



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das Feldmessen

Schewior, Georg

Leipzig, 1917

B. Mittelbare Bestimmung der Wassermenge

[urn:nbn:de:hbz:466:1-97252](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-97252)

kante an ein Pfählchen, das in der angegebenen Entfernung von dem Einbaue geschlagen wird, bezeichnet die Stelle an ihm durch einen Einschnitt oder wählt dessen Kopf als Nullstrich und bestimmt mittels eines Meterstockes die Entfernung bis zum Wasserspiegel. Die Höhenübertragung geschieht entweder durch Einwägung (s. Abschnitt B.) oder ganz einfach mit Hilfe des Wassers, sobald dessen Spiegel beim Einlassen gerade in Höhe der Oberkante steht.

Beispiel. In einem kleinen unregelmäßigen Graben soll die sekundlich abfließende Wassermenge Q ermittelt werden. Die eingebaute Absperrrwand aus dünnen Brettern hat eine Ausflußöffnung mit $a = h_1 - h_2 = 0,20$ m und $b = 0,2$ m, ferner ist $h_1 = 0,50$ m und $h_2 = 0,30$ m.

Lösung. Es ist $Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} (h_1^{3/2} - h_2^{3/2})$. Da der Abstand des Wasserspiegels von der Oberkante der Ausflußöffnung $h_2 = 0,30$ m beträgt, ist nach Zahlentafel 2 $\mu = 0,600$, also $\frac{2}{3} \mu = 0,400$. Es ist demnach

$$\begin{aligned} Q &= 0,4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{2g} \cdot (0,50^{3/2} - 0,30^{3/2}) \\ &= 0,08 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot (0,354 - 0,164) \\ &= 0,08 \cdot 4,429 \cdot 0,190 \\ &= 0,067 \text{ cbm.} \end{aligned}$$

B. Mittelbare Bestimmung der Wassermenge.

Nach der allgemeinen Formel zur Berechnung der Abflußmenge (s. S. 233)

$$Q = F \cdot v$$

wird der wasserführende Querschnitt F stets durch Messung bestimmt, während die Geschwindigkeit v gleichfalls durch unmittelbare Beobachtung gewonnen oder aber nach Erfahrungssätzen abgeleitet wird.

1. Ermittlung der Querschnittsfläche.

Ein unregelmäßig gestaltetes Flußbett wird durch Einwägung oder Peilung gemäß den Ausführungen auf Seite 95 usw. aufgenommen. Die Berechnung von F erfolgt rasch auf grund des gezeichneten Querschnittes mit Hilfe eines Flächenmessers (I. Teil, S. 195) oder einer Harfe (I. Teil, S. 201). Anderenfalls

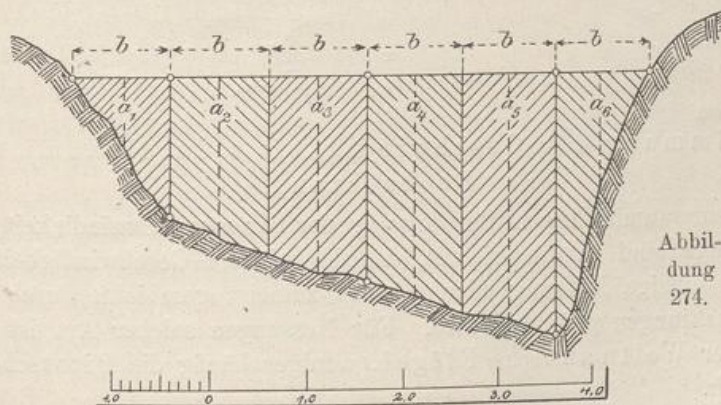


Abbildung
274.

kann der wasserführende Querschnitt in eine Anzahl Trapeze von gleicher Breite b zerlegt (Abbil. 274) und deren Inhalt aus den mittleren Wassertiefen $a_1, a_2 \dots$

und der Breite b abgeleitet werden. Bei der Verwendung von Millimeterpapier wird durch das farbige Netz in einfachster Weise ein Querschnitt in gleichbreite Flächenstreifen zerlegt.

