pegelprofiles einmündenden Neben- und Zufüsse.

Der Zeitraum, für welchen wir die Verhältniszahl berechnen wollen, sei ein bestimmtes Solarjahr (1. Januar bis 31. Dezember).

Die mittlere Jahresniederschlagshöhe für das Gebiet sei nach irgendeiner der im ersten Abschnitt erläuterten Methoden bereits ausgemittelt; sie sei mit H bezeichnet.

Die gesamte Jahresabflußmenge sei für das gewählte Flußprofil berechnet; dividiert man diese durch die Fläche des Niederschlagsgebietes, so erhält man

¹ Siehe auch: „Die mittlere Abflußmenge.“ Vom K. K. Hydrogr. Zentralbureau. Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst. 1904.

die mittlere Jahresabflußhöhe für das Gebiet; sie sei mit h bezeichnet.

Das Verhältnis $h:H$ ist nun nichts anderes als das gesuchte Verhältnis zwischen Niederschlag und Abfluß. Es ist der Abflußkoeffizient oder der Abflußfaktor, auch das Abflußvermögen genannt. Man erhält das Verhältnis auch, wenn man die gesamte Jahresabflußmenge unmittelbar durch die gesamte Jahresniederschlagsmenge dividiert.

Ein Beispiel:

Die Fläche des Inngebietes bis Schärding beträgt

$$F = 25619,6 \text{ qkm.}$$

Die Gesamtabflußmenge des Inn betrug bei Schärding im Jahre 1904:

$$Q = 21,236\,558\,400 \text{ cbkm.}$$

Die Division $\frac{Q}{F}$ ergibt die mittlere Abflußhöhe für das in Rede stehende Gebiet mit

$$h = 829 \text{ mm.}$$

Die mittlere Niederschlagshöhe ist nach einer der im Abschnitte A besprochenen Methoden mit

$$H = 1212 \text{ mm}$$

berechnet worden.

Das Verhältnis:

$$h:H = \frac{829}{1212}$$

ergibt sich mit **0,68**, welche Zahl den Abflußkoeffizienten für den Inn bei Schärding, und zwar für das Jahr 1904, vorstellt.

Auf dem gleichen Wege wurden die in der Tabelle X (Seite 99 und 100) zusammengestellten Abflußkoeffizienten gefunden.

Tabelle X. Abflußkoeffizienten.

Flußgebiet	Jahr (oder Periode)	Abflußkoeffizient
Donau bis Engelhartzell . .	1904	0,50
Donau bis Stein.	1898	0,57
	1900	0,57
	1901	0,46
	1902	0,54
	1903	0,56
Donau bis Wien	1897	0,63
	1898	0,58
	1899	0,55
	1900	0,56
	1901	0,45
	1902	0,50
	1903	0,52
Inn bis Innsbruck.	1900	0,83
	1901	0,75
	1902	0,81
	1903	0,79
	1904	0,88
Inn bis Kufstein	1900	0,76
	1901	0,67
	1902	0,72
	1903	0,68
	1904	0,75
Inn bis Schärding.	1904	0,68
Salzach bis Oberndorf. . . .	1904	0,82
Traun bis Lambach.	1903	0,68
Traun bis Gmunden.	1904	0,80
Traun bis Wels.	1904	0,65

Tabelle X (Fortsetzung).

Flußgebiet	Jahr (oder Periode)	Abflußkoeffizient
Ager bis Kammer.	1896—1903	0,68
	1904	0,66
Enns bis Enns	1904	0,68
March bis Rohatetz.	1897	0,27
	1902	0,28
	1903	0,32
Drau bis Villach	1901	0,73
	1902	0,75
	1903	0,60
	1904	0,78
Rhein bis Lustenau :	1897	0,78
Etsch bis Trient	1901	0,70
	1903	0,64
	1904	0,86
	1905	0,83
Elbe bis Tetschen.	Mehrjähriges Mittel	0,28
Moldau bis Prag	Mehrjähriges Mittel	0,24

Anmerkung: Die Daten sind den Jahrbüchern des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien entnommen.

Einer in dem ersten Bande der „Gesonderten Mitteilungen“ der Preuß. Landesanstalt für Gewässerkunde in Berlin enthaltenen Arbeit H. Kellers, betitelt „Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa“, ist die Tabelle XI auszugsweise entnommen, in welcher die Abflußkoeffizienten der mitteleuropäischen Flußgebiete systematisch aneinandergereiht sind.

Tabelle XI.

Flußgebiet	Zahl der Jahre	Abfluß- koeffizient
Flachlandsgebiete.		
Obere Netze (oberhalb der Küddow- mündung)	30	0,205
Ossa bis Dombrowken	5	0,199
Warthe bis Landsberg	10	0,254
Drewenz bis zur Mündung	10	0,286
Untere Netze bis zur Mündung . .	30	0,340
Masurische Seen (Jegliner Kanal bis Angerburg).	40	0,252
Schwarzwasser bis zur Mündung . .	10	0,361
Alle bis zur Mündung	25	0,328
Havel bis Rathenow	4	0,194
Brahe bis Bromberg	18	0,323
Ferse bis zur Mündung	10	0,246
Küddow bis zur Mündung	10	0,396
Ilmenau bis Bardowiek	10	0,326
Ihna bis Gollnow	4	0,371
Drage bis zur Mündung	20	0,357
Persante bis zur Mündung	8	0,385
Rega bis zur Mündung	4	0,404
Stolpe bis zur Mündung	4	0,399
Gemischte Gebiete.		
Mittlere Oder bis Pollenzig	10	0,263
Aller bis zur Mündung	10	0,337
Mittlere Weser bis Hoya	10	0,353
Mulde bis Dübén	20	0,406
Emscher bis Prosper	9	0,511
Lippe bis Hamm	16	0,473
Gebirgsgebiete.		
Untere Saale bis Trebnitz	20	0,275
Main bis Miltenberg	12	0,285
Moldau bis Prag	15	0,260

Tabelle XI (Fortsetzung).

Flußgebiet	Zahl der Jahre	Abflußkoeffizient
Böhmische Elbe bis Tetschen . . .	15	0,278
Eger bis Laun	5	0,308
Tauber bis Mergentheim	7	0,261
Jagst bis zur Mündung	11	0,384
Werra bis zur Mündung	10	0,396
Obere Weser bis Münden	10	0,343
Fulda bis Münden	10	0,304
Obere Elbe bis Brandeis	5	0,313
Mosel bis zur Mündung	20	0,437
Saar bis zur Mündung	10	0,432
Oker bis Braunschweig.	10	0,308
Donau bis oberhalb der Illermündung	5	0,391
Obere Oder bis Kosel	20	0,332
Obere Saale bis Remschütz	25	0,447
Enz bis zur Mündung	5	0,303
Weisseritz bis Dresden	18	0,364
Kocher bis zur Mündung.	11	0,372
Eder bis Hemfurt	25	0,421
Lachsbach bis Schandau	5	0,475
Chemnitzbach bis Alt-Chemnitz . .	5	0,486
Beczwa bis Wsetin.	6	0,497
Sengbach bei Solingen	8	0,689
Herzberger Teich bei Goslar	3	0,572
Wupper bis Dahlhausen	20	0,679
Eschbach bei Remscheid	18	0,683

Alpenflußgebiete.

Isar bis zur Mündung	5	0,588
Donau bis Obernzell	5	0,585
Lech bis zur Mündung.	5	0,667
Iller bis zur Mündung	5	0,715
Inn bis Innsbruck	3	0,798
Inn bis Kufstein	3	0,716
Enns bis Steyer	10	0,621
Traun bis Lambach	25	0,649

Die vorstehenden Betrachtungen haben ergeben, daß immer nur ein Bruchteil der Niederschlagsmengen in den offenen Gerinnen abfließt, und daß dieser Bruchteil verschieden groß ist, je nachdem wir es mit einem Gebirgsflusse oder mit einem Flachlandsflusse zu tun haben, je nachdem das Flußgebiet mehr dem Hochgebirge, dem Mittelgebirge oder der Tiefebene angehört. Was mit dem übrigen Teile der Niederschlagsmengen vor sich geht, darüber sind schon mehrere Andeutungen gegeben worden. Sie versickern, werden von den Pflanzen absorbiert, bleiben als Bodenfeuchtigkeit im Erdreich, als Grundwasser in den wasserdurchlässigen Schichten der Erdrinde usw. — oder sie verdunsten, kehren in den Luftraum zurück, um neuerlich Nebel und Wolken zu bilden.

Wieviel davon versickert, wieviel verdunstet, das soll hier nicht weiter erörtert werden, da alle diese Wassermengen in Summa für den Hydrographen nichts anderes bedeuten als den Abflußverlust. Wie aber schon die Zahlen, die wir für den Abfluß — im Verhältnisse zum Niederschlage — erhalten haben, beweisen, hat die althergebrachte Annahme, daß ein Drittel der Niederschlagsmenge abfließt, ein Drittel versickert und ein Drittel verdunstet, keine allgemeine Berechtigung.

In der bereits zitierten Studie über „Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa“ hat sich H. Keller bemüht, eine einheitliche Abflußformel für die mitteleuropäischen Flußgebiete zu finden. Auf Grund der in der Tabelle XII (Seite 104) zusammengestellten Mittelzahlen für die Niederschlagshöhe x , für die Abflußhöhe y und für die Verdunstungshöhe (Verlusthöhe) z , eingeteilt nach bestimmten Gebietsgruppen, hat sich die Gleichung der Hauptlinie des Abflusses ergeben mit:

I . . . $y = 0,942 x - 405$ (in mm),
 ferner die Gleichung der Hauptlinie der
 Verdunstung mit:

$$\text{Ia} \dots z = 0,058 x + 405 \dots \text{(in mm).}$$

Tabelle XII.

Gebietsgruppe	Mittlere Niederschlagshöhe für die Gebietsgruppe pro Jahr x in mm	Mittlere Abflußhöhe pro Jahr y in mm	Mittlere Verdunstungshöhe $x - y = z$ z in mm	Gebietsfläche in qkm
Ostgruppe (Memel, Pregel, Weichsel) .	605,5	169,5	436,0	297 900
Übergangsgruppe (Oder, Elbe)	595,2	154,5	440,7	244 400
Westgruppe (Weser, Ems)	716,1	252,5	463,6	46 100
Nördl. Mitteleuropa	609,9	169,7	440,2	588 400
Alpenstromgruppe (Rhein, Donau) . .	962,4	501,8	460,6	245 900
Ganz Mitteleuropa	713,8	267,6	446,2	834 300

Für sehr kleine Niederschlags-, Abfluß- und Verdunstungshöhen haben diese zwei Gleichungen keine Gültigkeit.

Als untere Gültigkeitsgrenze ist der Wert $x = 560$ mm anzunehmen.

Für die untere Grenzlinie der Verdunstung und für die zugeordnete obere Grenzlinie des Abflusses gelten die Gleichungen:

$$\text{II} \dots z = 350 \text{ und}$$

$$\text{IIa} \dots y = x - 350.$$

Sie sind nach untenhin gültig bis $x = 500$ mm.

Für die obere Grenzlinie der Verdunstung und die zugehörige untere Grenzlinie des Abflusses gelten die Gleichungen:

$$\text{III} \dots\dots z = 0,116 x + 460 \text{ (in mm),}$$

$$\text{IIIa} \dots\dots y = 0,884 x - 460 \text{ (in mm).}$$

Diese sind nach untenhin gültig bis $x = 625$ mm.

Die Gleichungen II und IIa gelten als äußerste Grenzlinien für Gebiete mit großem Abflußvermögen (Gebirgsflüsse, Alpenflüsse); die Gleichungen III und IIIa für Gebiete mit kleinem Abflußvermögen (Flachlandsflüsse).

Alle die besprochenen Gleichungen sind aber überhaupt nur für den mehrjährigen Durchschnitt anwendbar, nicht aber zur Beurteilung der Abflußverhältnisse eines einzelnen Jahres, da ja jedes Jahr diesbezüglich Abnormitäten aufweist und von dem mehrjährigen Durchschnitte abweicht.

Es sei erwähnt, daß H. Keller in seiner Studie auch die Abflußformeln von Penck, Ule und Schreiber zum Vergleiche heranzieht.

So wie wir den Abflußkoeffizienten für das Solarjahr abgeleitet haben, so kann man ihn auch für die einzelnen Monate oder für eine gewisse Niederschlagsperiode, etwa für die Dauer einer Niederschlags- und Hochwasserkatastrophe, berechnen.

Die Monatskoeffizienten geben ein Bild über die Verteilung des Jahresabflusses auf die einzelnen Monate und über die Einwirkung der Temperaturen auf die Abflußverhältnisse. Wie die Tabelle XIII (Seite 106) zeigt, sind die Monatsabflußfaktoren oft größer als die Einheit, d. h. es fließt in den betreffenden Monaten mehr Wasser ab, als der Niederschlag liefert.

Es ist dies nur dadurch erklärlich, daß das Abflußwasser zum großen Teil von der Schnee-

Tabelle XIII. Darstellung der Abflußverhältnisse des Inn bei Schärding im Jahre 1904.

Monat beziehungsweise Jahr	Wasserstands- mittel in cm	Mittlere sekundliche Abflußmenge in cbm	Gesamta- Abflußmenge in cbm	Mittlere Abfluß- höhe in mm	Mittlere Nieder- schlags- höhe in mm	Unterschied zwischen Nieder- schlags- und Abflußhöhe in mm	Prozentueller Anteil der einzelnen Monate an dem Gesamt-		Abfluß- koeffizient	
							Jahres- abflüsse	Jahres- nieder- schläge		
Inn bei Schärding. — Niederschlagsgebiet 25619,6 qkm².										
Januar	+	19	287,3	769 504 320	30	21	—	3,6	1,7	1,43
Februar	+	38	336,0	841 881 600	33	86	+	4,0	7,1	0,38
März	+	57	392,8	1 052 075 520	41	57	+	4,9	4,7	0,72
April	+	151	790,3	2 048 457 600	80	108	+	9,7	8,9	0,74
Mai	+	179	946,3	2 534 569 920	99	126	+	11,9	10,4	0,78
Juni	+	237	1324,3	3 432 585 600	134	149	+	16,2	12,3	0,89
Juli	+	168	883,0	2 365 027 200	92	87	—	11,1	7,2	1,05
August	+	151	790,3	2 116 739 520	83	156	+	10,0	12,9	0,53
September	+	154	806,2	2 089 670 400	82	134	+	9,9	11,1	0,61
Oktober	+	107	580,0	1 553 472 000	61	107	+	7,4	8,8	0,57
November	+	87	498,5	1 292 112 000	50	98	+	6,0	8,1	0,51
Dezember	+	67	425,8	1 140 462 720	44	83	+	5,3	6,8	0,53
Jahr 1904	+	118	671,5	21 236 558 400	829	1,212	+	100,0	100,0	0,68

Anmerkung: Dem Jahrbuche des Hydrogr. Zentralbureaus in Wien pro 1904 entnommen.

schmelze oder von der Schmelze des Firneises bzw. von Niederschlägen herrührt, die in den Vormonaten gefallen sind. Andererseits lassen sich besonders kleine Monatskoeffizienten darauf zurückführen, daß der Hauptteil der Niederschläge als Schnee liegen geblieben ist. So wird in jedem einzelnen Falle der Weg gewiesen, der zu der Erklärung abnormer Erscheinungen führt.

Es sei jedoch bemerkt, daß den für kurze Zeiträume (Monate) entwickelten Werten der Abfluszzahlen im allgemeinen keine Bedeutung zukommt und sich auf denselben keine Theorien aufbauen lassen.

Immerhin geben sie über die jahreszeitliche Verteilung der Abflussvorgänge gewisse allgemeine Anhaltspunkte und liefern sie im Vereine mit den Witterungsfaktoren gewisse Merkmale für die klimatische und orographische Lage des Flußgebietes.

Hochwasseruntersuchungen.

In den Bereich solcher Untersuchungen werden gewöhnlich nur jene Hochwässer gezogen, die sich durch katastrophale Wirkungen (Überschwemmungen) bzw. durch ein ausnehmend schnelles Ansteigen der Wasserstände bis zu einem ungewöhnlich hohen Niveau charakterisieren und nach dem Eintritte des Höchststandes — des Scheitelstandes oder der Kulmination meist verhältnismäßig schnell wieder zum Abflusse gelangen. Die Erscheinung erstreckt sich zumeist auf ein ganzes Flußgebiet bzw. auf mehrere Flußgebiete, zum mindesten auf eine längere Strecke eines Hauptflusses bzw. auch auf die oberhalb dieser Strecke einmündenden Neben- und Zufüsse.

Die plötzliche Wasserstandszunahme wird daher in einem ganzen System von Wasserstandsbeobachtungsstellen wahrgenommen, und zwar in verschiedenen Zeitpunkten, wie denn auch die Erreichung der Scheitelstände an den einzelnen Pegeln in der Regel nacheinander eintritt, in den höher gelegenen Flußstrecken früher als in den unteren Talstrecken.

Dieser Umstand führt zu der begründeten Vorstellung, daß man es mit der Talwärtsbewegung einer Flutmasse zu tun habe, mit einer talwärts stürzenden Welle, und gibt uns den Anlaß, von einer Flutwelle zu sprechen, die sich stromabwärts fortpflanzt.

Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flutwellen geben die Zeitpunkte Aufschluß, zu welchen die Scheitelstände an den einzelnen Pegelstationen beobachtet worden sind. Liegen zwei Pegelstationen z. B. 20 km voneinander entfernt, und ist der Scheitelstand der Flutwelle an der oberen Station um zwei Stunden früher registriert worden als an der unteren Station, so beträgt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle 10 km in der Stunde.

Diese Betrachtung läßt sich auf die ganze Flußstrecke ausdehnen, wenn der Beobachtungsapparat pünktlich funktioniert hat, d. h. wenn der Scheitelpunkt der Welle an allen Pegelstationen richtig und pünktlich aufgezeichnet worden ist.

Der Umstand, daß die Scheitelstellung der Flutwelle oft längere Zeit anhält, läßt die genaue Festlegung des Zeitpunktes der Kulmination nicht immer zu; man muß sich damit begnügen, den Anfangsmoment der dauernden Scheitelstellung oder einen anderen markanten Moment der Flutwellenbewegung in Rechnung zu ziehen. Wesentlich erleichtert wird die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit

der Welle, wenn für die Dauer des Hochwassers stetige Aufschreibungen von selbstzeichnenden Apparaten vorliegen.

In Ermangelung von solchen Aufzeichnungen führen stündliche Wasserstandsbeobachtungen — zu welchen die Beobachter nach den „Vorschriften“ bei Hochwasser verpflichtet sind — halbwegs zu verlässlichen Ergebnissen. Die nach Art der Tabelle XIV (Seite 110) angeordnete Zusammenstellung dieser stündlichen Daten verschafft uns eine ziemlich klare Vorstellung über den Verlauf der Flutwellen.

Wir erkennen z. B., daß der Höchststand in der Station A mit + 344 am 31. Juli um 3 Uhr nachmittags und in der um 11,18 km talwärts gelegenen Station B mit + 266 am 1. August um 1 Uhr nachts eingetreten ist. Die Kulmination hat den Weg von 11,18 km daher in zehn Stunden zurückgelegt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit betrug pro Stunde 1,118 km.

Anschaulicher ist freilich wieder die zeichnerische Darstellung, wie sie in der Abb. 16 (Seite 111) gegeben ist. Nach den aus den Aufzeichnungen von selbstregistrierenden Wasserstandsanzeigern hervorgegangenen Kurven der Station A und B haben die Kulminationen um 3 Uhr 30 Min. bzw. um 2 Uhr 15 Min. stattgefunden. Die Fortpflanzungsdauer betrug sohin $10\frac{3}{4}$ Stunden, die Geschwindigkeit pro Stunde $(11,18 : 10,75) = 1,04$ km.

Die Fortpflanzungsweise der Flutwellen in ein und derselben Flußstrecke ist selbstverständlich abhängig von dem Höhenmaße des Scheitelstandes, von dem Geschwindigkeitsmaß der Wasserstandssteigerung, von der Verteilung der Niederschläge auf die einzelnen Flußgebietsteile, von der Verteilung des Maßes der Niederschläge der Zeit nach, von dem Verhalten der

Tabelle XIV.

Zeit		Station A	Station B
Datum	Stunde	km 102,00	km 113,18
30. Juli	Vorm. 12 Uhr	— 60	— 82
	Nachm. 3 "	— 11	—
	" 6 "	+ 39	— 51
	" 9 "	+ 91	— 30
31. Juli	Vorm. 4 "	+ 224	—
	" 6 "	+ 258	+ 70
	" 8 "	+ 293	+ 100
	" 9 "	+ 306	—
	" 10 "	+ 317	+ 132
	" 11 "	+ 325	—
	" 12 "	+ 332	+ 162
	Nachm. 1 "	+ 337	—
	" 2 "	+ 342	+ 193
	" 3 "	+ 344	—
	" 4 "	+ 343	+ 217
	" 5 "	+ 339	—
	" 6 "	+ 334	+ 233
" 8 "	+ 317	+ 247	
" 10 "	+ 296	+ 257	
" 11 "	—	+ 261	
" 12 "	+ 272	+ 264	
1. August	Vorm. 1 "	—	+ 266
	" 2 "	+ 244	+ 266
	" 3 "	—	+ 265
	" 4 "	+ 215	+ 263
	" 6 "	+ 192	+ 254
	" 8 "	+ 171	+ 237
	" 10 "	+ 152	+ 217
	" 12 "	+ 136	+ 195
	Nachm. 6 "	+ 106	+ 127

Wasserstände der Zuflüsse und dem Eintreffen der Fluten der Zuflüsse im Hauptstrome. In verschiedenen Hauptflußstrecken wirkt namentlich das Gefälle, die Gestalt des Flußbettes der Breite und Tiefe nach, die Unterbrechung des Flußlaufes

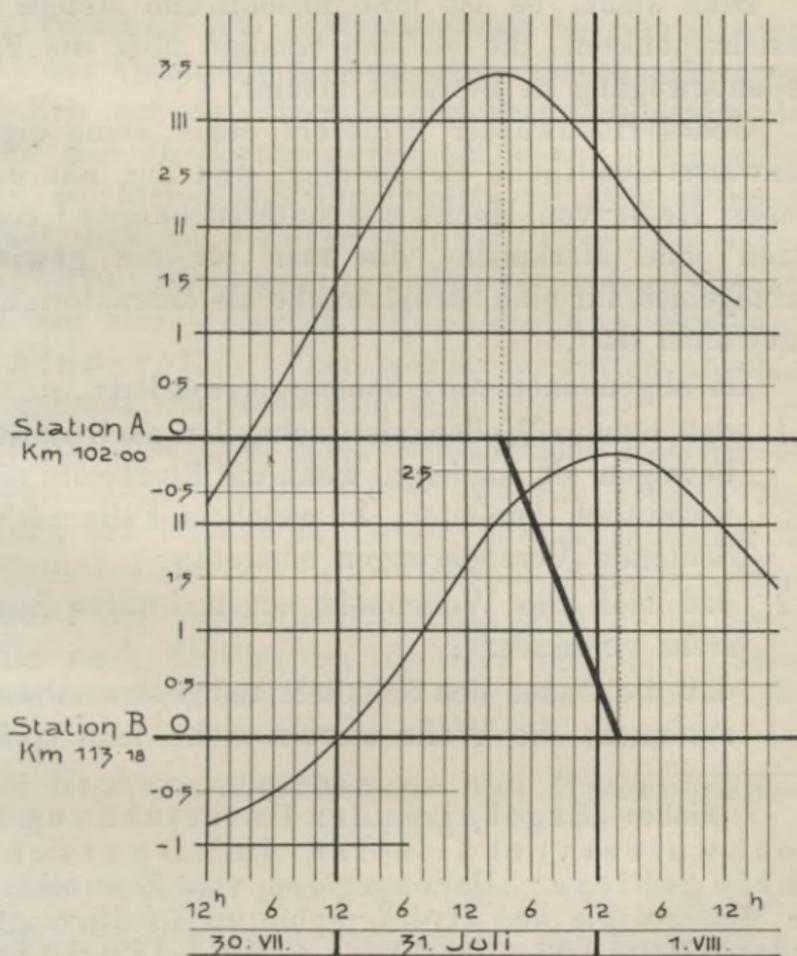


Abb. 16. Fortpflanzung der Flutwellen.

durch Seebecken, Teiche, Talsperren, Wehre, der Umfang der Seebecken und der Staubereiche auf die Fortpflanzungsweise der Wellen ein.

Die Fortpflanzungsweise der Flutwellen ist aber vor allem auch von dem Umstande abhängig, ob die

Gesamtmasse der Flutwelle in dem Flußbette geschlossen abgeführt wird, oder ob ein Teil derselben aus den Ufern tritt und die Niederungen überschwemmt. In diesem letzteren Falle muß natürlich eine Verzögerung des Flutwellenverlaufes die Folge sein.

Man sieht, es ist eine ansehnliche Menge von Gesichtspunkten, die bei den Studien über die Flutwellenbewegung in Betracht kommt.

Jedes Hochwasser erfordert daher seine eigene fachwissenschaftliche Behandlung, und nur aus einer großen Reihe von Hochwasseruntersuchungen¹ resultieren jene Merkmale, die man für ein gewisses Stromgebiet, für eine Stromstrecke als charakteristisch bezeichnen darf.

Im allgemeinen darf behauptet werden:

1. daß höhere Wellen sich schneller nach abwärts bewegen als niedrige, wenn die Flußbreite nicht wesentlich zunimmt, in welchem Falle oft bedeutende Verzögerungen eintreten;
2. daß sich die Wellenhöhe stromabwärts immer mehr vermindert;
3. daß die Dauer des Scheitelstandes stromabwärts zunimmt; die Welle streckt sich; man spricht

¹ Siehe: „Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im Deutschen Rheingebiete.“ Herausgegeben vom Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie im Großherzogtum Baden. 7 Hefte, 1891—1898 (5 Bde.). Berlin, bei Ernst & Sohn.

Beiträge zur Hydrographie Österreichs: Heft 2: Die Hochwasserkatastrophe in Österreich im Jahre 1897; Heft 4: Die Hochwasserkatastrophe im Donaugebiete 1899; Heft 7: Das Traungebiet und die Verwertung des Retentionsvermögens der Salzkammergut-Seen zur Milderung der Hochwassergefahren. Herausgegeben vom K. K. Hydrographischen Zentralbureau; in Kommission bei W. Braumüller in Wien.

daher von einer Verflachung der Flutwellen und darf annehmen, daß diese Erscheinung auf die Versickerung des Wassers (als Grundwasser), auf das ungehinderte Vorauseilen des stromabwärtigen Teiles der Welle und hinsichtlich der Senkung des Scheitelstandes auf die Zunahme der Flußbreite stromabwärts zurückzuführen ist.

Ehe auf die Erörterungen über den praktischen Wert der Hochwasseruntersuchungen übergegangen wird, sei hier einschaltungsweise die Bemerkung gestattet, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flutwelle nicht verwechselt werden darf mit der Geschwindigkeit des Wassers im Flußprofile, über welche im dritten Abschnitt des näheren die Rede sein wird.

Daß dies zwei ganz verschiedene Begriffe und Größen sind, erhellt schon aus der vorigen Aufzählung der Umstände, die auf die Fortpflanzung des Wellenscheitels bzw. der Flutwelle Einfluß nehmen, während die Geschwindigkeit des Wassers im Stromprofile nach bestimmten Gesetzen mit dem Wasserstande zunimmt.

Die Hochwasservorhersage und Wasserstandsprognose.

Die eminent praktische Bedeutung der Hochwasseruntersuchungen liegt in der Ermöglichung der Vorausbestimmung des Hochwasserstandes in irgendeinem Flußprofile auf Grund der oberhalb desselben in dem Flußgebiete beobachteten Hochwassererscheinungen.

Wenn wir wissen, daß ein in der Pegelstation *A* abgelesener Wasserstand *H* in der etwa 100 km stromabwärts gelegenen Stromstelle *B* in der Zeit *Z*

den Wasserstand H_1 zur Folge hat, so sind wir in der Lage, die Anrainer der Stromstelle B vor der etwa herannahenden Gefahr einer Überschwemmung zu warnen, die verheerenden Wirkungen der Flut zu mildern oder gänzlich zu verhüten.

Die Vorausbestimmung der zu erwartenden Hochwasserstände (Wasserstandsprognose) auf Grund der Wasserstandsablesungen bzw. auf Grund der Pegelrelationen stößt auf mannigfache Schwierigkeiten. Zunächst versagen die aus Beharrungswasserständen hergeleiteten Pegelrelationslinien bei hohen Wasserständen meistens den Dienst, weil das Verhalten der Hochwasserstände — wie aus den früheren Erörterungen erhellt — ungemein wechselnd und unstät ist, weil ferner die Scheitelstände der Flutwellen, nach welchen die Relationslinien ergänzt werden können, schwer festzulegen sind und die Hochwässer überhaupt keiner Schablone folgen. Auch reichen die Beobachtungsdaten über Hochwässer selten weit genug zurück, um für ein etwa regelmäßiges Verhalten der Relationslinie zu zeugen. Andererseits verursachen gerade die Hochwässer oft bedeutende Veränderungen in der Gestalt des Flußbettes, wodurch die Relationen gestört werden.

Die größten Schwierigkeiten veranlaßt aber das verschiedenartige Verhalten der Neben- und Zuflüsse im Verlaufe der Hochwässer.

Wenn mangels anderer Behelfe trotzdem eine Wasserstandsprognose auf Grund der Wasserstandsdaten versucht wird bzw. tatsächlich besteht¹, so

¹ Siehe: „Der Wasserstandsnachrichtendienst der Hydrographischen Landesabteilung in Wien“, mitgeteilt vom Hydrographischen Zentralbureau; „Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst“ 1899.

Joseph Péch, „Wasserstandsprognose“, Studie über

darf nicht auf eine besondere Genauigkeit der Voraussagen gerechnet werden.

Eine andere Methode beruht auf den Beziehungen zwischen dem Maße der Wasserstandssteigerung an den höher gelegenen Pegelstellen gegenüber dem an einer niedriger gelegenen Station. Das Maß der Steigerung kann entweder auf den Pegelnullpunkt (absolute Steigerung) oder auf den der Anschwellung vorausgegangenen Wasserstand (relative Steigerung) bezogen werden.

Nach dieser Methode, die E. Allard in den *Annales des ponts et chaussées* vom Jahre 1889 (1. Teil) beschreibt¹, ist die Prognose für die Yonne (in Frankreich), und zwar für die Stadt Sens, eingerichtet.

Für die Bestimmung des Maßes y der Anschwellung in Sens werden die relativen Anschwellungen x_1 , x_2 und x_3 an den im Oberlaufe der Yonne bzw. an den Nebenflüssen Cousin und Armançon gelegenen Pegeln zu Clamecy, Avallon und Aisy, und zwar in Summa $x = x_1 + x_2 + x_3$, in Rechnung gezogen, dies unter der Annahme, daß die Fluten den Weg von den drei Pegelstellen nach Sens in der gleichen Zeit (von $1\frac{1}{2}$ Tagen) zurücklegen.

Die Relation ergab sich aus einer großen Zahl von tatsächlich beobachteten Hochwässern mit

$$y = 0,54 x;$$

die Voraussagung der zu erwartenden Wasserstände (4 Teile in 2 Bdn.). Budapest 1895 und 1897; aus den *Annalen der Hydrogr. Sektion im K. Ungar. Ackerbau-ministerium*, Bd. 6 und 7.

¹ Siehe auch Iszkowski: „Die Wasserstandsprognose.“ Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins in Wien. 1894.

für die absoluten Anschwellungsmaße fand man die Relation

$$y = 1,16 + 0,56 x.$$

Die Studien wurden auch noch dahin ergänzt, daß man die Zunahme der Wasserstände an den drei oberen Pegeln nicht summarisch, sondern einzeln in Rechnung zog.

Es ließen sich hieraus neue Gleichungen aufstellen, die für die relativen Steigerungen

$$y = 0,6 x_1 + 0,14 x_2 + 0,7 x_3$$

und für die absoluten Steigerungen des Wasserstandes

$$y = 1,16 + 1,07 x_1 + 0,45 x_2 + 0,19 x_3$$

lauteten.

Die ersterwähnten zwei Formeln, in welchen die Summen der Wasserstände $x_1 + x_2 + x_3 = x$ in Rechnung gezogen waren, gestatteten auch eine graphische Darstellung, bei welcher die y als Ordinaten, die Summen der $1\frac{1}{2}$ Tage früher abgelesenen Wasserstände x_1 , x_2 und x_3 als Abszissen aufzutragen waren. So ergaben sich Relationslinien, aus welchen für jedes x sofort das zugehörige y resultierte.

Ähnliche Relationen sind für die Seine bei Paris aufgestellt worden. Es kam dabei in Betracht, daß die Fluten des Hauptflusses und seiner Nebenflüsse den Weg von den oberen Pegelstellen zur Prognosenstation in Paris nicht in demselben Zeitraume zurücklegten. Es mußten daher verschiedenzeitige Pegelungen in Rechnung gezogen werden.

Z. B.: Es sei für A die Prognose zu geben und seien hiezu die Ablesungen an den Pegeln zu B und C heranzuziehen, von welchen die Fluten drei bzw. zwei Tage benötigen, um nach A zu gelangen; es müssen also für die Prognose in A die drei Tage

früher notierten Pegellesungen der Station *B* und die zwei Tage früher notierten Lesungen der Station *C* benützt werden.

Bei all diesen auf den Wasserstandsdaten beruhenden Methoden¹ schwankt der Genauigkeitsgrad der Vorhersage ganz erheblich. Fehler von 50 cm und mehr sind keine Seltenheit, daher der Wert der Prognosen unter solchen Umständen zweifelhaft ist.

Zu wesentlich besseren Resultaten ist der Prognosendienst an der Elbe in Böhmen vorgerückt. Hier ist es auf Grund von zahlreichen Erhebungen über die Abflußmengen der kleinen Elbe bei Brandeis, der Moldau bei Prag, der Eger bei Laun und der Elbe bei Tetschen gelungen, eine Relation der Wassermengen zu finden und für Tetschen eine auf den Wassermengen beruhende Wasserstandsprognose einzurichten, die vorwiegend den Schiffahrtszwecken dient, weshalb der in Tetschen zu erwartende Elbewasserstand täglich auf 24 Stunden vorher berechnet und veröffentlicht wird.

Es wurde gefunden, daß die bei Brandeis, Prag und Laun zu gleicher Zeit abfließenden Wassermengen 24 Stunden später Tetschen passieren. Die Wassermenge bei Tetschen ist gleich der Summe der Wassermengen bei Brandeis, Prag und Laun vermehrt um 10 %, d. i. um jene Wassermenge, die aus den übrigen Teilen des Zwischengebietes zuströmt.

Die Wassermengen bei Brandeis, Prag und Laun werden nach der Meldung der Wasser-

¹ Für die Elbe bei Barby wurde, unter Benützung der Wasserstände zu Dresden, zu Eilenburg an der Mulde und zu Trotha an der Saale eine Prognose versucht; siehe den „Hydrologischen Jahresbericht für die Elbe 1892“. Herausgegeben von der Elbestrombauverwaltung in Magdeburg.

stände an die Zentralstelle des Prognosendienstes (K. K. Hydrograph. Landesabteilung der Statthalterei) in Prag daselbst den für diese drei Flußstellen bekannten Konsumtionskurven entnommen. Aus der Summe der Wassermengen, vermehrt um 10^{0/10}, erhält man die Wassermenge für Tetschen und aus der Konsumtionskurve für Tetschen den am dortigen Pegel zu erwartenden Wasserstand.

Die Wasserstände von Brandeis und Laun werden täglich morgens telegraphisch nach Prag gemeldet; in Prag wird nach der Ablesung des Prager Pegels die Prognose für Tetschen berechnet bzw. graphisch bestimmt, worauf der in Tetschen am nächsten Tage zu erwartende Wasserstand telegraphisch nach Tetschen¹ bekannt gegeben wird.

Die Bedeutung dieser Maßregel erhellt sofort aus der Betrachtung, daß sich die Beladung der Frachtschiffe genau nach dem zu erwartenden Wasserstande zu richten vermag und hiedurch bei höheren Wasserständen die volle Tauchtiefe der Schiffe ausnützlich, bei niedrigen Wasserständen aber die Überladung der Schiffe bzw. die Überschreitung der Tauchtiefe verhütet wird².

¹ Gegenwärtig wird auch der Wasserstand für das benachbarte Aussig während der Schiffsfahrtsperiode täglich vorausbestimmt und verlautbart; in außerordentlichen Fällen wird ferner für Prag, Laube, Dresden und Torgau der Wasserstand vorausgesagt.

² „Das Verfahren zur Vorausberechnung der Wasserstände der oberen Elbe“ ist im 5. Hefte der Veröffentlichungen des Technischen Bureaus des Landeskulturrates für das Königreich Böhmen (Ergebnisse der Wasserstandsbeobachtungen an den Flüssen Böhmens für das Jahr 1892) als Anhang mitgeteilt. Prag 1893.

„Die Einrichtung des Wasserstandsprognosendienstes an der Elbe in Böhmen“ ist im 4. Hefte der zitierten Veröffentlichungen behandelt. Prag 1892.

Die Genauigkeit, mit der sich die Prognosegebung für Tetschen und Aussig¹ vollzieht, ist in erster Linie der Methode zu danken, die auf den Wassermengen beruht und die nur durchführbar ist, wenn alle hydrographischen Grundlagen hiefür vorhanden sind. Man muß für die in Betracht kommenden Flußprofile vollständige Konsumtionskurven zur Verfügung haben, d. h. es müssen sorgfältige Messungen der Wassermengen bei verschiedenen Wasserständen vorausgegangen sein. Dies setzt aber den langjährigen Bestand einer hydrographischen Institution voraus. Einer solchen erfreut sich das Königreich Böhmen seit 1875; als ihr Organisator ist Harlacher bekannt.

Die Genauigkeit der Wasserstandsangaben ist aber auch eine Folge des langen Bestandes der Prognosegebung, da hier die Erfahrung und Erprobung eine hervorragende Rolle spielt und die langjährige genaue Beobachtung aller auf die Wasserstandsschwankungen Einfluß nehmenden Faktoren diejenigen Korrekturwerte geliefert hat, die zur Erreichung eines hohen Genauigkeitsgrades in der Voraussage der Wasserstände erforderlich sind.

Nicht in letzter Linie wirken dabei auch die günstigen hydrographischen Verhältnisse des böhmischen Elbegebietes mit, das als ein abgeschlossener Kessel ein einheitliches Niederschlagsgebiet aufweist, in welchem nur drei große Zweigflüsse — die kleine Elbe, die Moldau und die Eger — ihre Fluten zu einer Hauptader, der großen Elbe, vereinigen.

Hochwasserwarnungen.

Wo die Verhältnisse nicht so günstig liegen, wo die hydrographischen Grundbedingungen noch nicht

¹ Der mittlere Fehler betrug im Jahre 1904 für Tetschen 2,6 cm, für Aussig 3,5 cm.

geschaffen, noch nicht soweit gediehen sind wie an der Elbe in Böhmen, dort muß man sich mit den vorhin besprochenen, weniger vollkommenen Methoden oder mit der einfachen Einrichtung eines Hochwasserwarnungsdienstes begnügen.

Das Wesen der Hochwasserwarnung besteht darin, daß die an dem Oberlaufe eines Flusses und an den Nebenflüssen gelegenen Wasserstandsbeobachtungsstationen verpflichtet sind, ein gefahrdrohendes Steigen des Wassers entweder unmittelbar den stromabwärts gelegenen gefährdeten Liegenschaften oder einer mit dem Empfange der Meldungen betrauten Zentralstelle mitzuteilen, die ihrerseits die Warnungen an die Bedrohten ergehen läßt. Die Meldungen und Warnungen sind womöglich telephonisch oder telegraphisch zu erstatten bzw. zwischen benachbarten Orten ohne Drahtverbindung durch Boten. Jedem Beobachter ist genau der Pegelstand eingeschärft, von welchem an bei steigendem Wasser die Meldungen beginnen, und ist die Zwischenzeit von Meldung zu Meldung begrenzt. Jeder Beobachter hat seine Instruktion darüber, nach welchen Orten er zu melden hat; jeder Empfangsstelle sind gleichfalls die Empfänger der von ihr weiterzuleitenden Meldungen und Warnungen bekannt.

So entsteht ein ganzes System von Meldungen und Warnungen, deren Gesamtheit man unter dem Begriff Hochwasserwarnungsdienst¹ zusammenfaßt.

Die Einrichtung eines Warnungsdienstes ist selbstverständlich auch dort von Belang, wo die Wasserstandsprognose ausgebildet ist, da diese nur

¹ Als Beispiel sei erwähnt die Hochwasser-meldeordnung für die Oder und ihre Nebenflüsse. Herausgegeben vom Oberpräsidium in Breslau; Verlag Korn, 1900.

für eine oder wenige Flußstellen gegeben werden kann, während sich der Warnungsdienst über das ganze Flußgebiet erstrecken soll.

Allerdings liegt die Warnung nur für solche Orte in dem Bereiche der Möglichkeit, welche so weit von dem Entstehungsherde der Katastrophe, von den Quellregionen der Flüsse gelegen sind, daß genügend Zeit zu Gebote steht, um die Warnungen rechtzeitig abgeben zu können, daß nicht etwa die Warnung später eintrifft als das Ereignis, vor welchem gewarnt werden soll. Die Warnung vor dem gefahrdrohenden Steigen des Wassers ist z. B. nicht durchführbar, wenn der Ort, der die Warnung empfängt, zu nahe dem Entstehungsgebiete der Flutwelle gelegen ist. Viel eher kommt man da mit einer Meldung von katastrophalen Regengüssen ans Ziel, daher die Einbeziehung von Regenstationen in das Netz des Hochwasserwarnungsdienstes von Wesenheit ist, wenschon diese über das Maß der drohenden Gefahr gewöhnlich keinen Aufschluß geben können.

In Frankreich ist übrigens auch der Versuch geglückt, die Wasserstandssteigerung aus dem Maße des Niederschlages vorauszubestimmen. Das Gebiet, für welches die Wasserstandsprognose auf Grund der Niederschlagsbeobachtungen seit 1883 ausgeübt wird, ist jenes der Lianne, die bei Boulogne in den Canal la Manche mündet. Der Fluß ist 40 km lang. Die Ortschaft Bournonville, für welche die Prognose gegeben wird, liegt 8 km unterhalb der Quelle der Lianne.

Zwischen dem Zeitpunkte, in dem der Niederschlag im oberen Gebiete aufhört und zwischen dem Scheitelstande am Pegel zu Bournonville verstreicht ungefähr eine Stunde. Wird also der Niederschlag im Quellgebiete telephonisch nach Bournonville ge-

meldet, so läßt sich der Hochwasserstand daselbst eine Stunde vor seinem Eintritte voraussagen. Mehrjährige Beobachtungen haben nämlich ergeben, daß die Lianne bei einem normalen Regenfall von 1—1,1 mm in der Stunde erst dann rascher ansteigt, wenn sie vorher auf 40 cm ober Null gestiegen ist. Dieser Wasserstand gibt gleichsam den Maßstab für die vollständige Sättigung des Bodens. So oft nun bei dem Wasserstande + 40 ein sogenannter Normalregen eintrat, wurde untersucht, welche relative Anschwellung in der Lianne bei Bournonville, d. i. welche Differenz zwischen dem Scheitelstande und dem Wasserstande + 40 cm dem Niederschlage je nach seiner Dauer entsprach.

So ergab sich eine Relation zwischen dem Niederschlage und dem Wasserstande in Bournonville, die zu einer Prognose geeignet war¹.

Schneeschnelzhochwässer.

Den vorstehenden Ausführungen über die Bewegung der Flutwellen, über die Vorhersage der Wasserstände und über die Hochwasserwarnung liegt die Voraussetzung zugrunde, daß es sich um Hochwässer handelt, die dem Niedergehen von ergiebigen Regenmassen ihre Entstehung verdanken.

Es ist einleuchtend, daß wesentlich andere Erscheinungen auftreten können, wenn die Hochflut durch Tauwetter bzw. durch das Schmelzen der Schneedecke in den Niederungen bzw. der Schneedecke auf den Abhängen der die Täler

¹ Über weitere Details siehe den Artikel von Voisin in den Annales des ponts et chaussées 1888, 1. Teil; oder Iszkowski: „Die Wasserstandsprognose“; Zeitschr. des Ingenieur- und Architektenvereins. Wien 1894.

säumenden Hügel- oder Bergketten herbeigeführt wird; wenn z. B. im Frühjahr die das ganze Gebiet in verschiedener Mächtigkeit deckenden Schneemassen unter der Einwirkung höherer Temperaturen und warmer Regengüsse in wenigen Stunden zu Wasser werden und alle Gerinne fast gleichzeitig rapid und mächtig anschwellen. Die Erscheinung der Fortpflanzung der Flutwelle wird undeutlich, die Voraussage des Eintreffens und des Maßes der Scheitelstände undurchführbar, und vollends unmöglich wird es, aus dem Maße der Niederschläge und der Bodensättigung irgendwelche Schlüsse auf den Abfluß der Wassermassen zu ziehen.

Eine annähernd annehmbare Schätzung über das Abflußquantum einer solchen Tauflut kann allenfalls durch die Verwertung der Ergebnisse der Schneebestimmungen erzielt werden, da sich aus der Stärke der Schneedecke und dem Wasserwerte derselben eine summarische Berechnung der Tauwasser- masse anstellen läßt.

Wenn man bedenkt, wie verschieden sich der Gang der Temperaturen, wie verschieden sich die Intensität der die Schneeschmelze fördernden Niederschläge gestalten kann, so leuchtet ein, daß der Schätzung der Tauflutmenge nur eine geringe Verläßlichkeit zukommt, um so mehr, als auch günstige Witterungsmomente, wie das Eintreten von Nachfrösten, alle Voraussicht zuschanden machen können.

Eishochwässer und Eiserscheinungen im allgemeinen.

Die Gefahren der Taufluten können noch wesentlich gesteigert werden, wenn die Flüsse nicht eisfrei sind bzw. der Abfluß der Wassermassen durch Eisanschnoppungen gehindert ist.

Die Vereisung der Flüsse beginnt mit der Bildung von Ufereis und Grundeis. Unter der Einwirkung der Strömung bzw. je nach dem Gange der Lufttemperatur löst sich das Eis vom Grunde, von den Geländen los; es schwimmt an der Oberfläche, bewegt sich als Treibeis fort und nimmt mit der sinkenden Temperatur an Masse zu; das treibende Eis — das Eisrinnen — breitet sich über einen immer größeren Teil der Flußbreite¹ aus, kommt unter Umständen schließlich zum Stillstande und bildet eine starre Eisdecke, die an Mächtigkeit zunimmt und standhält, so lange der Winter das Zepter in Händen hat.

Zur Bildung einer starren Decke über die ganze Flußbreite (Standeis) kommt es übrigens bei weitem nicht in allen Gewässern bzw. nicht in allen Strecken der Flüsse. Die oberösterreichische Donau-Strecke z. B. friert fast nie zu, die Traun führt überhaupt niemals Eis. Die das ungarische Tiefland teilende Donau-Strecke vereist oft auf Hunderte von Kilometern, und es baut sich die Eisdecke, der Eisstoß, aufwärts bis über Wien auf. Die meisten Alpenflüsse, ferner die Weichsel, die Oder, die Elbe, die Weser, der Rhein usw. sind lebhaften Eisbildungen unterworfen.

Bei dem Eintritte von Tauwetter bzw. bei einem längeren Anhalten von positiven Temperaturen kommt allmählich reges Leben in die Eismassen. Das steigende Wasser hebt die Standeismassen; sie bersten unter ihrem Drucke, und nun bewegen sich die Bruchstücke — die Schollen — flußabwärts, drängen und treiben sich, stürzen über- und untereinander und gelangen unter günstigen Umständen

¹ Die Dichte des Eistreibens wird nach Zehnteln der Flußbreite geschätzt.

talwärts, bis ihnen eine etwa noch stehen gebliebene Eisbrücke, eine Talenge oder ein anderes Hindernis Halt gebietet. Es entstehen nun Eisschoppungen, Stoßbildungen, die das Flußprofil sperren und den Wasserabfluß drosseln. Die Folge ist der Wasserstau, der gefahrdrohend anwächst und — wenn nicht günstige Umstände dazwischen treten — zur Katastrophe wird für die Liegenschaften in den Niederungen, die nun der Überschwemmung ausgesetzt sind.

Dem Wesen der Entstehung eines Eishochwassers entsprechend kennzeichnet sich der Verlauf desselben durch ganz plötzliche Wasserstandssteigerungen; dann aber auch durch eine schnelle Senkung, wenn die Eisbarre — der Eisstoß — dem Wasserandrang nachgibt und plötzlich zum Abbruche gelangt.

Nicht immer gestaltet sich aber der Eisabgang katastrophal. Wenn die Temperaturzunahme nur allmählich vor sich geht bzw. durch Nachfröste unterbrochen wird und keine Störungen lokaler Art hinzutreten, so vollzieht sich der Abgang der Eismassen gleichfalls allmählich und ohne Schaden¹.

Secretention.

Erweitert sich das Bett eines fließenden Gewässers zu einem Seebecken, so werden die Abfluvorgänge wesentlich umgestaltet. Das Gefälle des Wasserspiegels im Seebecken wird nahezu gleich

¹ Über Hochwassererscheinungen und Eisverhältnisse siehe u. a.:

H. Keller: „Die Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen.“ Jena 1904;

Die Jahrbücher der hydrographischen Anstalten;

Dr. Swarowsky: „Die Eisverhältnisse der Donau in Bayern und Österreich von 1850—1890.“ Wien 1891.

Null, infolgedessen auch die Geschwindigkeit des Durchflusses, und die Wasserstandszunahme wird wesentlich verlangsamt. Vor allem aber macht sich der verzögernde Einfluß eines Sees auf die Fortpflanzung der Hochwasserwellen geltend. Man spricht daher von einem Rückhaltvermögen der Seen, von einer Seeretention.

Die Seen haben meist mehrere Zuflüsse, aber nur einen Abfluß.

Bezeichnet man mit q_z die Gesamtmenge des einem See in der Zeiteinheit zufließenden Wassers, mit q_a den Abfluß in der Zeiteinheit und mit F die dem Stande des Sees entsprechende mittlere Fläche des Seespiegels, ferner mit h die Seestandssteigerung in der Zeiteinheit, so setzt sich die Zuflußmenge bei steigendem See aus der Abflußmenge und dem im See aufgespeicherten Wasserquantum $F \cdot h$ zusammen

$$q_z = q_a + Fh.$$

Bei fallendem See ist der Zufluß um jenes Maß geringer, das der See an den Abfluß, infolge der Senkung des Seespiegels, abgibt. Ist das Maß der Senkung in der Zeiteinheit h_1 , so ergibt sich

$$q_z = q_a - Fh_1.$$

Ist der Zufluß etwa auf Null gesunken, so ist der Abfluß gleich dem Wasserquantum, das der sinkende See abgibt,

$$q_a = Fh_1.$$

In dem Momente des Überganges vom Steigen des Sees zum Fallen des Seeniveaus ist die Wasserstandsschwankung h gleich Null und daher der Abfluß gleich dem Zuflusse:

$$q_a = q_z.$$

Diese Grundgleichungen sind es, die bei der Lösung von Aufgaben über die Einwirkung von Seen

auf den Wasserabfluß in den Flüssen in Betracht kommen und die auch dann grundlegend sind, wenn es sich etwa um die Ausnützung der Retentionsfähigkeit der Seen zur Milderung der Hochwassergefahren oder um die Aufspeicherung von Kraftwasser für Wassertriebwerke handelt; denn es ist klar, daß man den Zufluß zum See und den Abfluß aus demselben durch künstliche Einbauten (Stauanlagen mit Zugschützen) zu regulieren vermag.

Eingehende Studien über die Seeretention finden sich in zahlreichen Werken der Fachliteratur; wir nennen nur: Max Honsell: „Der Bodensee und die Tieferlegung seiner Hochwasserstände.“ Stuttgart 1879; Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 7. Heft: „Das Traungebiet und die Verwertung des Retentionsvermögens der Salzkammergutseen zur Milderung der Hochwassergefahren.“ Wien 1904.

Die Schätzung der Höchstwassermenge.

Verschiedene Autoren haben sich bemüht, die wahrscheinliche Höchstwassermenge eines Flusses aus den Niederschlagsmengen oder aus der Größe des Niederschlagsgebietes mit Hilfe einer allgemeinen Formel annäherungsweise zu bestimmen.

Ziemlich gute Schätzungsmaße liefert die Formel von Kresnik:

$$W = a \frac{32}{0,5 + \sqrt{A}}$$

W ist die Hochwassermenge pro Quadratkilometer des Niederschlagsgebietes in Kubikmetern pro Sekunde, A ist die Fläche des Niederschlagsgebietes in Quadratkilometern, a ist in der Regel gleich 1 (Katastrophenhochwasser) und sinkt nur bei besonderen Verzögerungen des Abflusses auf 0,6 herab.

Die Schätzung der Mittel- und Niederwassermengen.

Die Schätzung der Mittelwassermengen der Flüsse kann auf Grund der Kenntnis der sogenannten mittleren Jahresniederschlagshöhe des Flußgebietes (siehe Abschnitt A) durchgeführt werden, wenn man den Abflußkoeffizienten des Gebietes kennt oder gewisse Erfahrungsziffern abzuschätzen vermag.

Ist N die mittlere Jahresniederschlagshöhe des Gebietes und C der Abflußkoeffizient, so resultiert die mittlere Abflußhöhe A aus der Beziehung

$$A = C \cdot N.$$

Durch die Multiplikation von A mit der Fläche des Niederschlagsgebietes erhält man die mittlere Jahresabflußmenge für das Gebiet, ferner durch die Division durch $365 \times 86\,400$ ($= 31\,536\,000$ Sek.) die mittlere sekundliche Abflußmenge.

Z. B.: Die mittlere Jahresniederschlagshöhe des Draugebietes bis Villach beträgt nach einem 25jährigen Durchschnitte $N = 1230$ mm. Der Abflußkoeffizient ist nach dem fünfjährigen Durchschnitte 1901—1905 $C = 0,7$, daher die Abflußhöhe A :

$$A = 0,7 \times 1230 = 861 \text{ mm.}$$

Das Niederschlagsgebiet der Drau bis Villach umfaßt eine Fläche von (rund) 5270 qkm, woraus die gesamte durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge mit $5\,270\,000\,000 \text{ qm} \times 0,861 \text{ m} = 4\,537\,470\,000 \text{ cbm}$ hervorgeht: Diese Abflußmenge dividiert durch die Anzahl der Sekunden eines Jahres: 31 536 000 ergibt die sekundliche Abflußmenge der Drau bei Villach im Durchschnitt mit 144 cbm.

Die Niederwassermenge läßt sich aus der Mittelwassermenge ableiten, wenn man die Beziehung zwischen diesen Mengen aus einer Anzahl von Erhebungen aus Wassermengenmessungen gewonnen hat oder aus Angaben über ähnliche Gebietslagen zu schätzen vermag.

Solche Verhältniszahlen sind für viele Flußgebiete bekannt.

Die Tabellen XV und XVI enthalten die einschlägigen Angaben für einige Flußgebiete Bayerns und Österreichs.

Tabelle XV.

Flußgebiet	Jahr	Verhältnis zwischen der Nieder- und der Mittelwassermenge NW: MW	Mittelwerte
Iller bis Wiblingen	1900	1:2,9	1:2,7
	1901	1:2,8	
	1902	1:3,0	
	1903	1:2,4	
	1904	1:2,5	
Lech bis Rain (Mündung)	1900	1:2,6	1:2,6
	1901	1:2,9	
	1902	1:2,4	
	1904	1:2,5	
Regen bis Lappersdorf	1901	1:2,5	1:2,8
	1902	1:2,4	
	1903	1:2,9	
	1904	1:3,6	
Donau bis Schwabelweis (mit d. Regen)	1900	1:2,1	1:2,0
	1901	1:1,9	
	1902	1:2,1	
	1903	1:1,8	
	1904	1:2,2	

Tabelle XV (Fortsetzung).

Flußgebiet	Jahr	Verhältnis zwischen der Nieder- und der Mittelwassermenge NW: MW	Mittelwerte
Donau bis Vilshofen (ohne Vils) . . .	1900	1 : 2,1	} 1 : 2,0
	1901	1 : 1,9	
	1902	1 : 2,1	
	1903	1 : 1,6	
	1904	1 : 2,2	
Donau bis Obernzell	1900	1 : 2,3	} 1 : 2,2
	1901	1 : 1,9	
	1902	1 : 2,7	
	1903	1 : 2,0	
	1904	1 : 2,1	
Inn bis Passau . .	1900	1 : 3,0	} 1 : 2,9
	1901	1 : 3,0	
	1902	1 : 2,9	
	1903	1 : 2,8	
	1904	1 : 2,9	
Main bis Kemmern (ohne Regnitz) .	1901	1 : 4,7	} 1 : 4,0
	1902	1 : 4,7	
	1903	1 : 2,4	
	1904	1 : 4,0	
Pegnitz bis Nürn- berg	1901	1 : 2,0	} 1 : 1,7
	1902	1 : 2,0	
	1903	1 : 1,4	
	1904	1 : 1,4	

Anmerkung: Die Daten sind aus den im Jahrbuche des Hydrotechnischen Bureaus in München enthaltenen Angaben über die „Wasserspenden“ abgeleitet.

Tabelle XVI.

Flußgebiet	Jahr	Verhältnis zwischen der Nieder- und der Mittelwassermenge <i>NW: MW</i>	Mittelwerte
Donau bis Stein .	1898	1 : 2,3	} 1 : 2,6
	1900	1 : 2,5	
	1901	1 : 3,1	
	1902	1 : 3,0	
	1903	1 : 2,0	
Donau bis Wien .	1897	1 : 4,8	} 1 : 2,7
	1898	1 : 1,9	
	1899	1 : 2,8	
	1900	1 : 2,4	
	1901	1 : 2,8	
	1902	1 : 3,2	
	1903	1 : 2,0	
1904	1 : 2,0		
Inn bis Innsbruck .	1900	1 : 4,5	} 1 : 4,6
	1901	1 : 4,6	
	1902	1 : 4,5	
	1903	1 : 5,2	
	1904	1 : 4,1	
Inn bis Kufstein .	1900	1 : 3,3	} 1 : 3,6
	1901	1 : 4,5	
	1902	1 : 3,7	
	1903	1 : 3,5	
	1904	1 : 2,8	
Drau bis Villach .	1901	1 : 5,4	} 1 : 3,5
	1902	1 : 3,0	
	1903	1 : 3,6	
	1904	1 : 2,6	
	1905	1 : 3,2	

Tabelle XVI (Fortsetzung).

Flußgebiet	Jahr	Verhältnis zwischen der Nieder- und der Mittelwassermenge NW: MW	Mittelwerte
Etsch bis Trient.	1901	1: 7,0	1: 4,7
	1902	1: 3,0	
	1903	1: 5,7	
	1904	1: 2,8	
	1905	1: 5,0	
Elbe bis Tetschen.	1897	1: 4,0	1: 4,1
	1898	1: 3,8	
	1899	1: 2,5	
	1900	1: 5,5	
	1901	1: 3,5	
	1902	1: 5,9	
	1903	1: 3,8	
Moldau bis Prag.	1898	1: 4,0	1: 5,5
	1899	1: 4,6	
	1900	1: 6,7	
	1901	1: 7,7	
	1902	1: 5,7	
	1903	1: 4,4	

• Anmerkung: Die Daten sind den Jahrbüchern des Hydrographischen Zentralbureaus entnommen.

Für die Donau in Bayern ergibt sich z. B. die Mittelwassermenge doppelt so groß wie die Niederwassermenge, für den Main 4 mal, für den Inn bei Innsbruck 4,6 mal, bei Kufstein 3,6 mal, für die Donau bei Wien 2,7 mal, für die Elbe bei Tetschen 4,1 mal, für die Moldau bei Prag 5,5 mal, für die Drau bei Villach 3,5 mal.