Nach Abbildung 274 ist

$$F = a_1 \cdot b + a_2 \cdot b + a_3 \cdot b + a_4 \cdot b + a_5 \cdot b + a_6 \cdot b \\ = b(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6).$$

Die Längen der mittleren Tiefen sind mit Zirkel und Maßstab (I. Teil, S. 127) ermittelt; man erhält, wenn $b = 1,0$ m ist:

$$F = 1,0(0,70 + 1,63 + 2,00 + 2,23 + 2,52 + 1,20) \\ = 10,28 \text{ qm.}$$

Regelmäßige, meist trapezförmig gestaltete Querschnitte, die bei Neuanlagen Verwendung finden und auch bei gut unterhaltenen Wasserläufen vorkommen, lassen sich nach einer allgemein üblichen Formel berechnen. Wenn unter $1:x$ das Böschungsverhältnis, unter t die Wassertiefe und unter s die Sohlenbreite (Abbil. 275) verstanden wird, ist die Querschnittsfläche

$$F = (x \cdot t + s) \cdot t.$$

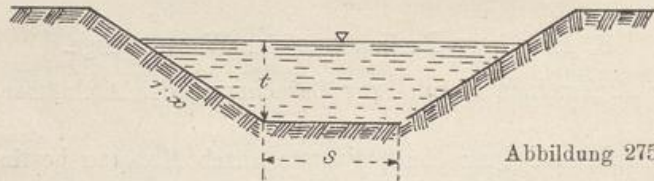


Abbildung 275.

Beispiel. Die Sohlenbreite eines Wasserlaufes sei $s = 0,5$, die Wassertiefe $1,0$ m und das Böschungsverhältnis $1:0,5$ oder $1:1$, $1:1\frac{1}{2}$, $1:2$, $1:3$, $1:4$ und $1:5$, sonach $x = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0$ bzw. $5,0$, so ist

bei $x = 0,5$ m	der wasserführende Querschnitt	$F = (0,5 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 1,0$ qm
„ $x = 1,0$ m	„ „ „	$F = (1,0 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 1,5$ „
„ $x = 1,5$ m	„ „ „	$F = (1,5 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 2,0$ „
„ $x = 2,0$ m	„ „ „	$F = (2,0 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 2,5$ „
„ $x = 3,0$ m	„ „ „	$F = (3,0 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 3,5$ „
„ $x = 4,0$ m	„ „ „	$F = (4,0 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 4,5$ „
„ $x = 5,0$ m	„ „ „	$F = (5,0 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 5,5$ „

2. Bestimmung der Geschwindigkeit v durch unmittelbare Beobachtung.

Die zur unmittelbaren Bestimmung der Wassergeschwindigkeit dienenden Meßwerkzeuge sind so eingerichtet, daß die mittlere Geschwindigkeit entweder durch eine einzige Messung oder, wie es zumeist geschieht, durch zahlreiche Einzelbeobachtungen gefunden wird. Für Messungen solcher Art ist in großem Umfange der Woltmannsche Flügel, weniger häufig die Pitotsche*) Röhre gebräuchlich.

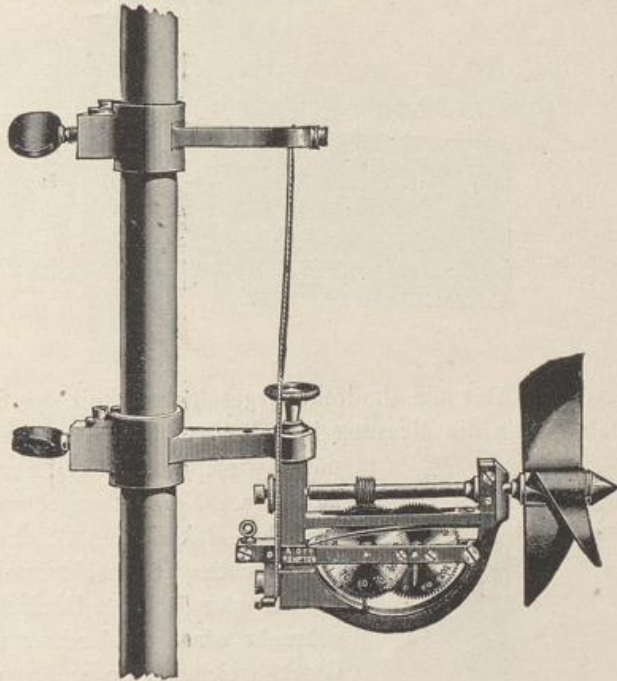
*) Siehe: Bd. I „Der Wasserbau“, I. Teil, S. 74 oder Bd. VIII „Die Bodenmelioration“, I. Teil, S. 127.