Die Niederwassermenge N der Drau bei Villach z. B. resultiert demnach aus der vorhin berechneten Mittelwassermenge ($M = 144$ cbm) aus der Gleichung

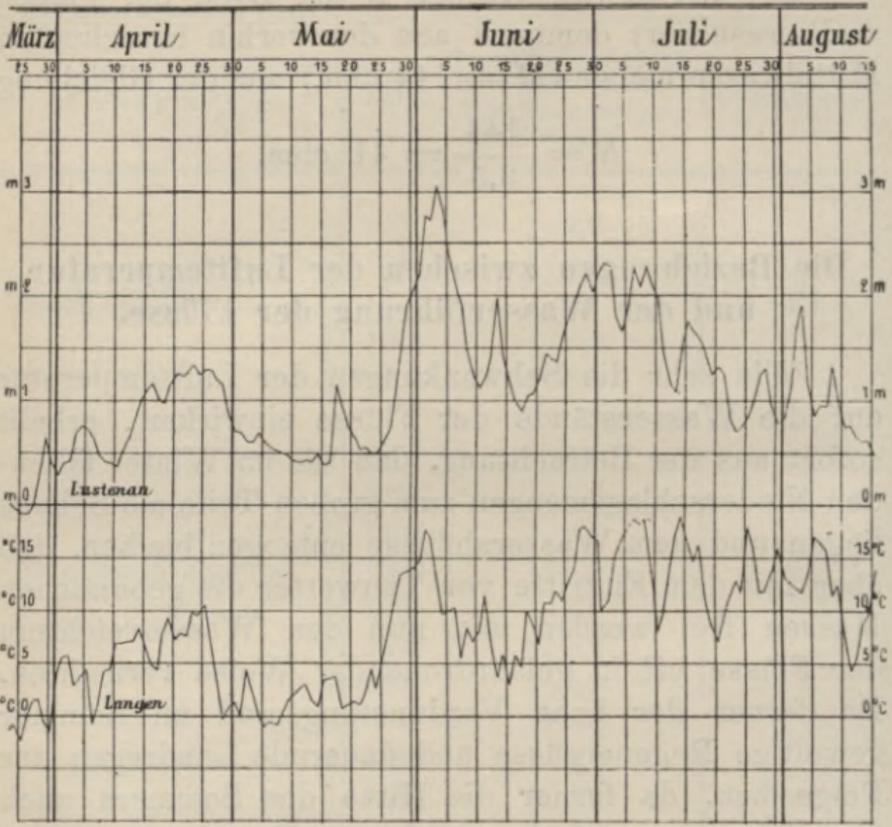
$$N = \frac{144}{3,5} = 41 \text{ cbm.}$$

Die Beziehungen zwischen der Lufttemperatur und der Wasserführung der Flüsse.

Wie sehr die Schwankungen der Lufttemperatur auf die Wasserstände der Flüsse einwirken, erhellt sofort aus der Betrachtung, daß die im Winter fallenden Niederschlagsmengen zum großen Teile als Schnee liegen und dem Wasserabflusse entzogen bleiben, daß aber mit dem Eintritte von Tauwetter die gebundenen Massen frei werden und nun den Wasserreichtum der Flüsse oft in gefahrdrohender Weise vermehren. Da ferner der hohe Verdunstungsgrad im Sommer gewaltige Regenergüsse und dauernde Landregen zur Folge hat, da ferner die Hitze des Sommers auch die Schneemassen der höchsten Bergriesen abtaut und den Gletscherabfluß erhöht, so ist es klar, daß sich in den Abflußerscheinungen das Spiel der Temperatur widerspiegelt.

Man kann dies anschaulich durch die Aufzeichnung der Wasserstands- und Temperaturschwankungen darstellen, wie es in der Abb. 17 (Seite 134) für den Rhein bei Lustenau bzw. für die Luftwärme in Langen durchgeführt ist. Die Linien laufen fast parallel, und einem Höhepunkte in der Temperaturlinie folgt kurz danach immer ein Höchststand des Wasserspiegels.

Daß in Gewässern, die aus den Firnen gespeist werden, im Sommer auch die Strahlen der Mittagssonne zur Wirkung kommen, zeigt die Abb. 18 (Seite 134), in welcher die aus den Aufschreibungen



8*

Abb. 17.

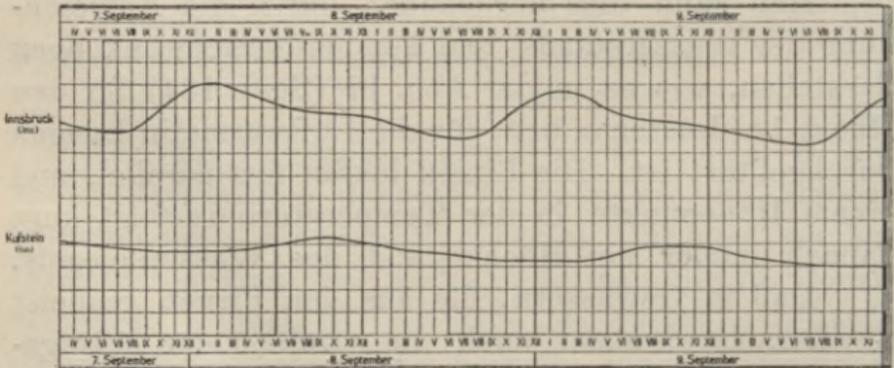


Abb. 18.

der selbsttätigen Pegel zu Innsbruck und Kufstein am Inn gewonnenen Tagesschwankungen der Wasserstände versinnlicht sind.

Das Diagramm besagt, daß der Wasserstand des Inn bei Innsbruck zwischen 6 und 7 Uhr abends die tiefste Lage hat und hierauf ein rasches Ansteigen wahrzunehmen ist, das sich zwischen 1 und 2 Uhr nachts zu einer Kulmination entwickelt. Der Rückgang erfolgt anfangs rasch, verlangsamt sich vorübergehend, um dann wieder etwas beschleunigt gegen 6 oder 7 Uhr am Abend des folgenden Tages auf die Niederstlage zu sinken. Diese durchschnittlich 20 cm betragenden Schwankungen wiederholen sich in den Sommermonaten täglich und sind, da sie ganz unabhängig von den jeweiligen Niederschlägen auftreten, zweifellos als Folge der täglichen Gletscherablation (Ötztalergruppe) aufzufassen.

Der Zeitraum zwischen dem Beginn des Ansteigens und dem höchsten Stande des Wasserspiegels ergibt sich regelmäßig mit $6\frac{1}{2}$ —7 Stunden, jener für die fallende Phase bis zur Erreichung der tiefsten Lage mit 17 — $17\frac{1}{2}$ Stunden, daher sich die Geschwindigkeit des Steigens und Fallens des Wasserstandes mit ca. 3 bzw. 1,2 cm per Stunde berechnen läßt. Der mittlere Tageswasserstand am Pegel zu Innsbruck fällt auf Grund vorgenommener Berechnungen in die Zeit zwischen 8 und 9 Uhr vormittags.

Bei Kufstein gestalten sich die Tagesschwankungen des Wasserstandes naturgemäß bedeutend flacher (siehe Figur 18). Die Kulmination tritt gegen 10 Uhr vormittags, der tiefste Wasserstand zwischen 9 und 10 Uhr abends ein. Das Maß der Tagesamplitude ist halb so groß wie bei Innsbruck, beiläufig 10 cm. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der täglichen Flut-

welle beträgt zwischen Innsbruck und Kufstein (77 km) im Durchschnitte 8 km pro Stunde.

Der mittlere Tageswasserstand ergibt sich für die Station Kufstein bei steigendem Wasser um 7 Uhr früh, bei fallendem um 4 Uhr nachmittags.

Hydrographische Notizen für die Entwässerung der Städte (Kanalisation).

Für die in einem Stadtentwässerungsnetze den Kanalquerschnitten zu gebenden Abmessungen ist die Intensität der Sturzregen maßgebend.

Die Tabelle VII im Abschnitte A gibt einige Anhaltspunkte über die Ergiebigkeit von Sturzregen.

Die größten gemessenen Regenhöhen (5 mm pro Sekunde) kommen bei der Berechnung der in den Kanälen abzuführenden Wassermengen wohl nicht in Betracht — man würde zu große Kanalquerschnitte bekommen, die nur selten auf ihre volle Leistungsfähigkeit beansprucht würden.

Das Mittelmaß der Intensität, unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Sturzregen und ihrer Dauer, gibt hier den richtigen Maßstab.

Die Berechnung der abzuführenden Wassermenge beruht auf der einfachen Relation, wonach eine Regenhöhe von 1 mm eine Abflußmenge von 167 Sekundenlitern per Hektar ergibt.

Nach Hellmann ist in der norddeutschen Tiefebene überall auf einen größten Niederschlag von 200 Sekundenlitern pro Hektar zu rechnen.

Die Praxis rechnet, wie gesagt, mit kleineren Mengen:

Berlin	sek/l pro ha
für dicht verbaute Stadtteile . mit	21,2
für weite Verbauung „	10,6
für neue Stadtteile „	52,0

	sek/l pro ha
Breslau, neue Stadtteile . . .	mit 20—25
Dresden	„ 30—50
Düsseldorf	„ 38
Frankfurt am Main	„ 12—30
Hamburg	„ 39
Hannover, Altstadt	„ 40
„ Neustadt	„ 25
Karlsruhe	„ 18
Köln, Altstadt	„ 42—55
„ Neustadt	„ 25—33
Leipzig	„ 16,7
Linz	„ 55
München	„ 9—22
Paris (Sammelkanäle)	„ 42
Stuttgart	„ 13—18
Wien	„ 19—27.

Im allgemeinen liefert die Formel von Kresnik (Seite 127) verwendbare Werte, wenn $a = 0,25$ gesetzt wird. Die Gebietsfläche A darf nicht kleiner als $0,02$ qkm angenommen werden. Da die Formel die Wassermengen in Kubikmetern pro Sekunde und pro Quadratkilometer gibt, muß das Resultat für W mit 10 multipliziert werden, wenn man Sekundenliter pro Hektar erhalten will.

Die Kanäle werden entweder mit kreisförmigem Querschnitte (aber nur bis $0,6$ m Lichtweite) oder mit einem eiförmigen Querschnitte (das Ei auf die Spitze gestellt gedacht) hergestellt. Ist h die Höhe des Eiprofiles, so ist die Fläche des Durchflußprofils

$$F = 0,51 h^2,$$

der Umfang

$$U = 2,64 h$$

und der sogenannte Profilradius

$$\frac{F}{U} = R = 0,193 h.$$

Man wählt $h = \frac{3}{2}$ der größten Breite des Eiprofiles.

Der Berechnung des Abflußquerschnittes F legt man am besten die vereinfachte Kuttersche Formel

$$v = \frac{100 \sqrt{R}}{\beta + \sqrt{R}} \sqrt{RJ}$$

zugrunde.

Da $R = 0,193 h$, läßt sich die Formel umgestalten in

$$v = \frac{44 h \sqrt{J}}{2,27 \beta + \sqrt{h}}.$$

Die Abflußmenge ist

$$Q = Fv = \frac{44 h \sqrt{J}}{2,27 \beta + \sqrt{h}} \cdot F,$$

oder, da $F = 0,51 h^2$,

$$Q = \frac{44 h \sqrt{J} \times 0,51 h^2}{2,27 \beta + \sqrt{h}}$$

oder

$$Q = \frac{22,44 h^3 \sqrt{J}}{2,27 \beta + \sqrt{h}}.$$

Aus dieser Formel ergibt sich die Höhe des Eiprofiles mit

$$h = 0,354 \sqrt[3]{Q \frac{2,27 \beta + \sqrt{h}}{\sqrt{J}}}.$$

Da in diesem Ausdruck die Höhe h wieder als eine Funktion von h , und zwar von \sqrt{h} gegeben ist, muß h zunächst mit verschiedenen Maßen angenommen werden, um das richtige Maß für h zu finden.

Die Abflußmenge Q ist bekannt als die zu bewältigende Regenmenge in Kubikmetern; J ergibt

sich aus den Dispositionen der Kanalisation. Die Geschwindigkeit soll dabei mit 1,2—1,5 m resultieren.

Der Rauigkeitskoeffizient β ist:

für glatte Betonkanäle = 0,25,

für ältere gemauerte Kanäle und Tonrohr-
leitungen = 0,40,

für mittelgute Verhältnisse. = 0,30.

Für kreisförmige Kanalquerschnitte von dem lichten Durchmesser d ergibt sich aus der Kutterschen Formel, ähnlich wie früher,

$$d = 0,294 \sqrt[3]{Q \frac{2\beta + \sqrt{d}}{\sqrt{J}}}$$

Näheres über Stadtentwässerung siehe den vierten Band des Abschnittes „Wasserbau“ des „Handbuches der Ingenieurwissenschaften“ (4. Auflage).

Der Wasserbedarf für Wasserversorgungsanlagen.

In dem dritten Bande des Abschnittes „Wasserbau“ des „Handbuches der Ingenieurwissenschaften“ findet sich eine Tabelle über den Privatwasserverbrauch in einzelnen Städten für das Jahr 1899, der wir die folgenden Daten entnehmen:

Städte	Durchschnittl. Verbrauch pro Kopf u. Tag in Litern	Städte	Durchschnittl. Verbrauch pro Kopf u. Tag in Litern
Bamberg	59	Hamburg	189
Barmen	172	Karlsruhe	125
Basel	194	Königsberg	66
Berlin	78	Lübeck	259
Bochum	169	Magdeburg	97
Breslau	81	Nürnberg	77
Darmstadt	77	Straßburg	80
Dortmund	228	Stuttgart	67
Dresden	94	Zürich	174

Im einzelnen ist nach Dr. Forchheimers „Grundzügen der städtischen Wasserversorgung“ mit folgenden Zahlen zu rechnen:

a) Hausgebrauch bei Bezahlung des Wassers auf Grund von Messungen.

	Liter
1. Gebrauchswasser in Wohnhäusern zum Trinken, Reinigen, Kochen und zur Wäsche für den Kopf der Bewohner im Tage	30—45
2. Abortspülung, einmalige	5—6
Pissoirspülung aussetzend pro Stand in der Stunde	30
Pissoirspülung, fortwährend für den laufenden Meter Spülrohr in der Stunde . . .	200
3. Bäder: ein Wannenbad	350
Brause	20—30
4. Garten- oder Hofbegießung an einem trockenen Tage für den Quadratmeter . .	1,5
5. Ein Pferd tränken und reinigen ohne Stallreinigung im Tage	50
6. Desgleichen ein Stück Großvieh	50
7. Desgleichen ein Stück Kleinvieh	10
8. Einen Wagen reinigen	200

Wird das abgegebene Wasser nicht durch Wassermesser kontrolliert, so steigt der Verbrauch auf das Doppelte und höher.

b) Öffentliche Anstalten:

	Liter
1. Schulen, für den Schüler und Schultag . .	2
2. Kasernen: für den Mann und Verpflegstag	20
für ein Pferd	40
3. Kranken- und Versorgungshäuser, für den Kopf und Verpflegstag	100—150

	Liter
4. Gasthöfe, für den Kopf und Verpflegstag (ohne Aufzüge oder Wassermotoren)	100
5. Badeanstalten, für das abgegebene Bad	500
6. Waschanstalten, für 100 kg Wäsche	400
7. Schlachthäuser, Gesamtverbrauch im Jahre für das Stück geschlachteten Viehes	300—400
8. Markthallen, für den Quadratmeter und den Markttag	5
9. Eichamt, Gesamtverbrauch für 1 cbm ge- eichten Hohlgefäßes	1100
10. Bahnhöfe, Speisewasser für eine Loko- motive pro Tag	6000—8000

c) Gemeindefwecke:

	Liter
1. Straßenbespritzung für den Quadratmeter, einmalige Bespritzung	1—1,5
2. Öffentliche Gartenanlagen, für den Quadrat- meter, einmalige Bespritzung	1,5
3. Öffentliche Ventilbrunnen im Tage	3000
4. Öffentliche Pissoirs bei intermittierender Spülung für den Stand in der Stunde bei fortwährender Spülung für den laufen- den Meter Spülrohr in der Stunde	60 200

d) Gewerbe und Industrie:

	Liter
1. Brauereien, Gesamtverbrauch im Jahre für den Hektoliter gebrauten Bieres ohne Eisbereitung	500
2. Zur Verwandlung von 1 kg Wolle in Tuch (Dampfmaschinen, Wollwäsche, Walkerei, Raucherei, Spülen der farbigen Ware) nach Beissel	1000
3. Dampfmaschinen, für die Pferdekraft in der Stunde	30

Die Ausnutzung der Wasserkraft.

Das fließende Wasser ist als eine in Bewegung befindliche Masse imstande, eine Arbeit zu leisten und auf bewegliche feste Massen (Wasserräder, Turbinen) eine Stoßkraft auszuüben, die zu gewerblichen Betrieben ausnutzbar ist und seit undenklichen Zeiten ausgenutzt wird.

Die Triebkraft ist ein Produkt aus dem Gewichte der Wassermenge und der Fallhöhe:

$$P = G \cdot h.$$

Ist G in Kilogrammen und h in Metern gegeben, so resultiert P in Meterkilogrammen.

In der Praxis wird die Triebkraft des Wassers aber nicht nach Meterkilogrammen, sondern nach Pferdekraften gemessen.

Eine Pferdekraft, auch Pferdestärke (PS)¹ genannt, ist jene Arbeitseinheit, die andauernd imstande ist, ein Gewicht von 75 kg pro Sekunde einen Meter hoch (bzw. 1 kg 75 m hoch) zu heben:

$$PS = 75 \text{ m/kg.}$$

Man findet daher die Anzahl N der Pferdekraften, die durch eine sekundliche Wassermasse von dem Gewicht G geleistet wird, wenn sie h Meter herabstürzt, aus der Formel:

$$N = \frac{G \cdot h}{75};$$

setzt man anstatt des Gewichtes G der Wassermasse die sekundliche Wassermenge Q in Kubikmetern multipliziert mit dem Gewicht eines Kubikmeters Wasser (d. i. 1000 kg)

$$G = 1000 Q$$

¹ Nach dem englischen Worte für Pferdestärke (Horse-power) auch mit HP bezeichnet.

in die Gleichung für N ein, so erhält diese die Form:

$$N = \frac{1000 Q \cdot h}{75};$$

für Zwecke der Praxis ist diese Gleichung noch mit einem Koeffizienten zu versehen:

$$N = \eta \frac{1000 Q h}{75},$$

da der Wirkungsgrad des Motors (des Wasserrades, der Turbine) in Rechnung zu ziehen ist. Wegen der Reibungen in den Achsen des Motors, wegen des Luftdruckes und der Wasserverluste kann eben die theoretische Triebkraft des Wassers nicht voll ausgenutzt werden.

Der Nutzeffekt der Motoren ist verschieden und beträgt bei modernen Turbinen 70—80% (0,7—0,8 der theoretischen Triebkraft); im Mittel ist

$$\eta = 0,75.$$

Dieser Mittelwert in die Gleichung für N eingesetzt, ergibt die effektive Triebkraft

$$N = 0,75 \frac{1000 Q h}{75} = \frac{750 Q h}{75}$$

$$N = 10 Q \cdot h.$$

Eine Wassermenge von 0,1 cbm, d. i. von 1 hl in der Sekunde oder 100 Sekundenliter, leistet daher eine effektive Arbeit von

$$N = 10 \times 0,1 \times h$$

$$N = h \text{ Pferdestärken.}$$

Der Wasserverbrauch für eine Pferdekraft ist in diesem Falle $\frac{0,1 \text{ cbm}}{h}$ pro Sekunde oder von $\frac{0,1 \times 60 \times 60}{h} = \frac{360}{h}$ cbm pro Stunde.

C. Die Wassermessungen.

Die Wassergeschwindigkeit; das Gefälle.

Die Talwärtsbewegung des Wassers der Flußläufe vollzieht sich nach den aus der Physik bekannten Gesetzen der Schwere. Das Flußbett, in welchem das Wasser aus den Höhen der Quellregionen dem Meere zuströmt, ist ein System von „geneigten Ebenen“. Auf diesen strebt die flüssige Masse mit der dem Gefälle des Talweges zukommenden, durch die Wirkung von Widerständen verminderten Geschwindigkeit ihrem Ziele zu.

Die „Geschwindigkeit“ ist ein Längenmaß; sie bedeutet den in der Zeiteinheit zurückgelegten Weg in Metern. Die Zeiteinheit ist die Sekunde. Die hier in Betracht kommenden Widerstände sind der Widerstand der Luft, der Widerstand des Flußbettes (Reibungswiderstand) und der Widerstand der sonstigen natürlichen und künstlichen Hindernisse, die sich dem Wasser in seinem Laufe entgegenstellen (Felsblöcke, Baumstrünke; Brückenpfeiler und Einbauten aller Art).

Die treibende Kraft ist eine Funktion des relativen Gefälles.

Das relative Gefälle ist eine Verhältniszahl; es ist der numerische Ausdruck des Verhältnisses der Höhe der schiefen Ebene des Wasser-

spiegels zur Länge der in Betracht gezogenen Flußstrecke. Liegt der Wasserspiegel bei a um h Meter höher als bei dem um l Meter stromabwärts gelegenen Punkte b , so ist $h:l$ oder $\frac{h}{l}$ die Verhältniszahl für das relative Gefälle, während h das absolute Gefälle für die Strecke l bedeutet.

In der Praxis wählt man für l gewöhnlich die Länge 1000 m; dann bedeutet h das absolute Gefälle per 1000 m oder, wie man sich anders ausdrückt, per Mille.

Beträgt das absolute Gefälle h per 1000 m Länge 1 m, so drückt sich das relative Gefälle mathematisch durch die Verhältniszahl $\frac{1}{1000}$ oder 0,001 aus.

Die Geschwindigkeit des Wassers ist, wie bereits gesagt, eine Funktion des Gefälles. Sie nimmt mit dem zunehmenden Gefälle zu, mit dem abnehmenden Gefälle ab. Dies allein besagt schon, daß die Geschwindigkeit keine konstante Größe ist. Sie variiert aber nicht nur in der Längensrichtung (Langprofil) des Wasserlaufes (wegen der Gefällsverschiedenheiten), sondern auch in der Querichtung, im Querprofil; und zwar ist sie in der Nähe der Ufer und der Sohle (wegen der Reibungswiderstände) kleiner als in der Mitte des Profiles und als in der Nähe der Oberfläche des Wassers. Ganz an der Oberfläche wird die Geschwindigkeit durch den Luftwiderstand etwas verzögert. Die größte Geschwindigkeit liegt zumeist über dem tiefsten Sohlenpunkte nahe an der Oberfläche (im Stromstrich).

Die Geschwindigkeit variiert außerdem mit dem Wasserstande. Je höher der Wasserstand, desto größer die Wassergeschwindigkeit. Bei gleichen Wasser-

ständen ist sie überdies größer, wenn das Wasser im Steigen, als wenn es im Fallen begriffen ist. Schließlich schwankt die Geschwindigkeit in jedem einzelnen Punkte des Querprofiles infolge der Unregelmäßigkeiten der Wasserbewegung überhaupt (Wirbel, Stau, Wellenschlag, schraubenförmige Bewegung des ganzen Wasserkörpers) um kleine Maße (Pulsationen der Wasserbewegung).

Wir haben es daher in jedem einzelnen Falle mit einem ganzen System von Geschwindigkeitsmaßen zu tun, die wir im wesentlichen, wie folgt sondern können:

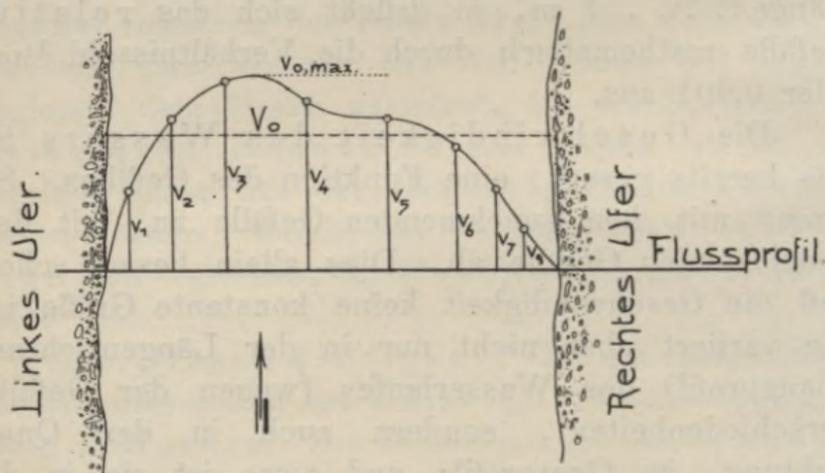


Abb. 19.

a) Die Oberflächengeschwindigkeiten, d. h. die Geschwindigkeiten der Wasserteilchen an der Oberfläche des Wassers. Sie sind an den Ufern am kleinsten und über dem tiefsten Sohlenpunkt in der Regel am größten (im Stromstrich). Die Abnahme der Geschwindigkeit vom Stromstriche gegen die Ufer ist ziemlich allmählich.

Trägt man, wie in vorstehender Abb. 19, die Oberflächengeschwindigkeiten in einzelnen Punkten

des Flußprofils $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \dots$ auf und verbindet die Endpunkte, so erhält man die Kurve der Oberflächengeschwindigkeiten.

Zieht man parallel zum Flußprofil eine Tangente an die Kurve, so gibt der Berührungspunkt der Tangente mit der Kurve den Endpunkt der größten Oberflächengeschwindigkeit $v_{0, \max}$ an.

Bestimmt man die Fläche F_0 zwischen der Kurve und dem Profil und dividiert dieselbe durch die Profilbreite B , so erhält man die mittlere Oberflächengeschwindigkeit V_0 .

b) Die Geschwindigkeiten in einer Lotrechten.

Denkt man sich in irgendeinem Punkte des Flußprofils eine Lotrechte gezogen und trägt man die den einzelnen, in verschiedenen Tiefen gelegenen Punkten der Lotrechten zukommenden Geschwindigkeiten $v_1, v_2, v_3 \dots$ auf (Abb. 20, Seite 148), so erhält man durch die Verbindung ihrer Endpunkte die Kurve der Geschwindigkeiten in der Lotrechten.

Die lotrechte Tangente an die Kurve bestimmt den Endpunkt der größten Geschwindigkeit in der Lotrechten v_{\max} . Mißt man die Fläche f zwischen der Kurve und der Lotrechten und dividiert sie durch die Tiefe t in der Lotrechten, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit in der Lotrechten v_m .

Die oberste Begrenzung der Fläche f ist die Oberflächengeschwindigkeit in der Lotrechten v_0 , die unterste Begrenzung die Sohlgengeschwindigkeit in der Lotrechten v_s .

c) Die Profilgeschwindigkeit.

Teilt man (Abb. 21) die Flußprofilfläche durch mehrere Lotrechte in Abschnitte, so werden die unter Punkt b aufgezählten Geschwindigkeiten für

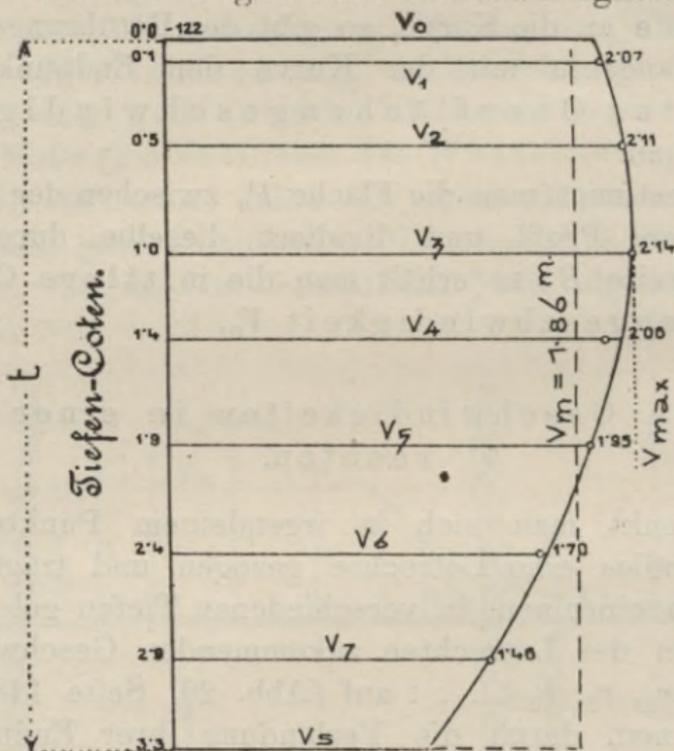


Abb. 20.

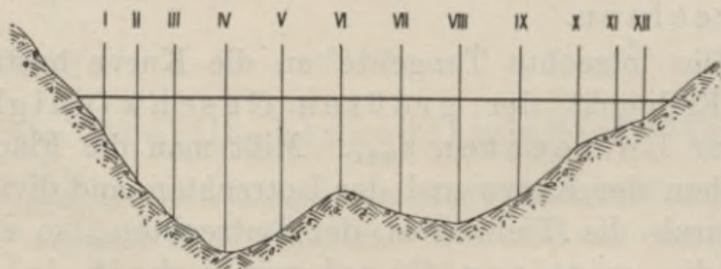


Abb. 21.

jede Lotrechte verschiedene Größen annehmen. Die Endpunkte all dieser Geschwindigkeiten liegen in einer krummen Fläche — Geschwindigkeitsfläche des Profiles. Die lotrechte Tangential-

ebene an diese krumme Fläche fixiert nun den Endpunkt der größten Profilgeschwindigkeit V_{\max} , und der Kubikinhalte Q des Wasserkörpers zwischen der krummen Fläche und dem Flußprofile, dividiert durch die Profilfläche F , gibt uns das Maß der mittleren Profilgeschwindigkeit V_m .

Auf welchen Wegen man nun zu dem Maße der mittleren Profilgeschwindigkeit V_m gelangt, aus der wir ja umgekehrt wieder durch die Multiplikation mit der Profilfläche F die das Flußprofil in der Sekunde durcheilende Wassermenge Q in Kubikmetern ableiten sollen, das wird in einem der folgenden Kapitel erörtert werden.

Die Instrumente und Geräte zur Messung der Wassergeschwindigkeit.

Zunächst sind nun die zur Messung der Wassergeschwindigkeit in den offenen Flußläufen dienenden Geräte zur Sprache zu bringen.

Es kommen hier nur diejenigen Geräte in Betracht, die sich in der Praxis am besten bewährt und eingebürgert haben:

1. die Oberflächenschwimmer;

2. die hydrometrischen Flügel.

Die hydrometrischen Flügel sondern sich wieder in zwei Hauptkategorien:

- a) die Flügel an fester Stange,
- b) die Schwimmflügel.

1. Die Oberflächenschwimmer, die nur zur Messung der Oberflächengeschwindigkeit herangezogen werden können und sollen, bestehen aus kurzen (10 cm hohen) Stammabschnitten, die in der Mitte ein Fähnchen tragen. Es stehen auch Holz-

scheiben von 5—7 cm Stärke und 25—30 cm Durchmesser, Hohlkugeln aus Blech und im Notfalle leere oder halbgefüllte Glasflaschen in Verwendung.

Längere, unten beschwerte Stäbe, Doppelkugeln (zwei mit Draht verbundene Kugeln, von denen die eine an der Oberfläche, die andere, beschwerte, tiefer schwimmt), können nicht zur Messung der Oberflächengeschwindigkeit empfohlen werden. Sie geben mehr ein mittleres Geschwindigkeitsmaß als jenes für die Oberfläche an.

Die Schwimmermessungen sind wie folgt ins Werk zu setzen:

Man wählt als Meßstelle eine gerade, regelmäßig gestaltete Flußstrecke, ungefähr von der Länge von 2—3 mal die Flußbreite. Die Meßstrecke soll von Stauwirkungen unbeeinflusst, frei von Einbauten, Sandbänken und Pflanzenwuchs sein und ein gleichmäßiges Gefälle aufweisen. In der Mitte der Strecke wird das Meßprofil ausgesteckt und geodätisch bzw. durch Lotung oder Peilung aufgenommen.

Ober- und unterhalb des Meßprofiles wird in dem Abstände von einer Flußbreite je ein zweites bzw. drittes Querprofil ausgesteckt und aufgenommen.

Ist das Meßprofil etwa durch die Lage eines Pegels gegeben, so ist dieser der Ausgangspunkt für das Distanzmaß des oberen bzw. des unteren Querprofiles.

Nach anderen Angaben soll der Abstand des obersten von dem untersten Querprofil so gewählt werden, daß die Schwimmer ungefähr zwei Minuten brauchen, um die Strecke zurückzulegen.

Etwa 15 m oberhalb des obersten Profiles ist ein Draht über den Fluß zu spannen, an dem sich der Kahn, von welchem die Schwimmer aufs Wasser gesetzt werden, auf bestimmte Abstände vom Ufer-

rande einstellt; denn die Schwimmermessungen sind auf die ganze Flußbreite auszudehnen. Die Profilpunkte, von welchen aus die Schwimmer lanciert werden, sollen in der Nähe des Stromstriches in kleineren Abständen gewählt werden als gegen die Ufer zu.

Es empfiehlt sich, von jedem Aufstellungspunkte des Kahnes aus in gewissen Zeitabschnitten mehrere Schwimmer nacheinander abzulassen und ihren Gang zu beobachten, um Mittelwerte der Geschwindigkeit zu erhalten. Dann erst wird der Kahn zum nächsten Querprofilpunkte gezogen und der Vorgang wiederholt usf.

Der Durchgang der Schwimmer durch die drei abgesteckten Flußprofile ist nach zwei Gesichtspunkten festzulegen:

a) Der Zeit nach:

Bei jedem der drei abgesteckten Profile muß ein Beobachter postiert sein, der den Durchgang eines jeden einzelnen Schwimmers durch das Profil — etwa mit einer Handbewegung bekannt gibt. Diese Signale werden von einem vierten (oder von einem der drei) Beobachter an einer Stopuhr (Chronoskop) der Zeit nach festgelegt.

Bei geringen Geschwindigkeiten kann ein einziger Beobachter, der den Schwimmern von Profil zu Profil vorausgeht, die Zeitbestimmungen allein vornehmen.

Wo dies nicht möglich ist und auf eine präzise Aufnahme der Durchgangszeiten ein besonderer Wert gelegt wird, empfiehlt sich die Anwendung eines elektrischen Chronoskops, das jeder der drei Beobachter durch einen in eine

elektrische Leitung eingeschalteten Taster im Momente des Schwimmerdurchganges stoppen kann.

Die Durchgangszeiten sämtlicher Schwimmer durch die drei Profile müssen in ein Journal eingetragen werden.

b) Der Lage nach:

Um die Schwimmerdurchgangspunkte der Lage nach zu bestimmen, müssen die Schwimmer im Momente des Durchganges mit einem Winkelinstrument (Theodolith) anvisiert werden.

Das Instrument muß so postiert sein, daß die Visuren nach den Schwimmern die Richtung der Durchgangsprofile in nicht zu spitzen Winkeln schneiden. Der Aufstellungspunkt des Winkelinstrumentes muß selbstverständlich gegen die Lage der drei Flußprofile genau orientiert, d. i. geodätisch festgelegt sein. Statt eines Winkelinstrumentes kann man sich auch des Meßtisches und der Kippregel bedienen¹.

Schließlich erweisen sich auch photographische Apparate hiezu zweckmäßig.

Sind nun alle Daten der Zeit und Lage nach gewonnen, so ist für jeden Schwimmer der zurückgelegte Weg (s in Metern) und die Bewegungszeit (von dem obersten zum mittleren und vom mittleren zum untersten Profil) bekannt (t in Sekunden) und kann für jeden Profilmoment die Oberflächengeschwindigkeit berechnet werden:

$$v = \frac{s}{t}.$$

¹ Siehe W. Millers „Vermessungskunde“; 12. Band der Bibl. d. ges. Technik.

Die Mittel aus den Geschwindigkeiten oberhalb des (mittleren) Meßprofiles und unterhalb desselben gelten als die mittleren Oberflächengeschwindigkeiten in dem Meßprofil selbst.

Während der Messungsaktion muß der Pegel des Meßprofiles bzw. der demselben benachbarte Pegel beobachtet werden; denn die erhobenen Geschwindigkeiten gelten nur für den Wasserstand, der während der Messung geherrscht hat.

Will man die Oberflächengeschwindigkeiten bei verschiedenen Pegelständen kennen lernen, so muß die Messung eben bei verschiedenen Wasserständen wiederholt werden.

Schwimmermessungen sollen weder bei Wind noch unter anderen die natürliche Bewegung der oberen Wasserschichten beeinflussenden Umständen vorgenommen werden.

2a. Der hydrometrische Stangenflügel.

Die Konstruktion der hydrometrischen Flügel beruht auf der Bewegung einer auf einer festen Achse rotierenden Schraubenfläche im fließenden Wasser. Die Bewegung überträgt sich durch eine die Achsenspindel umfassende Schraube ohne Ende auf ein Zahnradgetriebe, das entweder als mechanisches Zählwerk für die Zahl der Umdrehungen der rotierenden Schraubenfläche (Flügelschaufeln) fungiert oder — wie bei elektrisch bedienten Flügeln — die Übertragung der Schaufelbewegungen auf einen über Wasser befindlichen Tourenzähler (Klingelwerk) oder auf einen Zeiger (Indikator) ermöglicht.

Der nach seinem Erfinder, Woltman (1790), benannte hydrometrische Flügel (Woltmanscher

Flügel) ist mit einem mechanischen Zählwerk versehen. Heute noch werden in einzelnen mechanischen Werkstätten Flügel nach demselben System mit verschiedenartigen Abänderungen konstruiert, und stehen solche ziemlich zahlreich in Benutzung.

Allen diesen mit mechanischen Zählwerken versehenen Apparaten haftet der große Nachteil an, daß sie nach jeder einzelnen — in einem einzigen

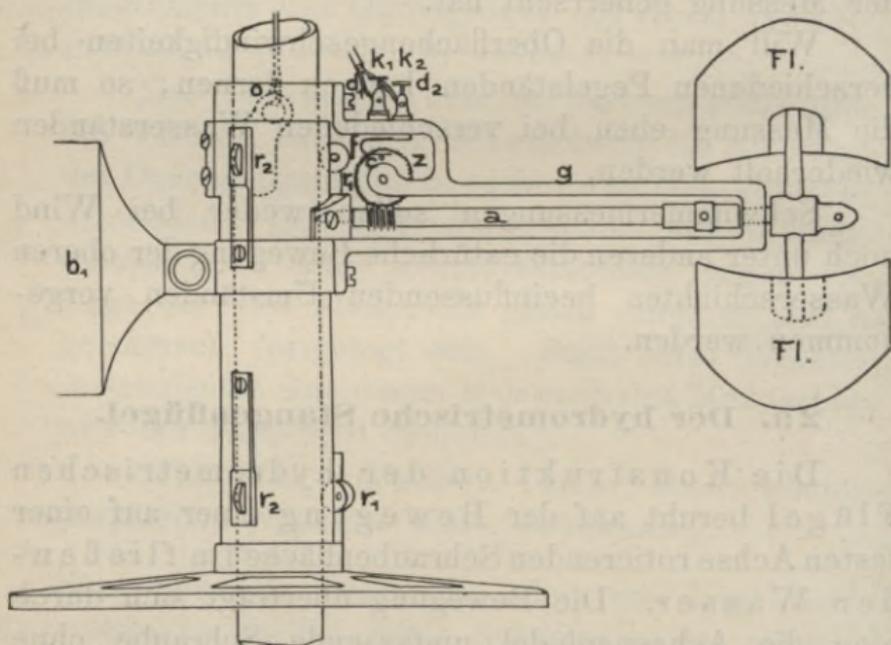


Abb. 22. Hydrometrischer Flügel von Harlacher.

Punkte des Meßprofils durchgeführten — Messung über Wasser gezogen werden müssen, damit an dem Zählwerk die Zahl der Flügelumdrehungen abgelesen werden kann.

Dieser Nachteil ist so bedeutend, daß man sich immer mehr den elektrischen Stromgeschwindigkeitsmessern zuwendet, von welchen im folgenden die Rede sein wird.

Als eine der ersten vollkommenen Konstruktionen eines elektrisch funktionierenden hydrometrischen Flügels verdient jene von A. R. Harlacher in Prag genannt zu werden¹. (Siehe Abb. 22, Seite 154, und Abb. 23, Seite 155.) Der Apparat besteht:

a) aus einer Führungsstange (*f*), der sogenannten „stehenden Stange“ zum Unterschiede von der „hängenden Stange“, die vor Harlacher ausschließlich verwendet worden ist. Die stehende Stange ist eine eiserne Röhre mit einer der ganzen Länge nach ausgehobelten (stromabwärts angeordneten) Nut. Die Stange ist unten mit einer Spitze versehen, die es ermöglicht, sie in den Flußgrund einzubohren.

Sie verbleibt in ihrer Stellung während der ganzen Dauer der in einer Lotrechten auszuführenden Messungen, indessen der Flügel unter Wasser längs der Stange von Meßpunkt zu Meßpunkt verstellt wird;

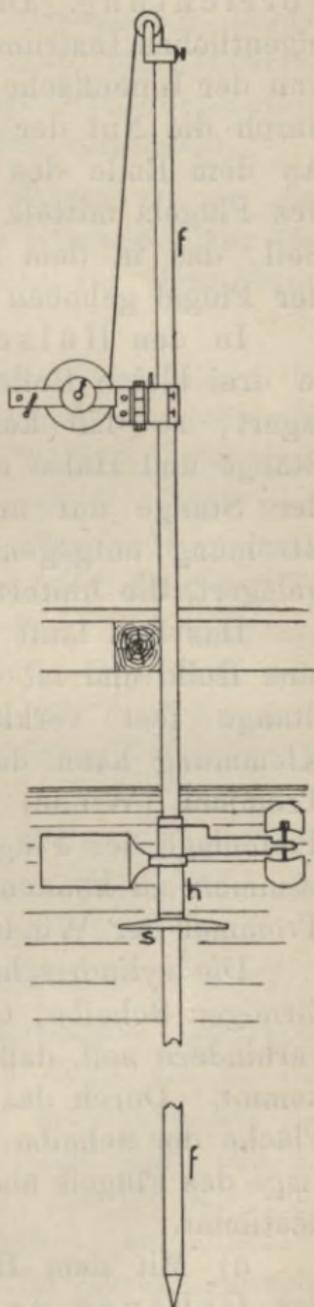


Abb. 23.

Der hydrometrische Flügel
von Harlacher.

¹ Siehe A. R. Harlacher, Professor an der Deutschen Technischen Hochschule in Prag: „Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden des Verfassers.“ Leipzig 1881.

b) aus der Aufhänge- und Verschiebevorrichtung. Die zylindrische Hülse (*h*) des eigentlichen Instrumentes umfaßt die Führungsstange; von der Innenfläche der Hülse dringt ein Dornfortsatz durch die Nut der Stange in das Innere der Röhre. An dem Ende des Dornes ist das Aufhängeseil des Flügels mittels eines Öhres verknüpft. An dem Seil, das in dem Hohlraum der Stange läuft, wird der Flügel gehoben und gesenkt.

In den Hülsenkörper sind oben und unten je drei kleine Rollen (*r*) in eigenen Schlitzten eingelagert, so daß keine gleitende Reibung zwischen Stange und Hülse entsteht, vielmehr die Hülse längs der Stange auf und ab rollt. Die vorderen, der Strömung entgegenstehenden Rollenpaare sind fest gelagert, die hinteren Rollen federnd gelagert.

Das Seil läuft am oberen Ende der Stange über eine Rolle und ist unterhalb der Rolle außen an der Stange fest verklemmbar. Statt dieser Art der Klemmung kann das Seil auch auf einer sperrbaren Trommel (Winde) aufgewickelt werden. Um die Tiefenlage des Flügels unter dem Wasserspiegel bestimmen zu können, ist entweder das Seil oder die Trommel der Winde entsprechend geteilt.

Die zylindrische Hülse ist unten zu einer kreisförmigen Scheibe, Grundplatte (*s*), erweitert, die verhindern soll, daß der Flügel der Flußsohle zu nahe kommt. Durch das Maß des Abstandes der unteren Fläche der Scheibe von der Flügelachse ist die tiefste Lage des Flügels über der Sohle begrenzt und zugleich bestimmt.

c) Mit dem Hülsenkörper fest verschraubt ist das Gehäuse des Flügels (*g*), in welches die Flügelachse (*a*) in Steinlagern eingelagert ist. Vorn an der Achse außerhalb des Gehäuses ist

das frei laufende Flügelrad (*Fl*) aufgesetzt, das aus zwei auf Speichen sitzenden, nach einer Schraubenfläche (mit bestimmter Ganghöhe) hergestellten Schäufelchen besteht. Auf dem vorderen Achsenende sitzt eine eichelförmige Schraubenmutter, die das Herabfallen des Flügelrades verhindert.

d) Symmetrisch mit dem Flügel ist an der Hinterseite des Hülsenkörpers ein Steuerruder (b_1) festgemacht, das als Gegengewicht für den Flügel wirkt.

e) An dem der Hülse zugewendeten Ende der Flügelachse trägt diese ein Schraubengewinde, in welches ein in einem besonderen Teile des Gehäuses eingelagertes Zahnrad (z) eingreift, das nach 50 (oder 100) Umdrehungen der Flügelachse einmal um seine Achse läuft. Das Zahnradchen trägt seitlich einen Kontaktknopf, der bei jeder Radumdrehung einmal an eine Kontaktfeder streift. Hiedurch wird jedesmal ein Stromschluß in dem mit dem Apparate verbundenen elektrischen Stromkreise erzeugt, in welchen

f) ein Registrierapparat (ein Tourenzähler), d. i. eine elektrische Klingel eingeschaltet ist, die auf je eine Umdrehung des Zahnrades bzw. auf je 50 (oder 100) Umdrehungen des Flügelrades reagiert.

g) Zur Einstellung der Flügelachse senkrecht auf die Richtung des Meßprofils dient ein an der Stange befestigtes Visier, das senkrecht auf die Flügelachse adjustiert ist. Die Stange wird, ehe sie befestigt wird, so zu drehen sein, daß die Richtung des über Wasser (in Mannshöhe) angebrachten Visieres mit den Signalen am Ufer zusammentrifft, durch die das Meßprofil markiert ist. Bei der Verschiebung des Flügels längs der Stange behält dann

die Flügelachse die zur Durchführung der Messung erforderliche Lage senkrecht zur Profilebene bei.

h) Als elektrische Stromquelle dient eine Batterie.

i) Zur Bestimmung, wie viele Umdrehungen der Flügel in einer Sekunde vollführt, bedarf es der Verwendung einer Stopuhr (Chronoskop), mit deren Hilfe man die Zeit des ersten Glockensignales und nach etwa 2—3 Minuten ein letztes Glockensignal festhält. Während dieser Zeit muß die Zahl der Glockensignale notiert werden.

Ertönt z. B. nach je 50 Umdrehungen der Flügelachse ein Signal, und sind zehn Signale in der Zeit von drei Minuten gezählt worden, so entsprechen diesem Zeitraume 500 Umdrehungen des Flügels und der Zeiteinheit von einer Sekunde $\frac{500}{3 \times 60} = 2,8$ Umdrehungen.

Der Harlacher-Flügel hat in der letzten Zeit zahlreiche Abänderungen und Verbesserungen erfahren, die sich auf alle Einzelheiten desselben erstrecken¹.

Die hydrometrischen Flügel, die im Jahre 1897 bei den Donaumessungen des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien in Verwendung standen,

¹ Zahlreiche Flügeltypen sind abgebildet in Wilh. Müllers „Hydrometrie“, praktische Anleitung zur Wassermessung. Hannover 1903. Gebr. Jänecke.

Über die neuesten Flügelformen der Firma A. Ott in Kempten siehe „Schweizerische Bauzeitung“ 1906, 2. Sem. Nr. 14 und 15.

Auch das 12. Bändchen der „Bibliothek der gesamten Technik“ „Die Vermessungskunde“ von W. Miller enthält Angaben über Wassermessungen und über Wassermeßapparate.

waren im allgemeinen der von Harlacher geschaffenen Konstruktion nachgebildet¹.

Als Führungsstange diente ein gezogenes Stahlrohr von 4—6 m Länge, 5 mm Wandstärke und 45 mm äußerem Durchmesser. An ihrem unteren Ende war sie mit einem konischen Stahlschuh versehen. Der Laufschlitz für den Flügel war 7 mm weit. Die Stange konnte durch ein 1,8 m langes Ansatzstück verlängert werden, das mit einem Rohrkern auf das Stahlrohr aufgesetzt wurde. Ein auf dem Rohrkern aufmontierter Dorn ragte hiebei in den Stangenschlitz hinein, um die Drehung des Ansatzstückes zu vermeiden. Zur Kupplung des Verlängerungsstückes an die Führungsstange diente eine Muffe.

Die Grundplatte war mit dem eigentlichen Flügel nicht in fester Verbindung. Sie war am unteren Ende der Stange selbständig zu befestigen, indem sie auf einem Bolzen ruhte, der durch die Führungsstange durchgesteckt werden konnte. Die Stange hatte unten drei Bohrungen in Abständen von 10 cm, so daß man die Grundplatte in drei verschiedenen Abständen von der Flußsohle anbringen konnte. So war es möglich, die Stange mehr oder weniger tief einzurammen, je nach der Beschaffenheit des Grundes. Durch den Hals der Grundplatte war das Aufschlagen des Flügels auf die Flußsohle verhütet. Am Rande war die Platte mit zwei Löchern zur Befestigung von Leinen versehen, die über die Rollen der an dem Meßschiff befestigten, stromaufwärts gerichteten Ausgehölzer geführt wurden,

¹ Siehe Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 3. Heft: „Die hydrometrischen Erhebungen an der Donau nächst Wien im Jahre 1897.“ Wien 1899. W. Braumüller.

um die Stromabwärtsbewegung des unteren Stangenendes während des Hinablassens der Stange zu verhindern.

Zum Festhalten der Flügelstange bzw. zur Erhaltung der Flügelstellung senkrecht zum Meßprofil war in handlicher Höhe eine Querstange an die Führungsstange befestigt, die mit einem Dorn in den Längsschlitz der letzteren eingriff.

Der Flügel selbst bestand aus drei durch je eine Schraube miteinander verbundenen Hauptteilen:

- a) dem Vorderteil, dem eigentlichen Flügel, der aus der Flügelschaufel, der Drehungsachse, den Lagern, den Kontaktvorrichtungen und dem Gehäuse für diese zusammengesetzt war;
- b) dem Mittelstück oder dem Führungsteile, der an einem im Hohlraume der Führungsstange eingeleiteten Kabel hing, und
- c) aus dem Gegengewicht.

ad a) Die Flügelschaufel, aus einem einzigen Stück bestehend, war nach einer Schraubenfläche von 230 mm Ganghöhe, 100 mm Länge und 124 mm Durchmesser gebildet und nach einem Rotationsellipsoid geformt.

Die Wahl dieser, von früheren Konstruktionen abweichenden Form bezweckte nicht nur, dem Wasserstoße eine verhältnismäßig große Angriffsfläche darzubieten, sondern auch das Anschwimmen von Gräsern, Blättern und dergleichen an das Instrument zu verhüten. Dieser Zweck wurde vollkommen erreicht. Der Flügel arbeitete selbst bei kleinen Geschwindigkeiten (14 cm pro Sekunde) ganz regelmäßig. Die hinter der Schaufel und dem Gehäuse freiliegende

Drehungsachse des Flügels ist durch anschwimmende Fremdkörper niemals verlegt worden.

Die Drehungsachse, auf welcher die Schaufel aufgeschoben und durch eine vorne zugespitzte Schraubenmutter befestigt war, ruhte knapp hinter der Schaufel in einem Kugellager und an ihrem Ende in einer Zapfenführung. In die Achse war eine Schraube ohne Ende eingeschnitten, die in ein Zahnradchen mit 50 Zähnen eingriff. Ein auf dem Radchen seitlich aufmontierter kleiner Zapfen streifte nach je einer Drehung des Radchens bzw. nach 50 Umdrehungen der Flügelachse an eine Kontaktfeder, die, gegen das Flügelgehäuse isoliert, mit einer gleichfalls isolierten Klemmschraube in metallischer Berührung stand. Durch diese Klemmschraube und durch eine zweite, auf dem Mittelstücke des Flügels sitzende, nicht isolierte Klemmschraube liefen die Enden der elektrischen Stromleitung, die jedesmal geschlossen wurde, wenn der kleine Zapfen an der Kontaktfeder gleitete.

Das Flügelgehäuse umschloß die Flügelachse, deren Lager und die Kontaktvorrichtung und war sowohl auf der Vorderseite durch Verschieben eines Plättchens als auch an dem Kugellager durch eine Klappe zu öffnen.

ad b) Das Mittelstück lief längs der Führungsstange auf Laufrollen und trug die Vorrichtungen für die elektrische Leitung.

ad c) Das Gegengewicht bestand aus einem linsenförmigen Gußkörper. Dasselbe war absichtlich nicht als Steuer ausgebildet, da der Flügel nicht in die Stromrichtung geleitet, sondern senkrecht auf das Meßprofil gehalten werden soll.

Das Gesamtgewicht der drei Hauptteile des hydrometrischen Flügels betrug 3,4 kg und reichte selbst bei den stärksten Strömungen hin, um die beim Hinablassen des Instrumentes an der Stange auftretenden Reibungswiderstände zu überwinden.

Die wesentlichen Unterschiede der eben besprochenen Flügelkonstruktion gegenüber dem ursprünglichen Harlacherflügel bestehen nach dem Vor-
gesagten:

1. in der Form der Flügelschaufel, die aus einem einzigen Schraubenstück, anstatt aus zwei gestielten Schaufeln, besteht;
2. in der Ausführung des vorderen Achsenlagers des Flügels als Kugellager;
3. in der Sonderung der Grundplatte von dem Mittelstücke des Flügels.

Hinsichtlich der Zerlegbarkeit und Reinhaltung dieser Flügel sei auf die folgenden, dem dritten Hefte der „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“ entnommenen Ausführungen verwiesen:

„Eine der wichtigsten Bedingungen für das richtige Funktionieren hydrometrischer Flügel besteht in der vollständigen Reinhaltung derselben; weshalb bei der Konstruktion derartiger Instrumente nicht nur die Möglichkeit Berücksichtigung finden muß, sich jederzeit von dem Vorhandensein einer stattgehabten Verunreinigung überzeugen, sondern dieselbe auch möglichst rasch, ohne die Angaben des Instrumentes irgendwie zu alterieren, beseitigen zu können.

„Nur zu leicht werden die bei den hydrometrischen Erhebungen auftretenden Unregelmäßigkeiten der Wasserbewegung als Ungenauigkeit der verwendeten Instrumente ausgelegt. Um einerseits diesen falschen Auslegungen von vornherein zu begegnen und ander-

seits stets richtige Resultate zu erlangen, ist es unbedingt notwendig, sich zu hydrometrischen Studien solcher Meßapparate zu bedienen, die alle Zweifel über ihre Präzision ausschließen, bzw. die Gelegenheit bieten, sich jederzeit ohne alle Schwierigkeiten von dem entsprechenden Funktionieren derselben die Überzeugung zu verschaffen. Dies erscheint nun durch die vorgeschilderte Konstruktion des im österreichischen hydrographischen Dienste verwendeten hydrometrischen Flügels in der denkbar einfachsten Weise erreicht, weil derselbe nicht nur während weniger Minuten in seine Bestandteile zerlegt, untersucht und gereinigt, sondern auch ohne Änderung der Instrumentangaben rasch wieder zusammengesetzt werden kann.

„Das Zerlegen des Flügels erfolgt in der nachstehend geschilderten Weise: Zuerst wird die Flügelspitze abgeschraubt und die Schaufel von der Achse herabgeschoben. Dann wird die das Kugellager bedeckende Gehäusekappe abgenommen und die Drehungsachse aus dem Gehäuse vorsichtig herausgeschoben, wobei man die Stahlkugeln des Lagers auf ein Tuch fallen läßt. Wird endlich noch die an der Vorderseite des Gehäuses vorhandene Deckplatte nach Lüftung der betreffenden Schraube entfernt, so liegen alle Teile des Instrumentes zur Reinigung bereit, die am besten mittels eines Rehhäutchens veranlaßt werden kann.

„Ist dieselbe vollzogen, und sind namentlich die Kugeln und Lagerflächen gut getrocknet, dann kann die Wiederaussetzung des Instrumentes in ebenso einfacher Weise erfolgen. Die Achse wird wieder in das Gehäuse geschoben, eine Kugel nach der andern mit einer Pinzette vorsichtig nebeneinander auf das Lager gelegt, die Kappe und der Deckel des Gehäuses

geschlossen und endlich die Schaufel sowie die Flügel-
spitze an die Achse montiert.

„Schließlich möge bezüglich der Ingebrauchsetzung
des hydrometrischen Flügels die Bemerkung beigefügt
werden, daß das Zusammenschrauben seines Vorder-
und Mittelteiles bei der Meßarbeit, um Beschädigungen

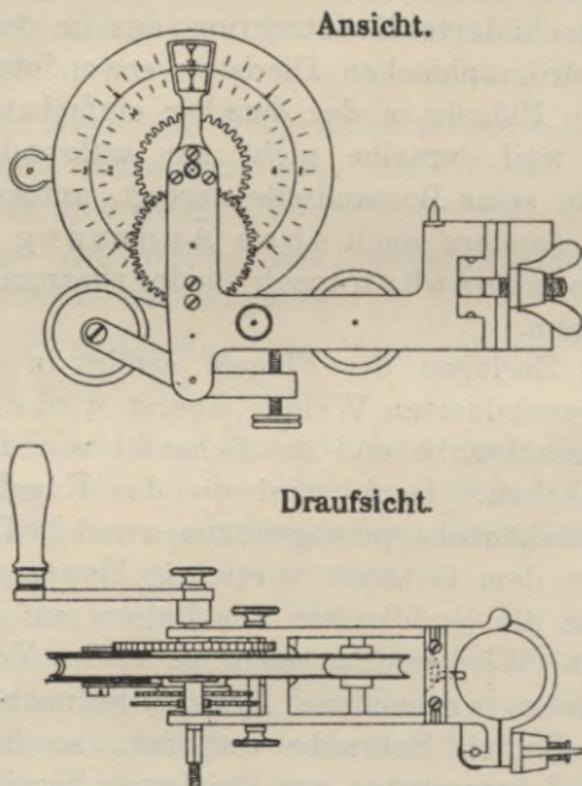


Abb. 24. Tiefenmesser.

der Schaufel zu vermeiden, erst dann geschehen soll,
wenn vorerst die Führungsstange samt allem Zugehör
inkl. des nunmehr zu besprechenden Tiefenmessers
in der Lotrechten aufgestellt worden ist.“

Der bei den Donaumessungen in Verwendung
gestandene Tiefenmesser ist in vorstehender
Abb. 24 dargestellt.

Der Tiefenmesser dient dazu, die Höhenlage des Flügels an der Führungsstange gegen den Wasser Spiegel zu bestimmen.

Er ist an der Führungsstange oder an dem Verlängerungsstücke in einer für den Beobachter bequemen Höhe befestigt.

Das Leitungskabel, an welchem der Flügel hängt, läuft oben über die am Ende der Führungsstange befindliche Führungsrolle hinab zum Tiefenmesser bzw. zu einer Laufrolle desselben, dann um die Scheibe des Tiefenmessers und schließlich über eine zweite Laufrolle, die mit Hilfe einer an einem Hebel wirkenden Schraube gegen die Scheibe mäßig gepreßt wird.