a) Flügel nach Woltmann.

α) Einrichtung.

In einem Rahmen (Abbil. 276) ist auf einer wagerecht gelagerten, leicht drehbaren Achse ein Schaufelrad mit schraubenförmig gekrümmten Flächen befestigt, das durch das fließende Wasser in Umdrehungen versetzt wird. Letztere werden mittels einer auf einer Achse angebrachten Schnecke auf ein Zählwerk übertragen und hier abgelesen. Aus der Anzahl der Umdrehungen läßt sich die Größe der Wassergeschwindigkeit feststellen. Der Flügel wird an einer lotrecht gestellten Stange unter Wasser gebracht, wobei das Schaufelrad der Strömung entgegengehalten wird. Mit Hilfe einer Schnur kann das Zählwerk in und außer Tätigkeit gesetzt werden.

Abbildung 276.



Bei der Ausführung einer Messung wird der Flügel nach Ablesung des Zählwerkes in die gewünschte Tiefe des Flußlaufes gestellt und das Zählwerk, sobald das Schaufelrad eine der Wassergeschwindigkeit entsprechende gleichmäßige Bewegung angenommen hat, durch Hochziehen der Schnur eingerückt. Die Zeitdauer der Messung wird an einer gewöhnlichen Taschenuhr festgestellt oder besser an einem Zeitmesser nach Abbil. 277. Hier werden durch einen Druck auf die Krone zwei Zeiger in Gang gesetzt, von denen der größere Fünftel-Sekunden, der kleine Minuten angibt; ein zweiter Druck bringt beide Zeiger zum Stehen, ein dritter führt sie auf Null zurück.

Abbildung 277.



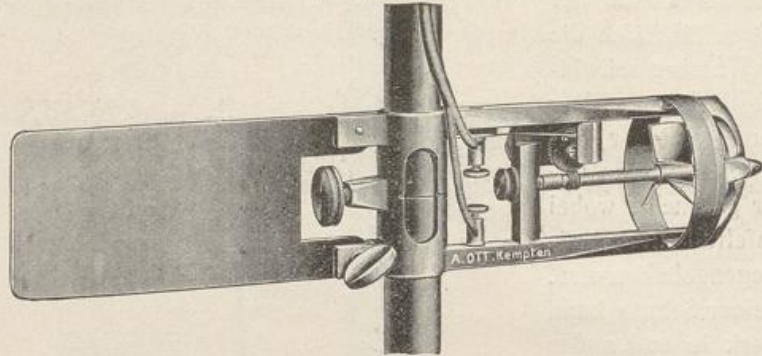
Sobald die Messung beendet ist, wird das Zählwerk durch Nachlassen der Schnur ausgerückt, der Flügel aus dem Wasser gehoben und der neue Stand des Zählers ermittelt.

Bei der vorbeschriebenen einfachen Vorrichtung gestaltet sich das Meßverfahren ziemlich zeitraubend und wird in großen Wassertiefen sehr schwierig und umständlich. Die Verwendung sol-

cher „Taschenflügel“, die, wie auch die weiter beschriebenen Flügel, von den bekannten Fein-Werkstätten A. Ott in Kempten-Bayern in hervorragender Güte geliefert werden, bleibt daher auf kleine Gewässer beschränkt und auch da, wenn die Wassergeschwindigkeit den Betrag von 0,10 m/sek nicht unterschreitet.