„Hiedurch ist das Kabel derart fixiert, daß das Ab- oder Auflaufen desselben nur mit Überwindung der betreffenden Reibungswiderstände erfolgen kann. Die diesen Bewegungen folgende Scheibe, die sogenannte äußere Zähler Scheibe, ist an ihrem Umfange mit einer Zentimeterteilung versehen, so daß an der letzteren die Länge des vom Kabel zurückgelegten Weges direkt abzulesen möglich ist. Zur Vereinfachung des Ablesens dient ferner eine zweite, in die erstgedachte zentrisch eingelegte, ebenfalls regelmäßig eingeteilte Scheibe, welche mit der ersteren durch eine Zahnradübersetzung derart verbunden ist, daß die Umdrehung von zehn Teilen der äußeren Zähler Scheibe einer Teilstrichentfernung der zweiterwähnten bzw. der inneren Scheibe entspricht.

„Nachdem die Bewegung des Kabels jener des Flügels gleichkommt, so kann die Tiefenlage des letzteren durch die Ablesung der Dezimeter am inneren und der Zentimeter am äußeren Teilkreise erhoben werden. Soll der Flügel in einer bestimmten Stellung längere Zeit fixiert bleiben, so ist dies mit Hilfe einer Sperrklinke zu erreichen, die in ein an der

äußeren Zählscheibe angebrachtes Zahnrad einfällt. Zur Ablesung der Zählscheiben dienen fixe Indices, zur leichten Auf- oder Abwärtsbewegung des Flügels eine kleine Handkurbel, zur Befestigung des Tiefenmessers eine Klemmvorrichtung.“

Eine Umdrehung der äußeren Scheibe senkt oder hebt den Flügel um 40 cm, eine Umdrehung der inneren Scheibe um 4 m.

Die nebenstende Abb. 25 zeigt den Tiefenmesser in voller Adjustierung mit einem Stangenflügel neuester Konstruktion (nach Angaben des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien von der Werkstätte für Präzisionsmechanik Otto A. Ganser in Wien ausgeführt).

Ehe die Besprechung der Stangenflügel geschlossen wird, sei des für kleine Gerinne geeigneten *Taschenflügels* gedacht, der in der Abb. 26 (Seite 167) dargestellt ist. Derselbe kann an einer Latte oder einem Stocke befestigt werden. Die Abb. 27 (Seite 167) zeigt den Taschenflügel mit der ganzen Einrichtung (4 m Kabel, Batterie und Glocke) in einem leicht tragbaren Kästchen.

2 b. Der Schwimmflügel oder Hochwasserflügel.

Die Verwendung von Stangenflügeln ist dadurch begrenzt, daß die

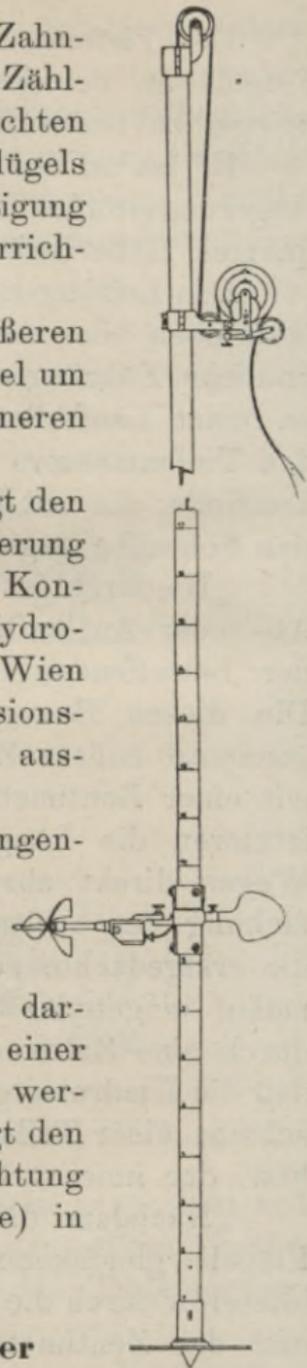


Abb. 25.
Hydrometrischer
Stangenflügel in
vollständiger Ad-
justierung.

Vertikalstellung und Stabilität der Führungsstange in Gewässern von mehr als 8 m Tiefe und mehr als 3 m Geschwindigkeit nicht mehr zu erreichen ist.

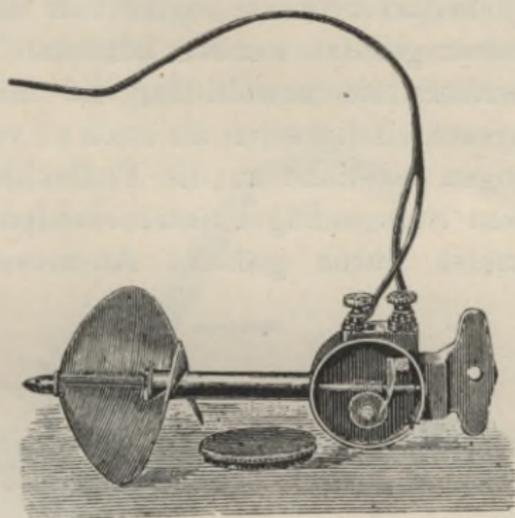


Abb. 26. Taschenflügel.

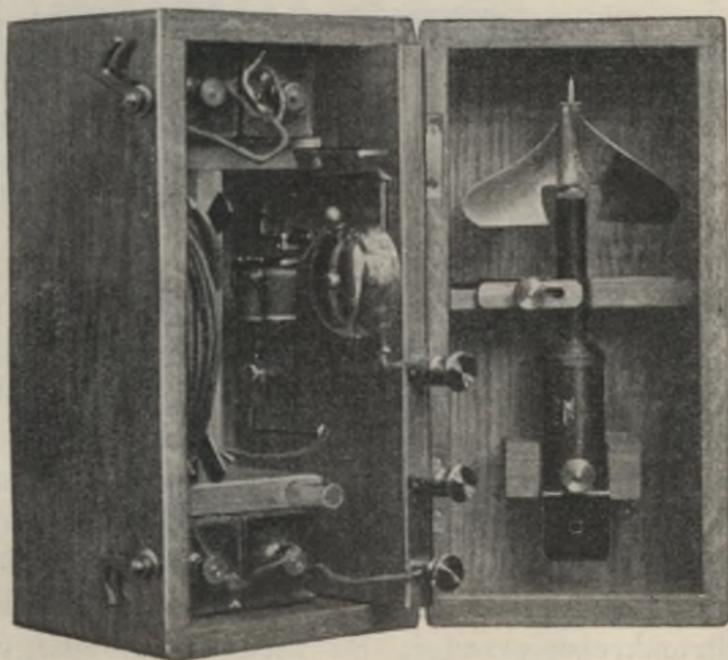


Abb. 27.

Es muß dann zu den an einem Kabel hängenden Schwimmflügeln gegriffen werden, deren Ingebrauchsetzung nicht immer besonderer Meßausrüstungen (Meßschiffe) bedarf, da sie leicht von einer Brücke aus ins Wasser gesetzt werden können.

Man benutzt sie sowohl für die Messung von Oberflächengeschwindigkeiten als auch zu vollständigen Profilmessungen bis nahe an die Flußsohle.

Von dem Stangenflügel unterscheiden sich diese Apparate meist durch größere Ausmessungen und

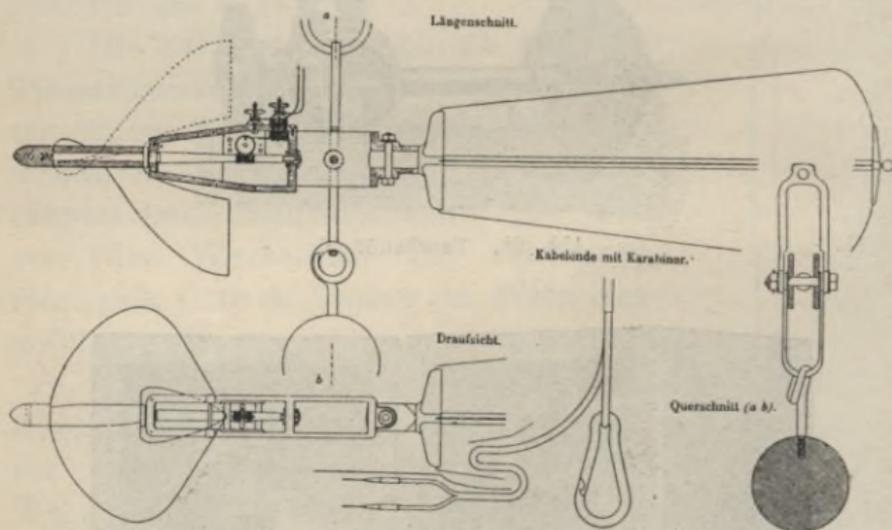


Abb. 28.

dadurch, daß der rückwärtige Teil der Flügel in Form eines Steuers ausgearbeitet ist. Zur Beschwerung des Apparates dient ein (30 bis 50 kg) schweres Gewicht, das in der Form einer wagerechten Linse gehalten ist und an dem Mittelstücke des Flügels hängt.

An der Unterseite trägt die Linse ein federndes Kontaktstück, das beim Aufliegen auf dem Grund einen Stromschluß in einem eigens hiezu eingeschalteten Stromkreise erzeugt. So wird die Tiefstlage des Flügels signalisiert.

Die Schwimmflügel (Abb. 28, Seite 168) haben den Nachteil, daß sie sich nicht in die Richtung senkrecht zu dem Meßprofile halten lassen. Sie stellen sich in die Richtung der Strömung und geben dann, wenn die Strömung nicht senkrecht zu dem Meßprofile gerichtet ist, zu große Geschwindigkeitsmaße an.

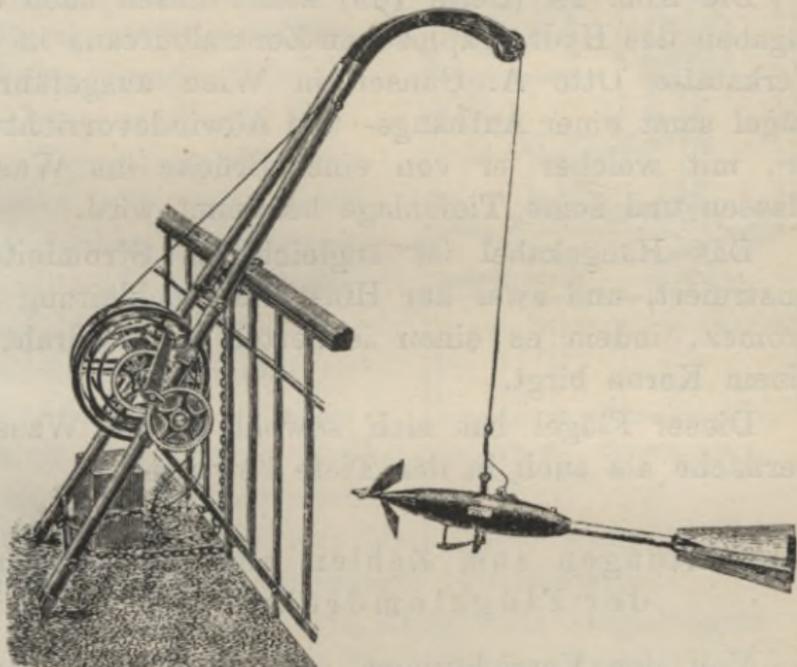


Abb. 29. Torpedoförmiger Schwimmflügel.

Auch sind sie nicht in dem eigentlichen Meßprofile festzuhalten; sie werden stromabwärts getrieben.

Überdies kommt es vor, daß die Beschwerungs-linsen durch die Strömung aufrecht gestellt werden und nicht nur den Gang der Flügelschaukel stören, sondern auch eine Beschädigung des Flügels verursachen können.

Dem letzteren Übelstande suchte das Hydrographische Zentralbureau in Wien durch die Kon-

struktion eines massiven Flügelkörpers abzuhefen, der die Beschwerung durch ein Gewicht entbehrlich macht.

Der Flügelkörper hat die Fischform bzw. die Torpedoform, nach welcher letzterer der Flügel auch Torpedoflügel benannt wird.

Die Abb. 29 (Seite 169) stellt diesen nach den Angaben des Hydrographischen Zentralbureaus in der Werkstätte Otto A. Ganser in Wien ausgeführten Flügel samt einer Aufhänge- und Abwindvorrichtung vor, mit welcher er von einer Brücke ins Wasser gelassen und seine Tiefenlage bestimmt wird.

Das Hängekabel ist zugleich als Stromleitung konstruiert, und zwar zur Hin- und Rückleitung des Stromes, indem es einen isolierten Kupferdraht in seinem Kerne birgt.

Dieser Flügel hat sich sowohl an der Wasseroberfläche als auch in der Tiefe bewährt.

Vorrichtungen zum Zählen und Registrieren der Flügelumdrehungen.

Von den Vorrichtungen zum Zählen und Registrieren der Flügelumdrehungen ist bisher nur das elektrische Klingelwerk erwähnt worden, das in Verbindung mit einer Stopuhr in Tätigkeit gesetzt wird (siehe Seite 158).

Eine andere, demselben Zwecke gewidmete Vorrichtung ist der Chronograph (Abb. 30, Seite 171). Es ist dies ein mit zwei Schreibfedern ausgerüsteter elektrischer Schreibapparat, der nach Art des Morse-Telegraphen mit zwei Elektromagneten arbeitet, die bei den Stromschlüssen eine Ausrückung der Schreibfedern auf dem unter den Federn durchlaufenden Schreibstreifen bewirken (Abb. 31, Seite 171).

Der eine Elektromagnet arbeitet in dem Stromkreise, in welchem die Kontaktvorrichtung des hydro-metrischen Flügels eingeschaltet ist. Vollzieht sich in dem Flügel ein Kontaktschluß (etwa nach je 50 Umdrehungen der Flügelachse), so wird derselbe durch eine Ausrückung der Schreibfeder aus der Geraden, die sie zeichnet, markiert.

Der zweite Elektromagnet ist mit einer elektrischen Uhr in einen besonderen Stromkreis eingeschaltet. Die Uhr bewirkt von Sekunde zu Sekunde einen Stromschluß, der von der zweiten Feder auf dem Papierstreifen markiert wird. Der Streifen gibt also das Bild der Flügelkontakte pro Sekunde.

Die neueste Vorrichtung zum Registrieren der Flügelumdrehungen ist der Wassergeschwindig-

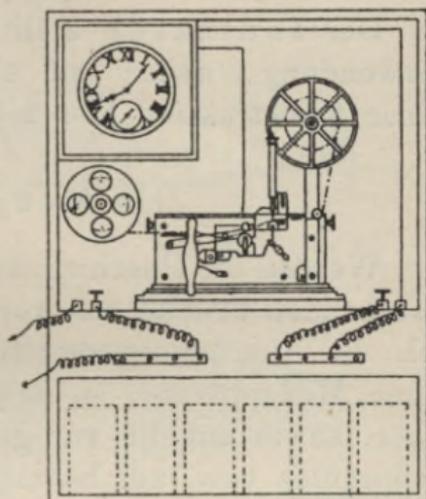


Abb. 30. Chronograph.

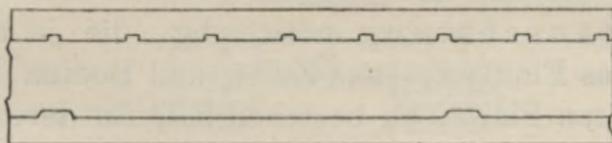


Abb. 31. Chronographenstreifen.

keitsindikator¹, der, in den elektrischen Stromkreis des Flügels eingeschaltet, auf einem Zifferblatt unmittelbar die Wassergeschwindigkeit angibt.

¹ „Der Wassergeschwindigkeitsindikator.“ Vom K. K. Hydrogr. Zentralbureau in Wien. 1902.

Für jeden Flügel muß ein eigenes Zifferblatt angefertigt werden, da ja auch jedem Flügel eine andere, das Verhältnis zwischen der Umdrehungszahl des Flügels und der Wassergeschwindigkeit darstellende Formel entspricht.

Der Indikator steht in der Praxis wenig in Verwendung, daher auf eine nähere Beschreibung seiner Konstruktion hier nicht eingegangen wird.

Die Meßgeräte.

Werden die Geschwindigkeitsmessungen von einer bestehenden Brücke aus vorgenommen, so beschränkt sich die Ausrüstung des Ingenieurs auf die eigentlichen Meßapparate, d. i. auf den Flügel samt Zugehör, sowie auf die zur geodätischen Aufnahme des Meßprofiles bzw. zur Lotung desselben erforderlichen Instrumente und Werkzeuge.

Ist eine Brücke nicht vorhanden, der Fluß aber leicht überbrückbar, so empfiehlt es sich, einen provisorischen Steg (Meßsteg) zu errichten, von welchem aus sich die Messungen ebenso wie von einer bestehenden Brücke durchführen lassen.

Bei breiten und tieferen Flüssen aber ist eine Schiffsausrüstung notwendig, die je nach der Größe des Flußlaufes aus Zillen und Booten bzw. aus gekuppelten Platten zu bestehen hat, für deren sichere Verankerung vorzusorgen ist.

Harlacher bediente sich bei seinen Messungen auf der Elbe zweier Pontons, die schiffsbrückenartig zu einem Ganzen verbunden waren. Der lichte Abstand der Pontons betrug ungefähr 3 m. Dieser Abstand genügte, um eine Beeinflussung der Oberflächengeschwindigkeit des Wassers durch die Schiffe auszuschließen.

Für die Verankerung der Schiffe war durch vier Anker stromaufwärts und zwei Anker stromabwärts gesorgt. So war das Meßschiff genau im Meßprofile festgehalten. Für die Versenkung des Flügels

Fig. 1. Längenschnitt (A B).

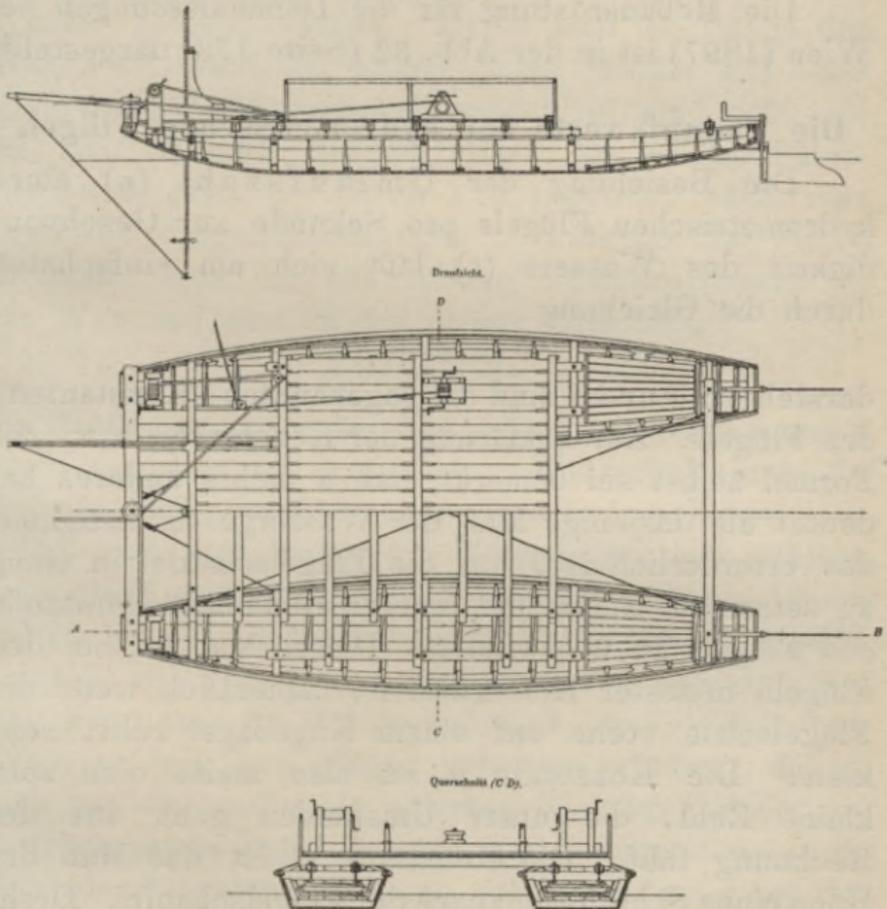


Abb. 32.

an der Stange ins Wasser war ein quadratischer Ausschnitt in der Schiffbrücke ausgespart.

Zur Einstellung des Meßschiffes über die Messungslotrechten bzw. zur Verschiebung desselben von einer Lotrechten zur anderen bediente man sich eines Dampfers, der das Meßschiff ins Schlepptau nahm.

Bei den Rheinmessungen verwendete man zwei 2 m breite Kähne, die, 4 m voneinander abstehend, fest miteinander verkuppelt und überbrückt waren. Die Verankerung bestand aus einem Vorderanker an einem langen Drahtseil und aus zwei Seitenankern.

Die Meßausrüstung für die Donaumessungen bei Wien (1897) ist in der Abb. 32 (Seite 173) dargestellt.

Die Umlaufswerte der hydrometrischen Flügel.

Die Beziehung der Umlaufszahl (n) eines hydrometrischen Flügels pro Sekunde zur Geschwindigkeit des Wassers (v) läßt sich am einfachsten durch die Gleichung

$$v = a + \beta n$$

darstellen; a und β sind die sogenannten „Konstanten“ des Flügels. Zur Erklärung der Konstanten bzw. der Formel selbst sei bemerkt, daß a nichts anderes bedeutet als dasjenige Maß der Wassergeschwindigkeit, das erforderlich ist, um die Flügelschaukel in Gang zu setzen, d. h. um die inneren Reibungswiderstände des Flügels zu überwinden. Dieses Maß ist bei den Flügeln neuester Konstruktion, namentlich wenn die Flügelachse vorne auf einem Kugellager ruht, sehr klein. Die Konstante a ist also meist eine sehr kleine Zahl, die unter Umständen ganz aus der Rechnung fällt. Die Konstante β ist das Maß der Höhe eines Schraubenganges der Flügelschaukel. Dreht sich die Schaukel n mal in der Sekunde, so hat der die Schaukel drehende Wasserfaden einen [sekundlichen] Weg zurückgelegt, der gleich ist dem n fachen Maße der Schraubenganghöhe ($n \cdot \beta$). Durch diese Erwägungen ergibt sich also die Wassergeschwindigkeit v (d. i. der sekundliche Weg des Wassers) aus der Summe von a und $\beta \cdot n$

$$v = a + \beta n.$$

Die Bestimmung der Flügelkonstanten (Tarierung der Flügel).

Um die Konstanten eines hydrometrischen Flügels bestimmen zu können, muß der Flügel mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch stehendes Wasser geführt werden. Kennt man die Länge des Weges (s), den der Flügel dabei jeweils mit einer konstanten Geschwindigkeit zurücklegt, und mißt man die Zeit (t) einer solchen Fahrt, so ist die Fahrtgeschwindigkeit (v) durch $s:t$ gegeben; zählt man auch die Flügelumdrehungen N während der Fahrt, so ergibt sich die sekundliche Umdrehungszahl (n) aus $N:t$ und sind in der obigen Gleichung

$$v = a + \beta n$$

die Größen v und n bekannt; die Konstanten a und β sind hingegen zu bestimmen. Wiederholt man die Fahrten mit verschiedenen Geschwindigkeiten, so erhält man eine Reihe von Gleichungen, aus welchen man die Konstanten a und β bestimmen kann. Diese gelten als die Konstanten des betreffenden Instrumentes; die Flügelgleichung ist dadurch gegeben, und nun kann man die Geschwindigkeit des fließenden Wassers mit dem Flügel jederzeit erheben, da sie sich aus der mehrmals zitierten Gleichung ergibt, in welcher nun a und β bekannt sind, während n — die Zahl der Flügelumdrehungen pro Sekunde — aus der Messung der Tourenzahl des Flügels in der Sekunde (mit der elektrischen Klingel oder mit dem Chronographen) hervorgeht.

Legt man das Ergebnis der Tarierung eines Flügels graphisch fest, indem man in ein Koordinatensystem die Fahrtgeschwindigkeiten als Ordinaten, die Umdrehungszahlen des Flügels als Abszissen aufträgt (Abb. 33, Seite 176), so ergibt sich eine Relations-

linie für v und n , aus welcher man für jedes n direkt die Wassergeschwindigkeit abgreifen kann.

Diese Relationslinie ist zumeist eine einzige Gerade (die mehrmals wiedergegebene Gleichung ist eben der analytische Ausdruck für eine Gerade). Geht aus den Auftragungen bei der Flügeltarierung hervor, daß diese Relationslinie keine Gerade, sondern eine Kurve ist, so läßt sich diese meist aus zwei

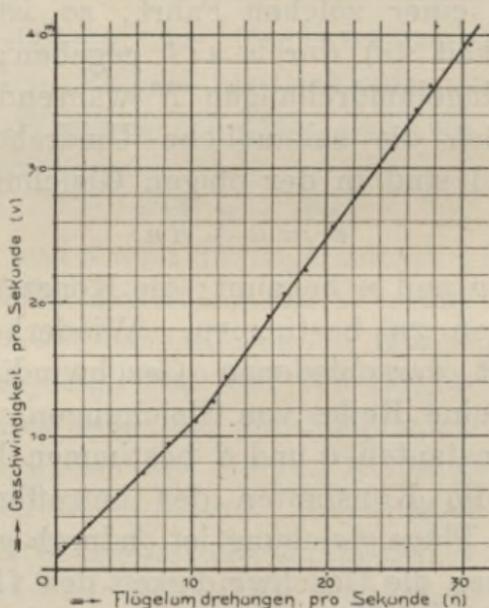


Abb. 33. Darstellung einer Flügelgleichung.

oder drei Geraden zusammensetzen. Wenn man die numerischen Werte von a und β erhalten will, muß für jede einzelne dieser Geraden die Flügelgleichung bestimmt werden und den einzelnen Gleichungen der Vermerk beigefügt werden, für welche Werte von n sie gelten. Es ist dies der einfachste Weg, um es nicht mit komplizierten Gleichungen zu tun zu bekommen, wie solche von verschiedenen Autoren aufgestellt bzw. befürwortet worden sind.

Z. B. von Lahmeyer:

$$v = a + \beta n + \gamma n^2$$

oder
$$v = a + \beta n + \frac{\gamma}{\delta + n^2}$$

(für kleine Geschwindigkeiten);

von Bornemann, Weisbach und Baumgarten:

$$v = \beta \cdot n + \sqrt{a^2 + \gamma n^2}$$

usf. usf.

Hydrometrische Prüfungsanstalten.

Für die Tarierung von hydrometrischen Flügeln d. i. zur Bestimmung der Umlaufswerte (Konstanten), bestehen in einzelnen Staaten eigene Prüfungsanstalten.

Eine solche Anstalt besteht in München an der Technischen Hochschule¹, eine in Koblenz am Rhein, eine bei Bern, eine bei Szolnok a. d. Donau, und im Jahre 1896 hat das Hydrographische Zentralbureau in Wien seine Hydrometrische Prüfungsanstalt² nach dem Muster der Münchener in Betrieb gesetzt.

„Diese auf dem Territorium des Lagerhauses der Stadt Wien im k. k. Prater errichtete Hydrometrische Prüfungsanstalt, deren Betrieb durch ein eigenes „Regulativ“ geregelt ist, besteht im wesentlichen aus dem Betriebshäuschen und dem 120 m langen, in Beton hergestellten Prüfungskanale, aus der maschinellen Einrichtung der Anstalt und dem sogenannten Prüfungswagen, endlich aus der zum Betriebe desselben dienenden elektromotorischen Anlage.

¹ Beschrieben in der „Deutschen Bauzeitung“ 1894.

² Siehe „Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1897: „Der hydrographische Dienst in Österreich im Jahre 1896“.

„Das Häuschen ist auf Betonmauerwerk fundiert, in Riegelwänden mit Gipsdielenverschalung ausgeführt und mit einem einfachen, von Weißblech überdeckten Sparrendach versehen.

„An der Stirnwand der Hütte ist die Eingangstür, an den Seitenwänden je ein Fenster angebracht. Gegen den Prüfungskanal zu ist die Hütte mit einem Vordache versehen und durch ein Tor verschließbar. Das lichte Profil des Prüfungskanals ist trapezförmig, mit muldenförmiger Sohle; die obere Breite desselben beträgt 1,50 m, die untere 1 m, die lichte Höhe 1,80 m, endlich die für die Versuchsfahrten nötige Wassertiefe über der Sohle im Mittel 1,20 m.

Auf den Seitenmauern des Kanales liegt das dem Betriebe des Prüfungswagens dienende Fahrgeleise, das eine Gesamtlänge von 120 m hat, wovon 10 m am Anfang zur Erleichterung der Anfahrten in einem Gefälle von 3 ‰, hierauf 100 m in der Horizontalen und die restlichen 10 m endlich zur Ermäßigung der Endgeschwindigkeit des Wagens in einer Steigung von 3 ‰ liegen.

„Die im Innern der Hütte untergebrachte Motorenanlage besteht aus einer Wechselstrommaschine, welche durch einen elektrischen Strom von 2100 Watt Energie bei 105 Volt Spannung gespeist wird. Die Bewegung des zweipferdigen Wechselstromelektromotors wird durch Kuppelung auf eine Gleichstrommaschine (von 1,5 P.S., 816 Watt, 110 Volt und 1250 Touren) übertragen, welche letztere durch zwei längs dem Fahrgeleise gezogene Drähte einen Gleichstrom nach dem auf dem Prüfungswagen aufgestellten Elektromotor (von zirka 800 Watt, 0,8 P.S., 1200 Touren) entsendet und bei Stromschluß die Bewegung des Wagens hervorruft. Zur Schließung des Stromes, zur Dirigierung des Wagens nach vor- und rückwärts, sowie zur

Regulierung der Fahrgeschwindigkeit dient der auf dem Wagen angebrachte Umschalter und Rheostat.

„Die Einrichtung ist so getroffen, daß eine Fahrgeschwindigkeit von 5 m pro Sekunde erzielt werden kann, daß die mit dem elektrischen Betriebe erreichbare Minimalfahrgeschwindigkeit 0,40 m beträgt und kleinere Geschwindigkeiten durch den Handbetrieb (Schieben des Wagens) erreichbar sind. Der Prüfungswagen gleicht einer einfachen Draisine, welche mit dem bereits erwähnten Gleichstromelektromotor, ferner mit einem Chronographen und mit einer aus H e l l e s e n s Patentrockenelementen bestehenden Batterie, endlich mit dem Traggestelle für den zu prüfenden hydrometrischen Apparat ausgerüstet ist.

„Der Chronograph erfüllt eine dreifache Aufgabe, und zwar registriert derselbe:

„erstens die vom Wagen zurückgelegte Fahrstrecke durch die Markierung der Passage der sogenannten 10 m-Kontakte, welche an dem Geleise angebracht sind und bei deren Berührung ein Stromschluß in der Batterie entsteht. Diese Passagen sind außerdem durch eine am Wagen befestigte Glocke akustisch wahrnehmbar;

„zweitens die sekundliche Fahrgeschwindigkeit des Wagens, und zwar durch die Einschaltung einer Sekundenuhr zwischen dem Chronographen und der Batterie; endlich

„drittens die Umdrehungszahl des am Wagen befestigten, in das Wasser getauchten hydrometrischen Flügels, und zwar entweder jede einzelne Umdrehung, oder aber eine größere runde Anzahl (gewöhnlich 50 und 100) Umdrehungen je nach der Kontaktvorrichtung desselben. Zu letzterem Behufe ist der Flügel mit dem Schreibapparate und der Batterie leitend verbunden.

„Der Chronograph liefert sohin auf einem abgewickelten Papierstreifen ein dreifaches Diagramm, und zwar eine Linie für die zurückgelegte Fahrstrecke, eine Linie für die hiezu benötigte Zeit und eine dritte für die Zahl der Flügelumdrehungen.

„Aus dieser dreifachen graphischen Darstellung (Abb. 34) läßt sich mit voller Verlässlichkeit die Beziehung zwischen der sekundlichen Umdrehungszahl des Flügels und der Geschwindigkeit der Fortbewegung des Flügels im Wasser ableiten.“

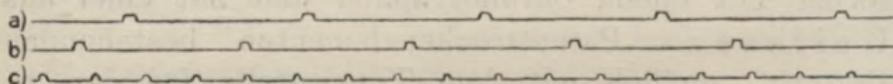


Abb. 34. Chronographdiagramm.

- a) Wegdiagramm (Kontakte für je 10 m zurückgelegte Fahrstrecke).
 b) Diagramm für die Flügelumdrehungen (Kontakte nach je 50 Umdrehungen).
 c) Zeitdiagramm (Kontakte von Sekunde zu Sekunde).

Die Durchführung von Wassergeschwindigkeitsmessungen in offenen Gerinnen.

Nachdem im vorstehenden die für die Durchführung von Wassermessungen in offenen Gerinnen erforderliche Ausrüstung in allgemeinen Umrissen besprochen worden ist, seien im folgenden die für die Messungsaktion wichtigen Grundsätze auszugsweise wiedergegeben, wie sie seitens des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien zum ersten Male in übersichtlicher Weise zusammengestellt worden sind¹.

a) Das Arbeitsprogramm.

Jeder Ermittlung der in einem Wasserlaufe abfließenden Wassermengen, das ist jener Mengen,

¹ „Grundsätzliche Bestimmungen für die Durchführung hydrometrischer Erhebungen.“ Herausgegeben vom K. K. Hydrographischen Zentralbureau. Wien 1903. 2. Auflage. In Kommission bei W. Braumüller, Wien.

welche bei den durch die Pegelablesung gekennzeichneten Wasserständen bestimmte Querprofile in der Zeiteinheit durchströmen, hat die Aufstellung eines kurz gefaßten Arbeitsprogramms voranzugehen, um alle auf den Wasserabfluß Bezug nehmenden Messungen und sonstigen Erhebungen mit der möglichen Raschheit und erforderlichen Genauigkeit planmäßig durchführen zu können.

In diesem Arbeitsprogramme sind unter Berücksichtigung der für die Erhebung der Abflußmengen gewählten Meßstelle die notwendigen geodätischen Vorarbeiten, ferner alle jene Maßnahmen nach Art und Umfang darzulegen, welche einerseits zur Fixierung der Gefälls- und Wasserstandsverhältnisse, anderseits zur Durchführung der Wassergeschwindigkeitsmessungen erforderlich sind.

Hiebei sind ferner Anordnungen dafür zu treffen, daß eine entsprechende Reihenfolge der Arbeiten eingehalten und den daran Beteiligten die von ihnen zu erfüllende Aufgabe klar vorgeschrieben werde.

Eine weitgehende Detaillierung des Programms ist jedoch zu vermeiden, es sei denn, daß es sich um die Durchführung von sogenannten Präzisions- bzw. von solchen Messungen handelt, welche vorwiegend Studienzwecke verfolgen.

b) Die Meßstelle.

Die Meßstelle soll — wie dies vorhin bei der Besprechung der Schwimmermessungen bereits betont worden ist — in einer Flußstrecke liegen, welche möglichst regelmäßig, nahezu gerade oder nur mäßig gekrümmt, von Stauwirkungen unbeeinflusst und frei von Einbauten, Inseln und Pflanzenwuchs ist, bei allen Wasserständen eine möglichst unveränderliche Lage des Stromstrichs, sowie ein nahezu gleichmäßiges

Gefälle aufweist, ferner eine mindestens bis zur Höhe der gewöhnlichen Hochwässer geschlossene einteilige Querprofilsform und eine ausgeglichene, feste oder nur wenig veränderliche Sohle besitzt.

Bei Zutreffen dieser Bedingungen sind an Flußüberbrückungen gelegene Meßstellen mit Rücksicht auf die zur Zeit der Hochwässer vorzunehmenden Erhebungen zu bevorzugen.

Zwingen besondere Verhältnisse zur Wahl einer Meßstelle mit geteiltem Flußprofile, so ist jeder Teil selbständig zu behandeln.

Ebenso sind auch Inundationsprofile getrennt vom eigentlichen Flußschlauche zu untersuchen; doch ist hierbei der gegenseitige Einfluß nicht außer acht zu lassen und den Strömungsverhältnissen im Inundationsgebiete eine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

c) Die geodätische Aufnahme und planliche Darstellung der Meßstelle.

1. Von jeder Meßstelle sind die Situations-, Längenprofils- und Querprofilsverhältnisse zu erheben und darzustellen.

2. Unter gewöhnlichen Umständen genügen für die Situationsskizze die vorhandenen Landesaufnahmen (etwa 1 : 25 000).

Ist dies aus besonderen Gründen nicht der Fall, so ist ein Lageplan im Maßstabe 1 : 1000 anzufertigen, der sich auf eine Strecke von der Länge der fünf-fachen Flußbreite auszudehnen und alle für die Messung wichtigen Terrain- und Festpunkte, Pegel und Aufnahmepflöcke, Uferlinien usw. zu enthalten hat.

3. Die Aufnahme des Längenprofils soll womöglich auf eine größere Strecke des Flusses, und zwar vom Scheitel der oberhalb der Meßstelle gelegenen Fluß-

krümmung bis zu jenem der unterhalb anschließenden Kurve ausgedehnt werden.

Zur Darstellung des Längenprofils ist für die Längen der Maßstab 1:1000, für die Höhen mindestens 1:20 zu empfehlen.

Das Längenprofil ist durch den Stromstrich zu legen und hat die Höhenlage der Hilfspegel, die Lage der Meßprofile und der übrigen gepeilten Querprofile, sowie die Gefällslinie des Wasserspiegels usw. zu enthalten.

4. Für die Ermittlung der Abflußmenge ist im allgemeinen bloß die Aufnahme eines Querprofils erforderlich.

Da aber die genaue Kenntnis der Flußbettverhältnisse an der Meßstelle zur Beurteilung und Erklärung mancher bei der Messung auftretenden Erscheinungen von Wichtigkeit ist und in vielen Fällen auch erst das Mittel zu einer entsprechenden Wahl des eigentlichen Messungs- oder Hauptprofils bietet, so ist die Querprofilaufnahme nicht ausschließlich auf das Messungsprofil zu beschränken, sondern vielmehr auf eine dem Zwecke der Arbeit angepaßte Anzahl von Profilen auszudehnen. Unter Umständen und namentlich dann, wenn die Darstellung von Iso-bathen (Linien gleicher Sohlentiefe unter dem Wasserspiegel) beabsichtigt wird, empfiehlt sich die Durchführung von sogenannten Kreuzsondierungen.

Die Aufnahme der Querprofile für hydrometrische Zwecke und insbesondere jene des Messungsprofils erfordert eine besondere Genauigkeit und ist daher mit großer Sorgfalt zu bewerkstelligen.

d) Die Gefällsbestimmung des Wasserspiegels an der Meßstelle.

Die in den Gerinnen auftretende Wassergeschwindigkeit steht mit den Gefällsverhältnissen in

enger Beziehung. Will man daher den Gesetzen des fließenden Wassers näher kommen, so muß die Gefällsbestimmung des Wasserspiegels an der Meßstelle mit besonderer Vorsicht und Präzision durchgeführt werden.

Bei einer Breite des Wasserlaufes von unter 10 m ist die Gefällserhebung mindestens auf die Strecke von 30 m oberhalb bis 20 m unterhalb des Meßprofiles auszudehnen. Bei Gewässern von mehr als 10 m Breite hat sich die Gefällserhebung mindestens über eine Länge von zwei bis drei Flußbreiten nach aufwärts und einer bis zwei Flußbreiten nach abwärts vom Meßprofile zu erstrecken.

Zur Gefällsbestimmung sind im Meßprofile sowie mindestens in drei ober- und zwei unterhalb desselben situierten Querprofilen an beiden Ufern provisorische Pegel bzw. mit einer Marke versehene Pflöcke zu setzen. An Meßstellen unter 10 m Breite ist eines dieser Profile 20 m ober- und eines 10 m unterhalb, an breiteren Meßstellen eines auf zwei Profilsbreiten ober- und eines auf eine Profilsbreite unterhalb des Meßprofiles zu wählen. Sollten unregelmäßige Gefällsverhältnisse vorhanden sein, so sind mehr Hilfspegel (Pflöcke) und zwar außer in den genannten jedenfalls auch in jenen Profilen zu errichten, in welchen augenscheinlich Gefällsbrüche stattfinden. Bei sehr schmalen Wasserläufen kann die Anzahl der Hilfspegel (Pflöcke) eine geringere als die oben normierte sein.

Die gegenseitige Höhenlage der Nullpunkte bzw. der Marken der provisorischen und etwa vorhandenen definitiven Pegel ist durch ein sorgfältiges Nivellement festzulegen.

Während der Geschwindigkeitsmessungen sind an diesen Pegeln Ablesungen und zwar bei kleineren Flußbreiten etwa in viertelstündigen, bei größeren

in höchstens einstündigen Intervallen vorzunehmen. Selbstverständlich ist hierbei der Einfluß der durch die Wellenbewegung des Wassers verursachten Schwankungen in geeigneter Weise zu eliminieren.

Entsprechende Mittelbildungen aus diesen Beobachtungen geben ein ziemlich genaues Bild der Gefällsverhältnisse an der Meßstelle und ermöglichen, bei genügend vielen verschiedenen Wasserständen vorgenommen, auch die Aufstellung der zwischen dem Gefälle und dem Wasserstande bestehenden Relation.

Für die hydrometrische Erhebung ist im allgemeinen die Gefällslinie des Stromstriches maßgebend; es werden daher eventuelle Abweichungen in den gleichzeitig an den gegenüberliegenden Pegeln eines Profiles erhobenen Wasserstandshöhen in der Weise ausgeglichen, daß die konstatierten Differenzen nach Maßgabe des einfachen Verhältnisses des Stromstrichabstandes vom Ufer zur Flußbreite auf die Pegelablesungen aufgeteilt werden.

Die Ergebnisse der Gefällsbestimmung sind in einer Tabelle zusammenzufassen.

e) Die Erhebung der Wassergeschwindigkeit im Messungsprofile.

1. Meßapparate.

Dieselben sind vorhin bereits eingehend erörtert worden (S. 149—172).

2. Schwimmermessungen.

Hierüber ist bereits S. 150 gesprochen worden.

3. Flügelmessungen.

1. Die Durchführung von Flügelmessungen ist, wenn nicht etwa bestehende Überbrückungen benützt

werden können, von einer auf zwei flachgehenden Kähnen aufgebauten Plattform aus zu bewerkstelligen. Damit die den Flügel bei der Messung treffenden Wasserfäden in ihrem regelmäßigen Laufe nicht gestört werden, hat die Entfernung der nebeneinander gekuppelten Kähne mindestens 2—3 m zu betragen.

Auf der Plattform ist möglichst weit vorne zwischen den Kähnen eine Stellvorrichtung für die Flügelstange anzubringen.

Um eine sichere Einstellung des Flügels in einem bestimmten Profilverpunkte zu ermöglichen, müssen die Kähne stromauf- und seitwärts, sowie erforderlichenfalls auch stromabwärts entsprechend verspannt oder verankert werden.

2. Es ist früher schon davon die Rede gewesen, daß man bei Flügelmessungen das Flußprofil in gewissen Abständen durch Lotrechte unterteilt und in jeder Lotrechten an einer Anzahl von Punkten den Flügel in Aktion zu setzen hat, um die mittlere Geschwindigkeit in der Lotrechten in der vorhin angegebenen Weise bestimmen zu können. Diese mittlere Geschwindigkeit gilt dann für jenen Flächenstreifen des Flußprofils, der durch die Mittellinien der an die Messungslotrechte rechts und links anliegenden Flächenteile begrenzt ist.

Ist z. B. die Lotrechte II von der Lotrechten I x Meter und von der Lotrechten III y Meter entfernt, so gilt bei der Berechnung der Wassermenge die mittlere Geschwindigkeit der Lotrechten II für den Profillächenteil von der Breite

$$\frac{x}{2} + \frac{y}{2} \text{ oder } \frac{x + y}{2}.$$

Die Lotrechten, in welchen die Flügelmessungen vorgenommen werden, sind womöglich an die Bruch-

punkte der Sohlenlinie zu verlegen und in der Nähe des Stromstriches und der Ufer sowie an Stellen, wo Unregelmäßigkeiten in der Wasserbewegung zu bemerken sind, relativ dichter aneinander zu reihen. (Siehe die Abb. 21, Seite 148.)

Der Abstand der Lotrechten voneinander soll möglichst gering sein und keinesfalls mehr als ein Siebentel der Flußbreite betragen.

Sind Anzeichen dafür vorhanden, daß sich während der Gesamtdauer der Geschwindigkeitsmessung ein wesentlicher Wechsel des Wasserstandes vollziehen werde, so ist die Zahl der Lotrechten möglichst zu beschränken, da die Genauigkeit der Erhebungen durch diese Beschränkung weniger beeinträchtigt wird als durch den Wasserstandswechsel.

Bei der Austeilung der Lotrechten ist ferner anzustreben, daß eine möglichst große Zahl derselben für alle Messungen beibehalten werden kann, die an derselben Stelle bei verschiedenen Wasserständen durchzuführen sind.

3. Der Standpunkt der Flügelstange ist für jede Lotrechte entweder durch direktes Einvisieren und Einmessen bzw. durch Einmessen an einem im Meßprofile über das Gewässer gespannten, eingeteilten Seile oder durch Winkelbestimmung festzulegen.

4. Die Achse des Flügels ist während der Messung stets normal zur Ebene des Meßprofiles zu halten und diese Flügelstellung durch eine an der Flügelstange anzubringende Visiervorrichtung zu kontrollieren.

Bei schiefer Wasseranpralle gibt der Flügel die Geschwindigkeit des Wassers im Meßpunkte nicht vollkommen genau an. Der bezügliche Fehler ist von der Größe des Einfallswinkels und der vorwaltenden Geschwindigkeit, sowie von dem Werte des dem Flügel

zukommenden Reibungskoeffizienten abhängig und beträgt schon bei einem Einfallswinkel von 20° zirka 5 % des wirklichen Wertes. Ein Profil, in welchem der Stromstrich von der hiezu normalen Lage um mehr als 20° abweicht, ist daher zur Messung der Wassergeschwindigkeiten ungeeignet.

5. Sowohl zu Beginn als auch während der Flügelmessungen in jeder Lotrechten ist an der Flügelstange die dort bestehende Wassertiefe zu beobachten; die sich hierbei ergebenden Veränderungen des Tiefenmaßes sind in entsprechender Weise in Rechnung zu ziehen.

6. Die vorhandene Wassertiefe und die für die Durchführung der Flügelmessung verfügbare Zeit werden im allgemeinen für die Anzahl der in jeder Lotrechten zu wählenden Meßpunkte ausschlaggebend sein.

Bei der Austeilung der Meßpunkte ist zu beachten, daß bei gleicher Gesamtdauer der Flügelmessungen in der Lotrechten jene Anordnung den Vorzug verdient, durch welche bei geringerer Zahl von Meßpunkten länger andauernde Einzelbeobachtungen erzielt werden.

Für die Entfernung eines Meßpunktes von dem anderen in einer und derselben Vertikalen ist im allgemeinen als Minimum die Höhe der Flügelschaukel und als Maximum die Distanz von zirka 1 m anzunehmen.

Bei genügender Wassertiefe sind unter allen Umständen in jeder Lotrechten vier Meßpunkte anzunehmen, und zwar:

einer nahe der Flußsohle über dem Bereiche der Geschiebeführung;

ein zweiter in möglichster Nähe der Wasseroberfläche bei noch voll eintauchendem Flügel;

die übrigen zwei in solcher Lage, daß die gegenseitige Entfernung aller vier Punkte gleich ist.

Bei nicht genügender Wassertiefe muß man sich auf drei, eventuell auf zwei oder einen Punkt beschränken.

Bei kleinen Tiefen wird es vorteilhaft sein, sich einer kleinen Flügeltype (der sogenannten Taschenflügel) zu bedienen.

7. Um von den Einflüssen einer eventuell durch das Einsetzen der Flügelstange hervorgerufenen Auskolkung des Flußbettes möglichst unabhängig zu sein, ist in jeder Lotrechten mit den Flügelmessungen an der Sohle zu beginnen.

8. Für die Dauer der Flügelmessung in jedem einzelnen Punkte hat im allgemeinen die Zeit von 180 Sekunden bei ruhiger und von 300 Sekunden bei unruhiger Wasserbewegung als Minimum zu gelten.

Während einer Messung sind nach je einer gleich großen Anzahl von Flügelumdrehungen, etwa nach 50, Zwischenbeobachtungen am Chronoskope (an der Stopuhr) zu machen. Solche Beobachtungen empfehlen sich auch bei Anwendung von Apparaten, welche die Geschwindigkeit ihrem Werte nach selbst angeben (Indikatoren).

Bei einem daraus zu folgernden zweifellos regelmäßigen Gang der Flügelbewegung kann die Dauer der Messung in einem Punkte bis auf 120 Sekunden reduziert werden, wenn die Notwendigkeit einer Abkürzung der gesamten Erhebungszeit vorliegt. Bei unregelmäßiger Flügelbewegung ist die früher angegebene Messungsdauer von 300 Sekunden zu verlängern.

Sind die Unregelmäßigkeiten der Flügelbewegung besonders auffallend, so hat der Beobachter sich zu überzeugen, ob der Flügel nicht etwa beschädigt oder

in seinen Umdrehungen durch einen angeschwemmten Körper behindert ist, und sodann die Messung zu wiederholen. Bei geschiefbeführenden Gewässern genügt zur Beseitigung einer Unregelmäßigkeit in der Flügelbewegung am tiefsten Punkte der Lotrechten meistens eine geringe Hebung des Flügels. Bei eventuellen Beschädigungen des Flügels ist genauestens vorzumerken, welche Messungen mit dem beschädigten Instrumente vorgenommen worden sind.

9. Die Beobachtungsergebnisse sind in ein Handbüchlein (Beilage A, Seite 191—195) einzutragen.

f) Die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in den Lotrechten und die Berechnung des wahren mittleren Messungswasserstandes.

1. Die mittlere Geschwindigkeit in jeder Lotrechten ist derart zu bestimmen, daß

- a) die Messungsvertikale mit den Messungspunkten in einem gewissen Verjüngungsmaßstabe dargestellt,
- b) die in jedem Meßpunkte erhobene Geschwindigkeit normal zur Linie der Messungsvertikalen aufgetragen,
- c) durch die so erhaltenen Endpunkte eine vermittelnde Kurve (Geschwindigkeitskurve) gelegt,
- d) die durch diese Kurve, durch die Lotrechte, sowie durch die darauf Normalen im Wasserspiegel und an der Sohle begrenzte Fläche (Geschwindigkeitsfläche) mit Hilfe eines Planimeters dem Inhalte nach ermittelt und endlich
- e) das bezügliche Flächenausmaß durch das Maß der Wassertiefe dividiert wird.

Die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in einer Meßvertikalen ist niemals für sich unabhängig

Gewässer:

Beilage A.

Flügelmessung

im Querprofile km bei

Datum

Dauer der Messung von bis

Verwendeter Flügel

Flügelgleichung: $v =$

Schematische Darstellung der Austeilung der Lotrechten.

Messungsleiter:

Nummer der Lotrechten (<i>Nr.</i>)		
Abstand der Lotrechten vom.....Ufer (<i>Ab.</i>)		
Tageszeit der Beobachtung (<i>Z</i>)		
Wasserstand (<i>h</i>)		
Wassertiefe an der Lotrechten (<i>t</i>)		
Abstand der Flügelachse von der Oberfläche (<i>A₀</i>)		
Beobachtungsergebnisse	z = Ablesungen am Chronoskope N = Anzahl der Umdrehungen Δz = Zeit in Sekunden	von einer Zwischenbeobachtung bis zur nächsten
	Gesamtzeit u. Gesamtzahl der Umdrehungen	
Rechnungsergebnisse	Mittlere Umdrehungszahl pro Sekunde	
	Geschwindigkeit pro Sekunde	
Abstand der Flügelachse von der Oberfläche (<i>A₀</i>)		
Beobachtungsergebnisse	z = Ablesungen am Chronoskope N = Anzahl der Umdrehungen Δz = Zeit in Sekunden	von einer Zwischenbeobachtung bis zur nächsten
	Gesamtzeit u. Gesamtzahl der Umdrehungen	
Rechnungsergebnisse	Mittlere Umdrehungszahl pro Sekunde	
	Geschwindigkeit pro Sekunde	
Anmerkung: [insbesondere über Witterungsverhältnisse (Wind) und über während der Messung eingetretene Vorfälle (zum Beispiel Vorbeifahren von Schiffen usw.).]		

<i>Nr.</i>								
<i>Ab.</i>								
<i>Z</i>								
<i>h</i>								
<i>t</i>								
<i>A₀</i>			<i>A₀</i>			<i>A₀</i>		
<i>z</i>	<i>N</i>	Δz	<i>z</i>	<i>N</i>	Δz	<i>z</i>	<i>N</i>	Δz
Σ			Σ			Σ		
<i>n</i>			<i>n</i>			<i>n</i>		
<i>v</i>			<i>v</i>			<i>v</i>		
<i>A₀</i>			<i>A₀</i>			<i>A₀</i>		
<i>z</i>	<i>N</i>	Δz	<i>z</i>	<i>N</i>	Δz	<i>z</i>	<i>N</i>	Δz
Σ			Σ			Σ		
<i>n</i>			<i>n</i>			<i>n</i>		
<i>v</i>			<i>v</i>			<i>v</i>		

Nr.								
Ab.								
Z								
h								
t								
A ₀			A ₀			A ₀		
z	N	Δz	z	N	Δz	z	N	Δz
Σ			Σ			Σ		
n			n			n		
v			v			v		
A ₀			A ₀			A ₀		
z	N	Δz	z	N	Δz	z	N	Δz
Σ			Σ			Σ		
n			n			n		
v			v			v		

durchzuführen, da sonst dem Zeichnen der Geschwindigkeitskurve mitunter ein zu weiter Spielraum gelassen wird. Es sind vielmehr vor dieser Bestimmung die vermittelnden Kurven für alle Lotrechten eines Meßprofiles in Nebeneinanderstellung zu zeichnen, um so über den richtigen Verlauf der Diagramme Anhaltspunkte, und zwar selbst in dem Falle zu gewinnen, als in einzelnen Lotrechten dieses Meßprofiles nur an drei, zwei oder einem Punkte die Geschwindigkeit gemessen wurde.

Eine schätzenswerte Direktive für eine allfällige Korrektur dieser so erhaltenen Geschwindigkeitsdiagramme wird ferner auch noch dadurch erhalten, daß über dem Meßwasserspiegel im Querprofilplane in den einzelnen Meßvertikalen die aus den eben bezeichneten Diagrammen entnommenen Oberflächen- und Sohlengeschwindigkeitsmaße (wie in Abb. 19, Seite 146) aufgetragen und durch je einen Linienzug miteinander verbunden werden. Diese beiden Kurven müssen sodann dem Profilscharakter entsprechend einen gewissen gesetzmäßigen kontinuierlichen Verlauf aufweisen. Sind daher in diesen Kurven unmotiviert Schwankungen wahrzunehmen, so sind dieselben auszugleichen und die aus diesen Profilskurven entnommenen Werte in die eingangs bezeichneten Geschwindigkeitsdiagramme, und zwar als oberstes (Wasserspiegel) bzw. als unterstes (Sohle) Maß, einzuführen. Es wird sodann auch die maßgebende Profilskurve der einzelnen mittleren Geschwindigkeiten der Lotrechten, wenn sie analog gezeichnet wird, einen kontinuierlichen, dem Profile entsprechenden Verlauf aufweisen.

2. Wurde an der Meßstelle während der Geschwindigkeitserhebung eine Wasserspiegelschwankung von

mehr als 5 cm beobachtet, so sind die Ergebnisse dieser Beobachtungen auszugleichen.

Dieser Ausgleich erfolgt durch die Bestimmung des wahren mittleren Messungswasserstandes H_m aus der Formel

$$H_m = \frac{q_1 h_1 + q_2 h_2 + \dots + q_n h_n}{q_1 + q_2 + \dots + q_n} = \frac{\sum qh}{\sum q},$$

worin (vergl. nachstehende Abb. 35) h_1, h_2, \dots, h_n die in den Lotrechten erhobenen Wasserstände und $q_1 = f_1 v_{m_1}, q_2 = f_2 v_{m_2}, \dots, q_n = f_n v_{m_n}$ die Einzeldurchflußmengen, das sind die Produkte aus den Flächen der auf die einzelnen Lotrechten entfallenden

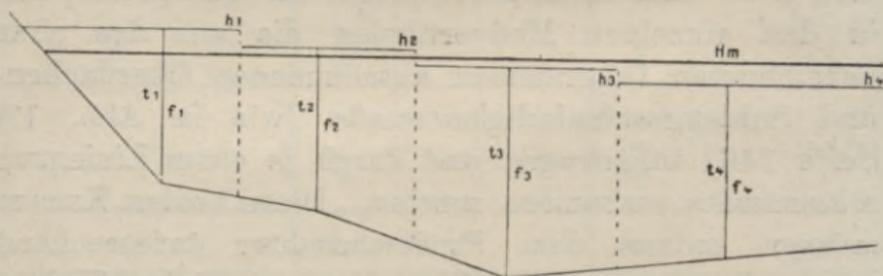


Abb. 35.

Profilsabschnitte f_1, f_2, \dots, f_n und den zugehörigen (ausgeglichenen) mittleren Geschwindigkeitswerten $v_{m_1}, v_{m_2}, \dots, v_{m_n}$, bezeichnen. Hierbei ist jedoch als die der jeweiligen Teilfläche f zugehörige mittlere Geschwindigkeit nicht die wirkliche, in der betreffenden Lotrechten erhobene, sondern die für die bezügliche Lamellenbreite ausgeglichene Geschwindigkeit anzusehen.

Sind nur Oberflächengeschwindigkeiten (v_o) erhoben worden, so kann der wahre mittlere Messungswasserstand ebenfalls nach der vorstehenden Formel berechnet werden; doch sind in dieselbe anstatt der

mittleren Geschwindigkeiten die Oberflächengeschwindigkeiten einzusetzen.

3. Hat die Wasserstandsänderung während der Flügelmessung das Maß von 5 cm nicht überschritten, dann genügt es zumeist, dasjenige Niveau der Wasseroberfläche als wahre mittlere Wasserstandshöhe anzunehmen, welches zur Zeit der Messung in der die größte mittlere Geschwindigkeit aufweisenden Lotrechten erhoben wurde.

4. Um ein übersichtliches Bild über die Variation der Geschwindigkeit im Meßprofile zu erhalten, ist für jede mehr detailliert durchgeführte Flügelmessung womöglich der Verlauf der die Punkte gleicher Geschwindigkeit verbindenden Kurven, der sogenannten *Isotachen*, in einen Querprofilsplan einzuzeichnen.

Punkte der *Isotachen* werden erhalten, indem man die Geschwindigkeitsflächen der Lotrechten durch zu den letzteren parallele Linien nach gleichen Geschwindigkeitsdifferenzen unterteilt und die Schnittpunkte dieser Hilfslinien mit den Geschwindigkeitskurven in den Querprofilsplan überträgt.

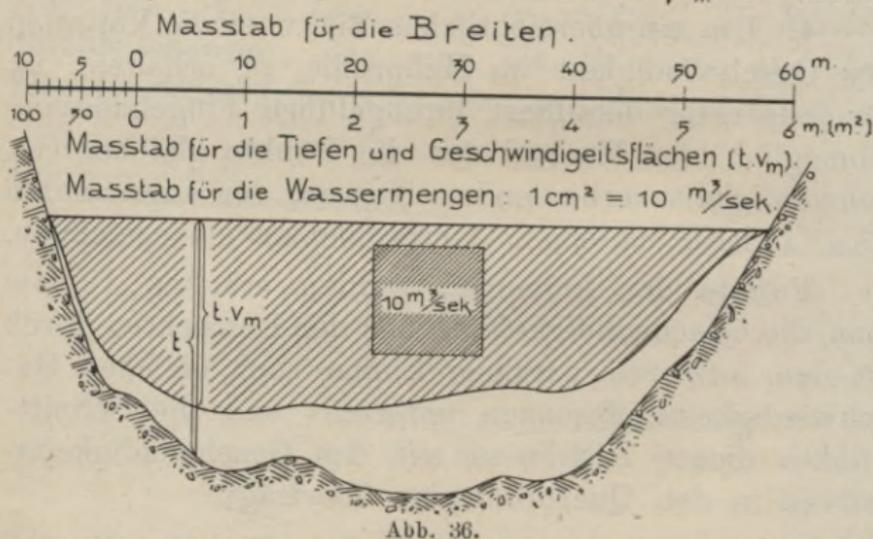
5. (Die Integrationsmethode.) Für die Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit in der Lotrechten hat Harlacher ein Verfahren gefunden, nach welchem man durch eine einzige Messung zum Ziele gelangen kann. Die Methode, genannt die mechanische Integrationsmethode, besteht darin, daß der hydro-metrische Flügel an der Führungsstange mittels einer Winde vom Wasserspiegel nach abwärts bis zur Sohle mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit bewegt wird. Die während der Abwärtsbewegung vollzogenen Umdrehungen der Flügelschaukel entsprechen der mittleren Wassergeschwindigkeit in der Lotrechten.

g) Die Berechnung der Abflussmenge aus den mittleren Geschwindigkeiten in den Lotrechten.

Die Abflussmenge Q kann auf drei verschiedene Arten bestimmt werden:

1. Auf rechnerischem Wege.

Wenn v_m die mittlere Geschwindigkeit in einer Lotrechten und f die Fläche des dieser Lotrechten zugehörigen Teiles des Flußprofils (siehe Punkt 2, Seite 186) bedeutet, so ist das Produkt fv_m die durch



diesen Profilteil abfließende Wassermenge und die Summe (Σ) aller fv_m gleich der Gesamtabflussmenge Q für das ganze Flußprofil

$$Q = \Sigma fv_m.$$

2. Auf graphischem Wege.

In einem Querprofilplane (siehe vorstehende Abb. 36) werden in den einzelnen Lotrechten die Ausmaße der Geschwindigkeitsflächen von dem Messungswasserstande H_m nach abwärts aufgetragen. Durch die Verbindung der so gewonnenen Punkte ergibt sich die Abflussmengenkurve und durch die Planimetrierung

der von dieser Kurve und der Wasserspiegellinie eingeschlossenen Fläche der Wert der Abflußmenge.

3. Nach der Methode von Harlacher.

Man zeichnet (nachfolgende Abb. 37) die Lotrechten, für welche die mittleren Geschwindigkeiten erhoben worden sind, in den Flußprofilsplan ein, trägt die mittleren Geschwindigkeiten über jeder Lotrechten vom Wasserspiegel nach oben auf und verbindet die Endpunkte. Man erhält so zunächst die Linie der mittleren Geschwindigkeiten.

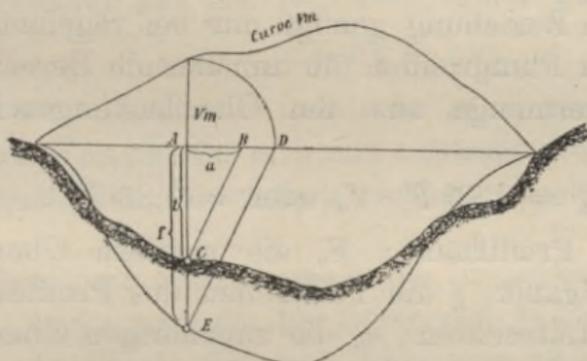


Abb. 37.

Man trägt dann in der Wasserspiegellinie von dem oberen Ende der Lotrechten aus das zugehörige v_m (in der Abb. 37, AD) und eine beliebig gewählte Strecke a (AB gleich einer Längeneinheit oder einem Vielfachen der Längeneinheit) auf, verbindet den Endpunkt von a (B) mit dem Sohlenpunkte (C), zieht von D eine Parallele zu BC , so erhält man den Punkt E . Führt man dies in allen Vertikalen durch und verbindet die Punkte E , so erhält man eine Fläche F' , die durch die Wasserstandslinie und durch die Kurve der E begrenzt ist; diese (planimetrisch zu messende) Fläche F' multipliziert mit der Basis a gibt die Abflußmenge:

$$Q = F' \cdot a.$$

h) Die Bestimmung der Abflussmenge aus den Oberflächengeschwindigkeiten.

Um aus den Oberflächengeschwindigkeiten die Wassermenge berechnen zu können, ist es erforderlich, daß man das Verhältnis der Oberflächengeschwindigkeit zur mittleren Geschwindigkeit kennt oder überhaupt eine Beziehung zwischen den beiden Geschwindigkeitswerten ausfindig macht.

Man hat gefunden, daß

$$v_m = 0,85 v_o$$

ist. Diese Beziehung genügt nur bei regelmäßig ausgestalteten Flußprofilen für annähernde Berechnungen der Wassermenge aus den Oberflächengeschwindigkeiten.

$$Q = 0,85 F \cdot V_o \text{ oder } = 0,85 \sum f v_o$$

(F = die Profillfläche; V_o die mittlere Oberflächengeschwindigkeit; f die Teilflächen des Profiles für die einzelnen Lotrechten; v_o die zugehörigen Oberflächengeschwindigkeiten). Genaue Untersuchungen¹ haben

ergeben, daß das Verhältnis $\frac{v_m}{v_o}$ durchaus nicht eine

konstante Größe ist, daß die Ermittlung der Wassermenge aus den Oberflächengeschwindigkeiten vielmehr die Kenntnis der Beziehung des Verhältnisses

$\frac{\sum f v_m}{\sum f v_o}$ zum Wasserstande voraussetzt.

Es ist dann

$$Q = \left(\frac{\sum f v_m}{\sum f v_o} \right) \sum f v_o$$

¹ Siehe die mehrmals erwähnte Publikation des Hydrographischen Zentralbureaus in Wien über die Donaumessungen bei Wien 1897. Heft 3 der „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“, Seite 33—37.

Hat man in einem Meßprofile durch eine genügende Anzahl von Messungen der mittleren und der Oberflächengeschwindigkeiten bei verschiedenen (mindestens drei) Wasserständen das Verhältnis

$$x = \frac{\Sigma f v_m}{\Sigma f v_o}$$

berechnet, so läßt sich der Wert von x für andere Wasserstände y aus der Gleichung einer Geraden

$$x = a + b y$$

oder genauer aus der Gleichung einer Parabel

$$x = a + b y + c y^2$$

bestimmen.

Die Konstanten a , b und c müssen aus tatsächlich durchgeführten Messungen vorher abgeleitet worden sein.

Graphisch erhält man die unbekanntenen Werte für x , wenn man die bei mehreren Wasserständen y erhobenen Werte von x als Abszissen und die Wasserstände als Ordinaten in ein Koordinatensystem einträgt und die Relationslinie zeichnet.

Die Relationslinie ergibt dann für jeden beliebigen Wasserstand die Werte von x .

Die Notwendigkeit, sich bei der Berechnung der Abflußmengen der Oberflächengeschwindigkeiten bedienen zu müssen, tritt hauptsächlich bei Hochwässern zutage, da man bei hohen Wasserständen Schwierigkeiten hat, vollständige Messungen durchzuführen. Häufig wird man bei Hochwasser das eigentliche Meßprofil verlassen und die Oberflächengeschwindigkeiten von einer benachbarten Brücke aus bewerkstelligen müssen. Es kommen dann die Werte $\Sigma f v_m$ des Meßprofiles mit den Werten $\Sigma f v_o$ des Brückenprofiles in Kombination.

i) Die Berechnung der mittleren Profilvergeschwindigkeit.

Hat man die Wassermenge Q nach einer der besprochenen Methoden gefunden, so ergibt sich die mittlere Profilvergeschwindigkeit V_m aus dem Quotienten der Wassermenge durch die Profillfläche F :

$$V_m = \frac{Q}{F}.$$

Geschwindigkeitsformeln.

Nicht immer ist man in der Lage, die Geschwindigkeit des Wassers in den offenen Gerinnen durch Messungen erheben bzw. dieselbe bei genügend vielen Wasserständen messen zu können, um die sogenannte Konsumtionskurve für das betreffende Flußprofil zu erhalten.

Man ist dann gezwungen, zur theoretischen Bestimmung der Wassergeschwindigkeit mit Hilfe von mathematischen bzw. hydraulischen Formeln die Zuflucht und dabei die Nachteile dieser Methoden mit in Kauf zu nehmen, welche Nachteile auf der Unsicherheit der Erfahrungskoeffizienten beruhen, die bei den meisten dieser Formeln zur Anwendung kommen.

Die Grundformel für die mittlere Geschwindigkeit v des Wassers in Kanälen und regelmäßigen Flußstrecken (unter der Annahme einer gleichförmigen Bewegung) ist nach Darcy und Bazin:

$$v = k \sqrt{RJ}.$$

In dieser Formel bedeutet R das Verhältnis der Profillfläche F des Flusses zu dem benetzten Umfange p (Länge der Ufer- und Sohlenlinien unter Wasser)

$$R = \frac{F}{p}.$$

Dieses Verhältnis bzw. R wird der Profilradius oder die hydraulische Tiefe genannt.

J ist das Zeichen für das Wasserspiegelgefälle der Flußstrecke, d. i. das Verhältnis des Höhenunterschiedes der Enden der Flußstrecke H zu der Länge L der Flußstrecke.

$$J = \frac{H}{L}.$$

Ist z. B. der Wasserspiegel an dem oberen Ende einer 1000 m langen Flußstrecke um 1 m höher als der Wasserspiegel am unteren Ende der Strecke, so ist

$$J = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ (ein Permille).}$$

k ist der Rauigkeitskoeffizient.

Derselbe nimmt je nach der Größe des Profilradius und nach der Beschaffenheit der Kanalwände bzw. der Ufer und der Sohle die in der Tabelle XVII (Seite 204 und 205) angegebenen Werte¹ an.

Die derzeit am häufigsten angewendete Formel ist jene von Ganguillet und Kutter

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{RJ}.$$

Für den Rauigkeitsgrad n kommen je nach der Beschaffenheit der Kanalwände bzw. der Ufer und der Sohle die folgenden Werte in Rechnung:

1. für Gerinne aus gehobelten Brettern
oder mit glatten Zementputz-
wänden $n = 0,010$
2. für Gerinne aus rauhen Brettern . $n = 0,012$

¹ Nach Weisbach näherungsweise $k = 50$.

Tabelle XVII

der Koeffizienten k in der Formel $v = k \sqrt{RJ}$
nach Darcy und Bazin.

Werte des mittleren Radius oder der hydraulischen Tiefe $\frac{F}{p} = R$	Für sehr gut verbundene Wände aus glattem Zement oder gehobeltem gut gefügtem Holze	Für Wände aus Zement mit Sand aus behauenen Steinen, aus Ziegeln oder aus gewöhnlichen Brettern	Für nicht sehr glatte Wände oder für Mauerwerk aus Bruchsteinen	Für Wände aus Erde
0,01	40,8	—	—	—
0,02	51,6	34,2	—	—
0,03	57,7	39,7	—	—
0,04	61,7	43,8	—	—
0,05	64,6	46,8	26,4	—
0,06	66,7	49,3	28,4	—
0,07	68,3	51,3	30,2	—
0,08	69,6	53,0	31,8	—
0,09	70,7	54,4	33,2	—
0,10	71,6	55,6	34,5	16,3
0,11	72,4	57,7	35,7	17,0
0,12	73,0	57,7	36,8	17,7
0,13	73,6	58,5	37,8	18,3
0,14	74,1	59,2	38,7	19,0
0,15	74,5	59,9	39,5	19,6
0,16	74,9	60,5	40,3	20,1
0,17	75,3	61,1	41,1	20,7
0,18	75,6	61,6	41,8	21,2
0,19	75,9	62,0	42,4	21,7
0,20	76,1	62,4	43,0	22,2
0,21	76,4	62,8	43,6	22,7
0,25	77,2	64,1	45,6	24,4
0,30	77,9	65,3	47,7	26,3
0,35	78,4	66,2	49,3	28,0
0,40	78,8	66,9	50,6	29,4
0,45	79,1	67,5	51,8	30,7
0,50	79,3	67,9	52,7	31,9
0,60	79,7	68,7	54,2	34,0
0,70	80,0	69,2	55,4	35,8
0,80	80,2	69,6	56,3	37,3
0,90	80,3	69,9	57,1	38,7
1,00	80,4	70,1	57,7	39,8
1,10	80,6	70,3	58,3	40,9
1,20	80,6	70,5	58,7	41,8
1,30	80,7	70,7	59,1	42,7

Tabelle XVII (Fortsetzung).

Werte des mittleren Radius oder der hydraulischen Tiefe $\frac{F}{p} = R$	Für sehr gut verbundene Wände aus glattem Zement oder gehobeltem gut gefügtem Holze	Für Wände aus Zement mit Sand aus behauenen Steinen, aus Ziegeln oder aus gewöhnlichen Brettern	Für nicht sehr glatte Wände oder für Mauerwerk aus Bruchsteinen	Für Wände aus Erde
1,40	80,8	70,8	59,5	43,4
1,50	80,8	70,9	59,8	44,1
1,60	80,9	71,0	60,0	44,8
1,70	80,9	71,1	60,3	45,4
1,80	81,0	71,2	60,5	45,9
1,90	81,0	71,2	60,7	46,4
2,00	81,0	71,3	60,9	46,9
2,50	81,2	71,6	61,5	48,8
3,00	81,2	71,7	62,0	50,2
3,50	81,3	71,8	62,3	51,3
4,00	81,3	71,9	62,6	52,2
5,00	81,4	72,0	63,0	53,5
6,00	81,4	72,1	63,2	54,4

3. für Kanäle aus Quadern, Klinkern
oder gut gefügten Backsteinen . . . $n = 0,013$
4. für Gerinne aus Bruchstein . . . $n = 0,017$
5. für Kanäle in Erde mit ebener Sohle
und gemauerten Seitenwänden,
sorgfältig erhalten; Wasser ohne
Sinkstoffe $n = 0,020$
6. für Flüsse und Bäche, Kanäle in
Erde $n = 0,025$
7. für Flüsse mit größerem Geschiebe
und Pflanzenwuchs $n = 0,030$
8. für Flüsse schlecht erhalten, Wasser-
pflanzen und Geschiebe $n = 0,035$

Für Gefälle J größer als 0,0005 haben Ganguillet und Kutter ihre Formel umgestaltet:

$$v = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \cdot \sqrt{RJ}.$$

Die Werte von m sind nach den folgenden Gerinnearten zu unterscheiden:

	m
Halbkreisförmiges Gerinne in glattem Zementverputz	0,12
Rechtwinkeliges Gerinne in Zement oder gehobeltem Holz	0,15
Rechtwinkeliges Gerinne in gut gefügten Brettern	0,20
Rechtwinkeliges Gerinne in rauhen Brettern, Quader- oder gutem Ziegelmauerwerk .	0,25
Rechtwinkeliges Gerinne in ordinärem Ziegelmauerwerk und Bohlenwänden	0,35
Rechtwinkeliges Gerinne in gewöhnlichem Mörtelmauerwerk von gespitzten Steinen	0,45
Rechtwinkeliges Gerinne in Bruchsteinmauerwerk	0,55
Rechtwinkeliges Gerinne in Bruchsteinmauerwerk, schlammige Sohle	0,75
Rechtwinkeliges Gerinne, altes Mauerwerk, schlammige Sohle	1,00
Trapezförmiges Gerinne, felsiger Boden, Sohle unter 1,5 m breit	1,25
Trapezförmiges Gerinne, sehr regelmäßiger Erdkanal ohne Pflanzen	1,50
Trapezförmiges Gerinne in Erde mit schlammiger oder steiniger Sohle mit wenig Wasserpflanzen, Sohle über 2,0 m breit	1,75
Trapezförmiges Gerinne, mangelhaft erhaltenes Trockenmauerwerk, mit Moos und Pflanzen bedeckt, Sohle nicht über 1,5 m breit .	2,00
Trapezförmiges Gerinne, Erdkanal mit ziemlich vielen Wasserpflanzen, Bäche und Flüsse wie die Seine, die Weser	2,00
Trapezförmiges Gerinne, Erdkanal mit vielen Wasserpflanzen, schlammiger Sohle, Gewässer mit Geschieben	2,50

Für kleine regelmäßige Gerinne haben Darcy und Bazin die Formel angewendet

$$v = \sqrt{\frac{RJ}{a + \frac{\beta}{R}}}$$

Die neueste Geschwindigkeitsformel von Bazin lautet:

$$v = \frac{87 \sqrt{RJ}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

In diesen zwei Formeln sind die Werte a , β und γ nach dem folgenden Schema zu wählen:

für sehr ebene Wände

(Zementverputz oder
gehobelte Holzver-
kleidung)

a	β	γ
0,00015	0,0000045	0,06

für ebene Wände (be-
hauene Steine, Boh-
lenwände)

0,00019	0,0000133	0,16
---------	-----------	------

wenig ebene Wände
(unverputztes Mauer-
werk)

0,00024	0,000060	0,46
---------	----------	------

Erdwände oder ge-
pflasterte Böschungen

0,00028	0,000350	0,85
---------	----------	------

Gerölle 0,00040 0,0007 1,30—1,7

Im österreichischen hydrographischen Dienste finden die Formeln von Siedek¹ in neuester Zeit die häufigste Anwendung:

¹ R. Siedek, Studie über eine neue Formel zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen und Strömen. Wien, Wilhelm Braumüller, 1901.

Derselbe, Studie über eine neue Formel zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Wassers in Bächen und künstlichen Gerinnen. Wien, Wilhelm Braumüller, 1903.

Zusammenstellung

der Siedekschen Formeln zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in künstlichen und natürlichen Gerinnen.

Tabelle XVIII.

Art	Wasser- spiegel- breite	Mittlere Tiefe	Ist die Wasser- spiegelbreite kleiner oder größer als die 15fache mittlere Tiefe?	Formel zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit
der Gerinne				
Künst- liche Ge- rinne	von 1—3 m	unter 1 m	·/.	$V = \left(\frac{F_i w}{\sqrt{T}} + F_k \right) \frac{v'}{F}$
		über 1 m	·/.	$V = (F_i w + F_k) \frac{v'}{F}$
	über 3 m	unter 1 m	kleiner	$V = \left(\frac{F_i w}{\sqrt{T}} + F_k \right) \frac{v'''}{F}$
			größer	$V = \left(\frac{F_i w}{\sqrt{T}} + F_k \right) \frac{v''}{F}$
		über 1 m	kleiner	$V = (F_i w + F_k) \frac{v'''}{F}$
			größer	$V = (F_i w + F_k) \frac{v''}{F}$
Natür- liche Ge- rinne	von 1—3 m	·/.	·/.	$V = v'$
	über 3 m	·/.	kleiner	$V = v'''$
			größer	$V = v''$

Anmerkung.

$$\left. \begin{aligned}
 v' &= \frac{T \sqrt{J}}{\sqrt[20]{B} \sqrt{0,001}} \\
 v'' &= v' + \frac{T - T_n}{\alpha} + \frac{J - J_n}{\beta (J + J_n)} + v' \frac{T_n - T}{\gamma} \\
 v''' &= v'' + \frac{T_n - T}{\sqrt{B}}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Die Werte von} \\ \alpha, \beta, \gamma \text{ sind aus} \\ \text{der Tabelle XIX} \\ \text{(Seite 210) zu ent-} \\ \text{nehmen.} \end{array}$$

Tabelle XVIII (Fortsetzung).

w = Widerstandskoeffizient ist aus Tabelle XX (Seite 211) zu entnehmen.

F_i = Fläche des 0,5 m breiten Influenzstreifens.

F_k = Flächen des verbleibenden Kernes.

$$T_n = \sqrt[3]{0,0175 B - 0,0125}.$$

Für Breiten unter 10 m ist:

$$J_n = 0,01165 - \sqrt[3]{0,0000582 + 0,00000552 B}.$$

Für Breiten über 10 m bis 415 m ist:

$$J_n = 0,0010222 - 0,00000222 B.$$

Für Breiten über 415 m ist: $J_n = 0,0001$.

Die Anwendung dieser Formeln setzt eine sorgfältige Gefällserhebung voraus.

Auf Grund der Erfahrung wird als in diese Formeln einzusetzendes Gefälle bei einer Flußbreite von mehr als 10 m jenes angesehen, welches der geraden Verbindungslinie zweier Punkte der Gefällslinie des Stromstriches entspricht, von denen der eine zwei Flußbreiten oberhalb und der andere eine Flußbreite unterhalb des Flußprofils, für welches v bestimmt werden soll, gelegen ist. Bei einer Breite unter 10 m sind die beiden Punkte 20 m oberhalb und 10 m unterhalb des Flußprofils anzunehmen, wenn nicht etwa (wie bei sehr gekrümmten Wasserläufen) eine Verminderung dieser Distanz geboten ist.

T. Christen¹ hat für die Wassergeschwindigkeit die Fundamentalformel aufgestellt:

$$v = \frac{k}{\sqrt[4]{B}} \sqrt[3]{QJ}$$

¹ „Das Gesetz der Translation des Wassers in regelmäßigen Kanälen, Flüssen und Röhren“ von T. Christen. Leipzig 1903.

Tabelle XIX.
Werte der Koeffizienten α , β und γ .

Bei einer Tiefe T wenn $T > T_n$ oder T_n wenn $T_n > T$ ist	α	Bei einem Gefälle J von		β		Bei der Differenz $T_n - T$	γ	
		$J > J_n$	$J < J_n$	$J > J_n$	$J < J_n$		$J > J_n$	$J < J_n$
von 0,0 bis 0,3 m	1	0,006 bis 0,005						
" 0,3 " 0,5 "	1,5	0,005 " 0,004	6—5				2	1
" 0,5 " 1,0 "	2	0,004 " 0,003	5—4				2	0,75
" 1,0 " 1,5 "	3	0,003 " 0,002	4—3				1	0,5
" 1,5 " 2,0 "	4	0,002 " 0,001	3—2				10	10
" 2,0 " 2,5 "	6	0,001 " 0,0009	2—1				15	15
" 2,5 " 3,0 "	10	0,0009 " 0,0008	1				20	20
" 3,0 " 3,5 "	15	0,0008 " 0,0007	1,5					
" 3,5 " 4,0 "	20	0,0007 " 0,0006	2,0					
" 4,0 " 4,5 "	30	0,0006 " 0,0005	2,5					
" 4,5 " 5,0 "	40	0,0005 " 0,0004	3,5					
" 5,0 " 5,5 "	60	0,0004 " 0,0003	4,5					
" 5,5 " 6,0 "	80	0,0003 " 0,0002	6					
" 6,0 " 6,5 "	100	0,0002 " 0,0001	8					
über 6,5 m	∞	unter 0,0001	10					
			∞					

Tabelle XX.

Werte des Widerstandskoeffizienten w .

Post-Nr.	Art des benetzten Umfanges	w	
		bei rechteckigem Querschnitte unter 1,6 m Breite	in allen übrigen Fällen
1	Quadern, sehr glatt	2,05	2,25
2	Zement, sehr glatt	2,05	2,25
3	Backstein, Sohle Zement, glatt	2,00	2,20
4	Zement, gewöhnlich verputzt	1,80	2,00
5	Backstein	1,45	1,65
6	Holz, glatt gehobelt	1,70	1,90
7	„ ungehobelt.	1,40	1,60
8	Bruchstein, gut behauen	1,20	1,40
9	„ einfach behauen	1,15	1,25
10	„ rauh „	1,00	1,10
11	„ Sohle mit Kies.	1,00	1,10

für Erde, unbewachsen	$m = 27,7$
„ „ stark bewachsen	$m = 20,1$
„ steinige Erde, wenig Kräuter . . .	$m = 24,1$
„ Geschiebe von Faustgröße	$m = 18,2$
„ „ „ Faust- bis Kopfgröße	$m = 15,6$
„ grobe Steine : . . .	$m = 11,3$

Nach Hermanek¹ ist:

$$v = k \sqrt{t \cdot J}.$$

In dieser Formel bedeutet t die mittlere Tiefe des Flußprofiles; sie ergibt sich, wenn man die Profilfläche dividiert durch die Wasserspiegelbreite b ; J ist das relative Gefälle.

Ist b größer als die zehnmalige Tiefe t

$$b > 10 t \text{ oder } \frac{b}{t} > 10,$$

so gelten für den Koeffizienten k die folgenden Ausdrücke:

a) für natürliche Gerinne:

$$\text{bei } t \text{ größer als } 6 \text{ m} k = 50,2 + \frac{t}{2}$$

bei t kleiner als 6 m, aber größer

$$\text{als } 1,5 \text{ m} k = 34 \sqrt[4]{t}$$

$$\text{bei } t \text{ kleiner als } 1,5 \text{ m} . . . k = 30,7 \sqrt[4]{t}$$

b) für künstliche Gerinne ist:

$$k = k_0 + \frac{m}{6} (70 - k_0)$$

hierin ist $k_0 = 34 \sqrt[4]{t}$ und

$m = 0$ für eine natürliche Wandbeschaffenheit,

$m = 1$ für gewöhnliches Bruchsteinmauerwerk,

¹ „Die mittlere Profilvergeschwindigkeit in natürlichen und künstlichen Gerinnen.“ Zeitschr. des Österr. Ingen.- und Architektenvereins 1905.

$m = 2$ für bestocktes Bruchsteinmauerwerk, und für rauhe Bretterwände,

$m = 3$ für verfugtes Ziegelmauerwerk,

$m = 4$ für gehobelte Bretter und für Quadermauerwerk,

$m = 5$ für Zementputz und sehr glatte Quadern,

$m = 6$ für geschliffenen Zementverputz.

Ist die Wasserspiegelbreite b kleiner als die zehnmalige Tiefe

$$b < 10 t \text{ oder } \frac{b}{t} < 10,$$

so ist

$$v = k' \sqrt{t \cdot J}$$

und

$$k' = k \left(1 - 0,25 \frac{t}{b} \right).$$

Hat man die Geschwindigkeit an der Oberfläche des Wassers im Stromstrich v_o (etwa mit einem Schwimmer) gemessen, so findet man die mittlere Geschwindigkeit des Profils v_m nach Prony:

$$v_m = \frac{2,354 + v_o}{3,129 + v_o} \cdot v_o$$

nach Bazin (genauer):

$$v_m = \frac{v_o}{1 + 14 \sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$$

(Die Werte für α und β wie Seite 207 zu wählen.)

Die Aufnahme des Flußgrundes.

Wir haben gehört, daß der Bestimmung der Abflußmenge eines Gerinnes die Erhebung zweier Faktoren vorausgehen muß: die der mittleren Profilschwindigkeit, über deren Ermittlung bereits gesprochen worden ist, und die Aufnahme der Profil-

fläche bzw. des Querprofiles. Die Aufnahme der ober Wasser befindlichen Teile des Querprofiles ist eine rein geodätische Operation; ebenso die Aufnahme des Wasserspiegels und seines Gefälles.

Der unter Wasser befindliche Teil des Profiles, also das eigentliche Durchflußprofil, dessen Fläche für die Berechnung der Wassermenge maßgebend ist, kann nur durch Peilungen oder Lotungen (Sondierung) aufgenommen werden.

Zur Durchführung einer Peilung in kleinen Flüssen bei Nieder- oder Mittelwasser wird in dem zu bestimmenden Querprofile ein Drahtseil über den Fluß gespannt, dessen Länge in bestimmten Abständen durch Marken unterteilt ist. Bei größeren Flußbreiten ist die Einschaltung von Zwischenstützpunkten für die Leine auf verankerten Kähnen erforderlich. Längs der Leine wird mit einer geteilten Peilstange an den einzelnen Teilungspunkten der Leine die Tiefe gemessen und so das Querprofil aufgenommen.

Bei niedrigen Wasserständen kann der die Peilstange führende Arbeiter den Fluß längs der Leine durchwaten. Bei höheren Ständen wird die Peilung von einem Kahne aus durchgeführt, der längs dem Drahtseile überfährt.

Bei größeren Wassertiefen ist die Peilstange nicht mehr verwendbar. Sie muß durch das Lot ersetzt werden. Die Tiefen ergeben sich aus der Teilung der Lotleine oder aus der Teilung der Windetrommel, die zur Versenkung des Lotes benutzt wird.

Handelt es sich um Sondierungen im größeren Umfange, etwa zur Aufnahme des Flußgrundes im Stromstriche einer längeren Flußstrecke, so sind die Peilungen in der Längsrichtung des Flusses durchzu-

führen, wobei die Sonden durch taktmäßiges Rudern in je gleichen Abständen — etwa nach je fünf Ruder schlägen zu nehmen und die Sondierpunkte durch das Einvisieren einzelner Sonden gegen markante Terrainpunkte oder gegen aufgestellte Absteckstäbe festzulegen sind.

Für die Aufnahme des Flußgrundes ganzer Strecken größerer Ströme sind die Kreuzsondierungen zu empfehlen, wie sie an der Donau bei Wien nach der Methode von R. Halter¹ seit Jahren gepflogen werden. Die Sondiermethode ermöglicht in verhältnismäßig kurzer Zeit die Herstellung eines Schichtenplanes des Stromgrundes von ausreichender Genauigkeit. Der Vorgang besteht in der tachymetrischen Aufnahme der Sondierzille während der Sondierung und in der nachträglichen Einschaltung der einzelnen Sondenpunkte zwischen die tachymetrisch aufgenommenen Punkte des Zillenweges unter der Verwendung von gleichgerichteten Stopuhren (Chronoskopen).

Während die Zille den Strom frei übersetzt und von ihr aus die Sonden mit der Peilstange so oft als möglich genommen werden, wird der von der Zille zurückgelegte Weg vom Ufer aus tachymetrisch aufgenommen. Vor der Abfahrt setzen der in der Zille sitzende Sondenaufschreiber und der Gehilfe des Ingenieurs am Instrumentstande zwei Chronoskope gleichzeitig in Gang. Jede Sonde und jede Distanzmessung wird dann mit den Chronoskopen zeitlich genau festgelegt.

So wird der Weg der Zille durch Distanz- und Winkelmessung aufgenommen und können die Sonden-

¹ „Das Sondierverfahren an der Donau.“ Österr. Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst 1897.

punkte in das Bild des Zillenweges nach den Zeitdifferenzen eingetragen werden.

Die Zillenwege werden in maschenartiger Anordnung in der Flußstrecke verteilt (Abb. 38). Das Maschennetz ergibt zugleich eine Kontrolle für die Richtigkeit der Aufnahme, da an den Kreuzungspunkten der Fahrten gleiche Sonden resultieren müssen.

Diese Methode stellt an den Gehilfen beim Instrumente und an den Sondenaufschreiber ganz

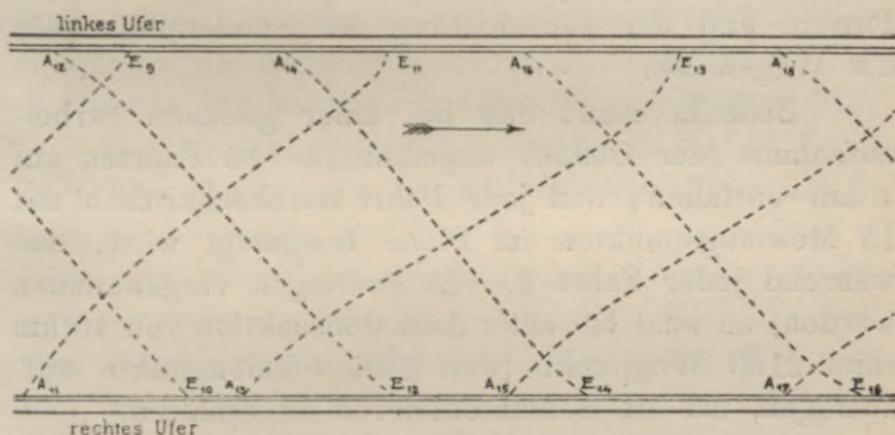


Abb. 38. Kreuzsondierungen.

besondere Anforderungen, indem der eine die Distanzen und die Winkel zu notieren, die Uhr gleichzeitig abzulesen und die Zeiten aufzuschreiben, der andere die Sonden zu notieren und gleichfalls die Uhrablesungen zu vollziehen und niederzuschreiben hat.

Der Umstand, daß diesen Anforderungen schwer entsprochen werden kann und sich hieraus zahlreiche Fehlerquellen ergeben, haben R. Reich zu der Konstruktion eines Apparates geführt, der die mechanische Registrierung der Zeitpunkte der Sonden und der

Distanzbestimmungen ermöglicht. Dieser Apparat heißt der Sondenchronograph¹.

Durch R. Reich haben aber die Aufnahmen des Stromgrundes eine noch weitaus bedeutendere Vervollkommnung erfahren, die in einer wesentlichen Verminderung der Bureauarbeiten nach der vollzogenen Flußaufnahme gipfelt.

Die Bureauarbeiten bestehen — außer der Reduktion der Peilungsdaten auf eine einheitliche Vergleichsebene — in der Festlegung der Zillenwege durch die Auftragung der tachymetrisch eingemessenen Punkte und der Einschaltung der Sondenpunkte in die Wegelinien.

„Bedenkt man, daß bei einer genauen Stromaufnahme (der Donau) ungefähr 14—16 Fahrten auf 1 km entfallen, daß jede Fahrt durchschnittlich mit 15 Messungspunkten im Plane festgelegt wird, daß während jeder Fahrt 20—25 Peilungen vorgenommen werden, so sind bei einer Aufnahmssektion von 10 km rund 2100 Wegpunkte und 2800 Sondenpunkte aufzutragen, um die Schichtenkurven zu erhalten.

Dieser Ballast von Bureauarbeiten hat Reich auf den Gedanken gebracht, eine Sondiermethode zu ersinnen, bei der die Bureauarbeiten auf die Reduktion der Sonden auf eine Nullebene und auf die Konstruktion der Schichtenkurven beschränkt werden.

Das Auftragen des Zillenweges geschieht selbsttätig, graphisch während der Fahrt.

¹ Siehe „Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins“ 1903. Dasselbst ist auch die bei der Aufnahme des Zillenweges einzuhaltende Methode der Distanzablesungen mittelst des Reichenbachschen Distanzmessers und die Nivellierlatte beschrieben, die auf der Zille während der Fahrten lotrecht zu halten ist.

Der Apparat, der diesem Ziele dient, heißt der „Sondiertachygraph“¹. Der Sondiertachygraph besteht im wesentlichen aus der Kombination eines kleinen Meßtisches mit einem mit Repetitionseinrichtung ausgestatteten Universalnivellierinstrumente als Distanzmesser. Das Instrument hat neben dem Hauptfernrohr noch ein zweites, das sogenannte Distanzfernrohr. Der Distanzmesser ist derart konstruiert, daß man durch die mittels Bewegung einer Griffschraube zu bewerkstelligende Einstellung des Horizontalfernrohrfadens auf eine Marke der Sondierlatte, ohne Ablesung an einer Trommel oder Längenteilung einen Pikierstift so stellt, daß er auf dem Meßtische die genaue Lage des Sondenpunktes ergibt.

Der Arbeitsvorgang bei Sondierungen ist folgender: Die Sondierzille wird von einem Ufer auf das gegenüberliegende geführt, hiebei einerseits von der Zille aus so oft als möglich sondiert, anderseits der von der Zille zurückgelegte Weg vom Ufer aus durch den Sondiertachygraphen im Situationsplane schon im Felde durch Pikierung der einzelnen Peilungen graphisch verzeichnet. Gleichzeitig wird mittels des zweiten Fernrohres das Gefälle der Wasserspiegeloberfläche bestimmt. Man erhält daher schon im Felde Aufschluß über die Beschaffenheit der Stromsohle und über die Gefällsverhältnisse des Stromes.

Auch bei Aufnahmen im kupierten Terrain kann der Sondiertachygraph gute Dienste leisten.

Das Kapitel über die Stromsondierungen soll nicht geschlossen werden, ohne derjenigen Apparate zu gedenken, die das Bild der Stromsohle — sei es

¹ Siehe „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins“ 1905.

in der Längsrichtung, sei es in der Querrichtung — im verkleinerten Maßstabe selbsttätig aufzeichnen.

Es kommt hier zur Aufnahme des Talweges vor allem Stechers selbstzeichnender Peilapparat¹ in Betracht.

Ein oder mehrere Peilgestänge, die unten kreisförmig abgebogen sind, um den Flußgrund tangentiell zu berühren, werden von einem Doppelschiff auf den Grund niedergelassen. Ihr oberes Ende ist mit dem Schreibapparate verbunden, der die Bewegungen des Gestänges im verkleinerten Maßstabe aufzeichnet und ein Bild des Talweges liefert.

Als ein selbstzeichnender Apparat für Querprofilaufnahmen ist der hydrostatische Profilograph von Hajos (verfertigt bei Calderoni & Comp. in Budapest) zu nennen. Eine Walze, in deren Innern der Zeichenapparat in einer wasserdichten Dose arbeitet, wird an einem Schlepptau von dem Sondierschiffe hinabgelassen und dem Profile entlang gezogen. Die Bewegungen der Walzenachse werden auf den Schreibapparat übertragen (Zeichnung der Längen). Die Tiefen zeichnet der Stift, der mit einem Manometer in Verbindung steht, unter der Einwirkung des hydrostatischen Druckes in den verschiedenen Wassertiefen.

Die unmittelbare Bestimmung der Wassermenge.

Die bisher besprochenen Methoden zur mittelbaren Bestimmung der Wassermenge aus der Wassergeschwindigkeit und der Fläche des Durchflußprofiles sind für kleine natürliche und künstliche Gerinne, für Mühlbäche und Werkskanäle nicht immer zweckdien-

¹ „Zeitschrift für Baukunde“ 1881; „Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1895 und „Das Schiff“ 1883 und 1887.

lich bzw. nicht immer durchführbar. Es empfiehlt sich da meistens die unmittelbare Bestimmung der Wassermenge mit oder ohne Anwendung von theoretischen Formeln.

Messung mit geeichten Gefäßen.

Kleine Mengen, Quellen und Quellflüsse leitet man in geeichte Gefäße und beobachtet die Zeit der Füllung, um die Wassermenge pro Sekunde zu erhalten.

Messung an Druckschützen.

An Mühlgerinnen, Werkskanälen, an welchen sich Druckschützen befinden, benützt man diese Schützen, um die Wassermenge zu bestimmen. Man lüftet die Schütze so lange, bis der Wasserspiegel des Oberwasserkanales vollkommen konstant bleibt; d. h. daß der Zufluß gleich dem Abflusse ist. Dabei ist angenommen, daß die Ausflußöffnung frei liegt, d. i. ganz über dem Unterwasserspiegel. Die Wassermenge läßt sich dann nach der Formel:

$$Q = \mu b a \sqrt{2 g h}$$

berechnen, in welcher Q die Wassermenge in der Sekunde (in Kubikmetern), b die Breite der Ausflußöffnung (in Metern), a die Höhe derselben (in Metern), g die Beschleunigung des freien Falles (9,81), h die Druckhöhe, d. i. das Maß des Abstandes der horizontalen Mittellinie der Ausflußöffnung von dem Oberwasserspiegel (in Metern) bedeutet; ($h = \frac{h_1 + h_2}{2}$,

wenn mit h_1 der Abstand der unteren Kante der Ausflußöffnung, mit h_2 der Abstand der oberen Kante der Ausflußöffnung von dem Oberwasserspiegel bezeichnet wird.)

Tabelle XXI.

Die Ausflußkoeffizienten (k) für den Ausfluß des Wassers durch rechteckige Mündungen in einer dünnen lotrechten Wand; nach Poncelet und Lesbros. (Die Druckhöhen sind oberhalb der Mündung an einer Stelle gemessen, wo das Wasser als stillstehend angesehen werden kann.)

Druckhöhe über der Oberkante der Mündung h_2 in Metern	Mündungsbreite $b = 0,2$ m								$b = 0,6$ m
	Mündungshöhen a in Metern								
	0,2	0,1	0,05	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
0,005	—	—	—	—	—	0,705	—	—	—
0,010	—	—	0,607	0,630	0,660	0,701	—	—	0,644
0,015	—	0,593	0,612	0,632	0,660	0,697	—	—	0,644
0,020	—	0,596	0,615	0,634	0,659	0,694	—	—	0,643
0,040	0,572	0,603	0,623	0,640	0,658	0,683	0,595	0,599	0,642
0,060	0,587	0,607	0,627	0,640	0,657	0,676	0,601	0,601	0,641
0,080	0,589	0,610	0,629	0,638	0,656	0,670	0,602	0,602	0,640
0,100	0,592	0,611	0,630	0,637	0,654	0,666	0,605	0,605	0,639
0,200	0,598	0,615	0,630	0,633	0,648	0,655	0,607	0,607	0,635
0,400	0,602	0,617	0,628	0,631	0,642	0,647	0,607	0,607	0,631
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,642	0,606	0,606	0,629
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637	0,605	0,605	0,628
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632	0,602	0,602	0,626
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615	0,602	0,602	0,623
2,000	0,601	0,607	0,613	0,612	0,612	0,611	0,602	0,602	0,620
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609	0,601	0,601	0,615

Tabelle XXII.

Die Ausflußkoeffizienten (k) für den Ausfluß des Wassers durch rechteckige Mündungen in einer dünnen lotrechten Wand; nach Poncelet und Lesbros. (Die Druckhöhen sind unmittelbar an der Mündung gemessen.)

Druckhöhe über der Oberkante der Mündung h_2 in Metern	Mündungsbreite $b = 0,2$ m						$b = 0,6$ m	
	Mündungshöhen a in Metern							
	0,2	0,1	0,05	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02
0,000	0,619	0,667	0,713	0,766	0,783	0,795	0,783	0,586
0,005	0,597	8,630	0,668	0,725	0,750	0,778	0,750	0,587
0,010	0,595	0,618	0,642	0,687	0,720	0,762	0,720	0,589
0,020	0,594	0,614	0,638	0,668	0,697	0,729	0,697	0,591
0,040	0,593	0,612	0,636	0,654	0,678	0,695	0,678	0,594
0,060	0,594	0,613	0,635	0,647	0,668	0,681	0,668	0,596
0,080	0,594	0,613	0,635	0,643	0,662	0,675	0,662	0,598
0,100	0,595	0,614	0,634	0,640	0,657	0,669	0,657	0,600
0,200	0,599	0,615	0,630	0,633	0,649	0,656	0,649	0,603
0,400	0,602	0,617	0,629	0,631	0,642	0,647	0,642	0,606
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,643	0,638	0,607
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637	0,636	0,607
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632	0,633	0,606
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615	0,619	0,603
2,000	0,601	0,607	0,614	0,612	0,612	0,611	0,612	0,602
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609	0,610	0,601

μ ist der Ausflußfaktor oder Kontraktionskoeffizient, der das Verhältnis der wirklichen zur theoretischen Ausflußmenge darstellt und sich aus zwei Verhältniszahlen zusammensetzt, und zwar aus dem Verhältnisse (q) der wirklichen zur theoretischen Ausflußgeschwindigkeit

$$q = 0,97 \text{ (Mittelwert)}$$

und dem Verhältnisse (α) des Querschnittes des Ausflußstrahles an der Stelle der größten Zusammenziehung (Kontraktion) zu dem Mündungsquerschnitte

$$\alpha = 0,64 \text{ (Mittelwert).}$$

Nun ist der Ausflußkoeffizient das Produkt von q und α :

$$\mu = q \cdot \alpha$$

$$\mu = 0,97 \times 0,64 = 0,621 \text{ (Mittelwert).}$$

Die genauen Werte von μ haben Poncelet und Lesbros durch Versuche ermittelt, indem sie den Ausfluß durch rechteckige Ausschnitte in lotrechten Wänden bestimmten. Die Breiten der Durchflußöffnungen waren 20 cm und 60 cm, die Höhen 1, 2, 3, 5, 10 und 20 cm. Die Ränder der Öffnungen waren von 4 mm starkem Messingblech gebildet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind auszugsweise in den Tabellen XXI und XXII (Seite 222 und 223) mitgeteilt, die nur in dem einen Punkte voneinander abweichen, daß die Druckhöhen h einmal oberhalb der Mündung an einer Stelle, wo das Wasser als stille stehend angesehen werden kann, das andere Mal aber unmittelbar an der Mündung gemessen worden sind; da nämlich das Wasser in der Nähe der Öffnung in Bewegung ist, so steht es unmittelbar vor der Öffnung niedriger als in größerer Entfernung von der Ausflußwand.

Beispiel:

Breite der Ausflußöffnung	$b = 0,2$
Höhe " "	$a = 0,1$
Oberkantendruckhöhe	$h_2 = 1,5$
Unterkantendruckhöhe $h_2 + a$	$h_1 = 1,6$
Mittlere Druckhöhe $\frac{h_1 + h_2}{2} =$	$h = 1,55$

So ist:

$$Q = k \times 0,2 \times 0,1 \sqrt{2g} \sqrt{1,55}$$

$$= k \times 0,02 \times 4,429 \times 1,245 = 0,1103 k$$

für $h_2 = 1,5$ ist $k = 0,611$,

sohin $Q = 0,1103 \times 0,611 = 0,0674$ cbm
oder 67,4 Liter.

„Haben die Mündungen andere Breiten, so bleibt, solange man keine anderen Versuche zugrunde legen kann, nichts übrig, als die Koeffizienten dieser Tabellen ebenfalls anzuwenden, um die Ausflußmenge zu berechnen. Daß man hiebei nicht auf große Differenzen stößt, geht aus der Vergleichung der Koeffizienten für die Mündungen 0,6 m mit denen für die Mündungen 0,2 m Breite, bei gleicher Druckhöhe usw. hervor. Sind ferner die Öffnungen nicht rektangulär (rechteckig) so bestimme man ihre mittlere Breite und mittlere Höhe und führe die diesen Dimensionen entsprechenden Koeffizienten in die Rechnung ein. Endlich ist es immer vorzuziehen, die Druckhöhe in einer größeren Entfernung vor der Mündungswand zu messen und die erste Tabelle anzuwenden, da unmittelbar an der Mündung der Wasserspiegel gekrümmt und weniger ruhig ist als mehr oberhalb der Mündung“ (Weisbach; Theoretische Mechanik; Braunschweig 1875).

Um den Einfluß der Stärke der Ausflußwand bzw. der Schütze auf die Größe des Ausflußkoeffizienten zu untersuchen, hat Lesbros auch Versuche

mit 60 cm breiten Schützenöffnungen von 5 cm Wanddicke durchgeführt. Die Ausflußkoeffizienten nahmen gegenüber den Versuchen mit der dünnen Wand (von 4 mm Stärke) um 10—15 % höhere Werte an.

Einen genaueren Vergleich der Werte mit jenen der Tabelle XXI liefert die folgende Tabelle:

Tabelle XXIII.

Vergleich des Ausfluß aus Wänden von verschiedener Stärke.

Druckhöhe über der Oberkante der Öffnung h_2 in m	Höhe der Austrittsöffnung in m					
	0,2		0,05		0,03	
	Wanddicke in cm					
	5	0,4	5	0,4	5	0,4
0,05	0,645	0,585	0,651	0,625	0,680	0,640
0 10	0,658	0,592	0,672	0,630	0,695	0,637
0,50	0,676	0,603	0,696	0,628	0,711	0,631
1,00	0,676	0,605	0,695	0,625	0,706	0,627
1,50	0,675	0,602	0,694	0,619	0,700	0,621
2,00	0,674	0,601	0,694	0,613	0,697	0,613
3,00	0,670	0,601	0,692	0,606	0,693	0,607

Aus dieser Tabelle lassen sich Verhältniszahlen ableiten, die für die Praxis von Wert sind, da es viel häufiger vorkommt, daß man an Schützenöffnungen von stärkeren Dimensionen als jenen, die den Tabellen XXI und XXII zugrunde liegen, Wassermessungen durchzuführen hat.

Messung an Überfällen.

Mangelt eine Vorrichtung der besprochenen Art (Druckschütze), so bedient man sich eines sogenannten Überfalls, d. i. einer wasserdichten Holzwand mit

einem rechteckigen Ausschnitte in der Oberkante, welche Holzwand man quer in den Wasserlauf einbaut.

Liegt die horizontale Überfallskante (Unterkante des Ausschnittes) über dem Unterwasserspiegel, so wird der Überfall ein vollkommener; liegt sie unter dem Unterwasserspiegel, so wird der Überfall ein unvollkommener genannt.

a) Vollkommene Überfälle.

Ist b die Breite des Überfallausschnittes, h die Höhe desselben bzw. der Abstand der Unterkante des Ausschnittes von dem ungesenkten Wasserstands-niveau oberhalb des Überfalles, so ist, wenn die Geschwindigkeit des ankommenden Oberwassers nicht berücksichtigt wird, ähnlich wie vorhin:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h \sqrt{2 g h}$$

oder

$${}^{2/3} \mu = m \text{ gesetzt}$$

$$Q = m b h \sqrt{2 g h}.$$

Ist die Geschwindigkeit c des ankommenden Oberwassers zu berücksichtigen (c größer als 30 cm in der Sekunde), so ist:

$$Q = m b \sqrt{2 g} \left[\sqrt{(h+k)^3} - \sqrt{k^3} \right],$$

wobei $k = \frac{c^2}{2g}$ die Fallhöhe bedeutet, die der Geschwindigkeit des ankommenden Oberwassers entspricht:

$$c = \sqrt{2 g k}.$$

Für den Koeffizienten $m = \frac{2}{3} \mu$ werden von den Autoren verschiedene Werte angegeben.

Nach Weisbach ist

$$m = 0,44 \text{ (Mittelwert).}$$

Nach Bornemann ist

$$m = 0,5673 - 0,1239 \sqrt{\frac{h}{T}},$$

wobei unter T die Wassertiefe des Gerinnes zu verstehen und h kleiner als $\frac{1}{3} T$ gedacht ist.

Wenn h größer als $\frac{1}{3} T$ ist, so gilt die Formel

$$m = 0,6402 - 0,2862 \sqrt{\frac{h}{T}}.$$

Kinzer hat aus angestellten Versuchen abgeleitet

$$m = 0,4342 + 0,009 \frac{b}{B} - 0,0777 \frac{h}{T},$$

wobei unter B die Breite des Gerinnes, unter b die Breite des Überfalles zu verstehen ist.

Bazin hat für freie Überfälle [ohne Seitenkontraktion; dies wegen der großen Überfallsbreite gegenüber der Überfallshöhe] die Formel aufgestellt:

$$Q = \mu \left(1 + \frac{3}{2} \alpha \frac{u^2}{2gh} \right) b h \sqrt{2gh}.$$

u ist die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers;

$$\alpha = \frac{5}{3} = 1,67; \quad \mu = 0,405 + \frac{0,003}{h}$$

$$\text{oder: } Q = \mu \left[1 + K \left(\frac{h}{p+h} \right)^2 \right] b h \sqrt{2gh}$$

p ist die Höhe der Überfallskante über dem Boden.

$$K = 0,55; \quad \mu \text{ wie vorher.}$$

b. Unvollkommene Überfälle.

Lesbros hat sich bei seinen Versuchen mit unvollkommenen Überfällen der Formel bedient:

$$Q = \mu b H \sqrt{2g(H-\eta)}.$$

μ ist der Koeffizient, b die Breite des Überfalls, H die Höhe des Oberwasserspiegels über der Überfallskante, η die Höhe des Unterwasserspiegels über der Überfallskante.

Die Werte von μ hat Lesbros in eine Tabelle geordnet, und zwar je nach dem Verhältnisse der Differenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel $H-\eta$ zur Überfallshöhe H .

Tabelle XXIV.

$\frac{H-\eta}{H} =$	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008
μ	0,295	0,363	0,430	0,496	0,556	0,597	0,605
$\frac{H-\eta}{H} =$	0,009	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035
μ	0,600	0,596	0,580	0,570	0,557	0,546	0,537
$\frac{H-\eta}{H} =$	0,040	0,045	0,050	0,06	0,08	0,10	0,15
μ	0,531	0,526	0,522	0,519	0,517	0,516	0,512
$\frac{H-\eta}{H} =$	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
μ	0,507	0,502	0,497	0,492	0,487	0,480	0,474
$\frac{H-\eta}{H} =$	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
μ	0,466	0,459	0,444	0,427	0,409	0,390	

Messung an Stauanlagen.

Auch bei Stauanlagen (Wehren) ist der Unterschied zwischen vollkommenen und unvollkommenen Überfällen zu machen.

a) Vollkommene Überfälle.

(Wehrkrone über dem Wasserspiegel.)

$$Q = 2,48 b \left\{ \sqrt{(h_1 + k)^3} - \sqrt{k^3} \right\}$$

$$k = \frac{c^2}{2g} \text{ wie vorhin.}$$

h_1 = Höhe des (ungesenkten) Oberwasserspiegels über der Wehrkrone.

b = Breite des Überfalls.

b) Unvollkommene Überfälle.

(Wehrkrone unter dem Unterwasserspiegel.)

$$Q = 2,48 b \left\{ 1,12 s \sqrt{h + k} + \sqrt{(h + k)^2} - \sqrt{k^3} \right\}$$

s = Höhe des Unterwasserspiegels über der Wehrkrone.

h = Höhe des (ungesenkten) Oberwasserspiegels über dem Unterwasserspiegel.

b und k wie vorhin.

Diese Gleichungen dienen auch zur Berechnung der Stauhöhe (h_1 bzw. h), wenn die Wassermenge Q bekannt ist.

Hiermit sei das Kapitel über die unmittelbare Bestimmung der Wassermenge geschlossen. Hinsichtlich einer näheren bzw. erschöpfenden Behandlung dieser Materie muß auf die Lehrbücher der Hydromechanik (Weisbach, Rühlmann, Meißner-Hedrich usw.) verwiesen werden.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Sachregister.

- A**blußfaktor 98.
Abflußjahr 88.
Abflußkoeffizient 98.
Abflußmenge 90, 198.
Abflußmengenkurve 93.
Abflußverlust 103.
Abflußvermögen 98.
Absolute Häufigkeit der Wasserstände 77.
Außerordentliche Beobachtungen 16.
Automatische Pegel 64.
- B**eharrungswasserstand 79, 85.
Benetzungsdauer 78, 85.
Beobachtungsnetz 23.
- C**harakteristische Wasserstände 71—80.
Chronograph 171.
- D**auer der Wasserstände 75, 84.
Dauerlinie 85.
Dichtester Wert 76.
Druckschützen 221.
- E**iserscheinungen 123.
Eishochwässer 123.
Entwässerung der Städte 136.
- F**lächenverzeichnisse 54.
Flügel 149.
Flügelmessungen 185.
Flußgebiet 52.
Flußprofil 91.
Flutwelle 108.
- G**efälle 143.
Gefällsbestimmung 183.
Gemittelter Wasserstand 78.
Geschwindigkeitsformeln 202.
Gewöhnlicher Wasserstand 78, 82.
Gletscher 60.
Graphische Darstellungen 83.
Grundwasser 60.
- H**äufigkeit der Wasserstände 75, 77.
Häufigkeitskurve 84.
Harlacherflügel 155.
Höchstwasser 74, 127.
Hochwasser 81, 107.
Hochwasserflügel 166.
Hochwasservorhersage 113.
Hochwasserwarnungen 119.
Hydrographische Anstalten 68.
Hydrologisches Jahr 88.
Hydrometrische Prüfungsanstalten 177.

- Hydrometrischer Flügel 149, 153.
- I**ndikator 153, 171.
Isochyonen 51.
Isohyeten 50.
- J**ahresmittel der Wasserstände 71.
Jahresschwankung der Wasserstände 89.
- K**analisation 136.
Konsumtionsgleichung 93.
Konsumtionskurve 93.
Korrespondierende Wasserstände 79.
Kreislauf des Wassers 11.
Kreuzsondierungen 216.
Kulmination 107.
- L**ängstandauernder Wasserstand 76.
Lotungen 215.
- M**aßröhre 13.
Meßglas 13.
Meteorologische Anstalten 21.
Mittelwasser 81, 128.
Mittelwerte des Niederschlages 29.
Mittlere Jahresniederschlagshöhen 31, 56.
Mittlerer Messungswasserstand 190.
Monatsmittel der Wasserstände 71.
- N**iederschlag 12.
Niederschlagsgebiet 52.
Niederschlagshöhe 29.
Niederschlagsmenge 52, 55.
Niederschlagssummen 29.
Niederwasser 81, 128.
Niedrigstwasser 74.
- O**berflächengeschwindigkeit 146.
Oberflächenschwimmer 149.
Ombrographen 16.
Ombrometer 12.
- P**egel 61.
Pegelkurve 84.
Pegelnetz 69.
Pegelprofil 70.
Pegelrelationen 79.
Peilungen 215.
Profilschwindigkeit 148.
Prüfungsanstalten, hydrometrische 177.
Pulsationen der Wasserbewegung 146.
- Q**uellen 11, 60.
- R**egenhöhe 12.
Regenkarten 50.
Regenmesser 12.
Regenschreiber 16.
- S**cheitelstand 107.
Scheitelwert 76.
Schneedecke 20.
Schneehöhe 21.
Schneekarte 51.
Schneemessung 15.
Schneepegel 21.
Schneeschnelzhochwasser 122.
Schwimmflügel 166.
Schwimmermessungen 150.
Seeretention 125.

- Selbstregistrierende Pegel 64.
 Selbstregistrierende Regenmesser 16.
 Sondenchronograph 218.
 Sondierung des Flußgrundes 215.
 Sondiertachygraph 219.
 Speisung der Wasserläufe 60.
 Spielraum, Spielraummitte 78.
 Stauanlagen 229.
 Sturzregen 16, 46.
- T**agesniederschläge 16.
 Tarierung von Flügeln 175.
 Taschenflügel 166.
 Tiefenmesser 164.
 Torpedoflügel 170.
 Tourenzähler 153, 157.
- U**eberfälle 226.
 Umlaufswerte 174.
- V**erdunstung 103.
 Vorschriften für meteorolog. Beobachtungen 22.
- W**assergeschwindigkeit 144.
 Wasserkraft 142.
 Wassermenge 90.
 Wassermessungen 144.
 Wasserscheiden 52.
 Wasserstandslinie 84.
 Wasserstandsprognose 113.
 Wasserstände 61.
 Wasserversorgung 139.
 Wasserwert der Schneedecke 26.
 Wolkenbruch 16, 46.
 Woltmanscher Flügel 153.

Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung, Hannover

Anweisung

zur

Führung des Feldbuches

nebst kurzgefaßten Regeln für den Felddienst
beim

Feldmessen, Winkelmessen, Kurvenabstecken, Nivellieren, Peilen
und Tachymetrieren sowie einer Anleitung zum Gebrauch,
zur Prüfung und Berichtigung der erforderlichen

Feldmeßinstrumente

für die

Feldmeßübungen an technischen Lehranstalten und zum
Gebrauch für Behörden und praktisch tätige Techniker

bearbeitet von

Ernst Ziegler

Preußischer Landmesser und Kulturingenieur
Oberlehrer am Technikum zu Bremen

Mit 122 Textabbildungen sowie einem Anhang mit Tabellen,
Musterbeispielen, Feldbuch u. 6 Tafeln gebräuchlicher Signaturen

Preis: In biegsamem Leinenband M. 3.80

Dazu erschien gleichzeitig als praktischer Anhang:

Feldbuch

für die

Feldmeßübungen an technischen Lehranstalten
und für die

in der Ausbildung begriffenen Techniker zum Feldgebrauch
eingerrichtet von

Ernst Ziegler

Preußischer Landmesser und Kulturingenieur
Oberlehrer am Technikum zu Bremen

Ausgeführte Musterbeispiele für Nivellieren, Winkelmessung und
Tachymetermessung. Quadriertes Papier und leere Muster zur
Führung des Feldbuchs. 6 Tafeln Signaturen

Preis: In biegsamem Leinenband M. 2.20

8000
1

Das letzte Verzeichniss, Mittel...

Anweisung

Führung des Feldbuches

und Verzeichnis der in dem Buche

enthaltenen Verzeichnisse, Tabellen, Pläne
und Zeichnungen, sowie eine Anleitung zum Gebrauch
des Buches und Beschreibung der verschiedenen

Feldbuchinstrumente

von dem Königl. Ingenieur-Regiment Nr. 1
in Berlin, Major v. ...

von ...

Verlag von ...

Das Buch enthält ...

Das Buch enthält ...

Feldbuch

Feldbuch für ...

Das Buch enthält ...

von ...

S-98

Das Buch enthält ...

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301717

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297162