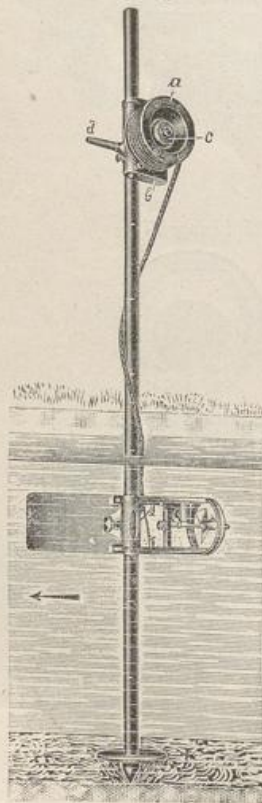
In der Regel sind die Flügel mit elektrischer Zeichengebung versehen, die gemeinsam mit der Stromquelle beim Beobachter aufgestellt ist und ohne Unter-

Abbildung 278.



brechung über die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schaufelrades Aufschluß gibt. Dabei kann die Messung in beliebiger Tiefe vorgenommen werden, ohne daß es

Abbildung 279.



nötig wird, den Flügel zur Ablesung aus dem Wasser zu heben. Die Zeichengebung erfolgt gewöhnlich an einer einfachen elektrischen Glocke, die mittels einer am Flügel angebrachten Stromschlußvorrichtung nach jeder 25sten, 50sten oder 100sten Umdrehung des Flügels zum Tönen gebracht wird. Beobachtet man die Zeit, die von einem Glockenzeichen zum anderen verstreicht, so wird hieraus die Anzahl der Umdrehungen in 1 Sekunde, ferner auch die Wassergeschwindigkeit, wie später noch anzugeben ist, berechnet.

Für größere Arbeiten haben die genannten Werkstätten A. Ott-Kempten besondere Meßausrüstungen geschaffen, bei denen auf elektrischem Wege die erforderlichen Beobachtungen selbsttätig erfolgen und auf ein Papierband übertragen werden. Ueber diese Vorrichtungen soll hier nicht berichtet werden; es sei vielmehr auf die Mitteilungen von A. Ott: *Moderne Instrumente der Hydrometrie*, Kempten 1913, verwiesen.

Einen elektrischen Flügel kleiner Abmessung zeigen die Abbildungen 278 und 279. Der Flügel gleitet an der mit einer Teilung versehenen Stange, an die er festgeklemmt werden kann, und ist mit einem Steuerrade verbunden, um die stets einzuhaltende Stellung des Schaufelrades winkelrecht zum Durchflußquerschnitt zu unterstützen. Vom Rahmen des Flügels geht

eine Leitungsschnur zu einer kleinen Trommel a (Abbil. 279), die auf einem Metallgehäuse b sitzt und zum Aufwickeln der Leitungsschnur dient. Im Ge-

Abbildung 280.

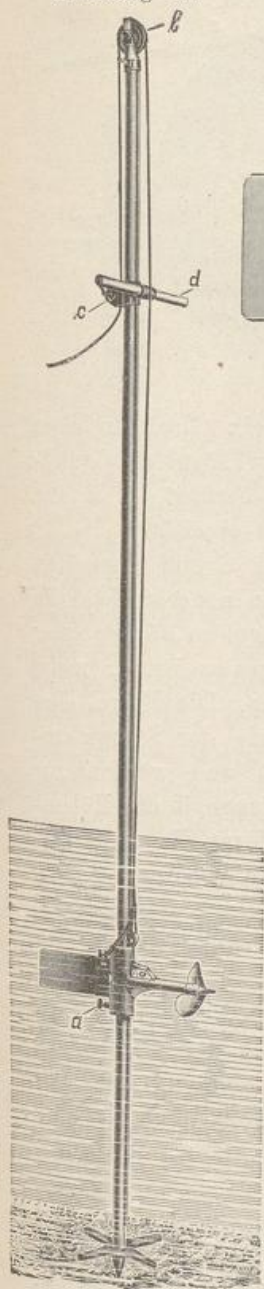
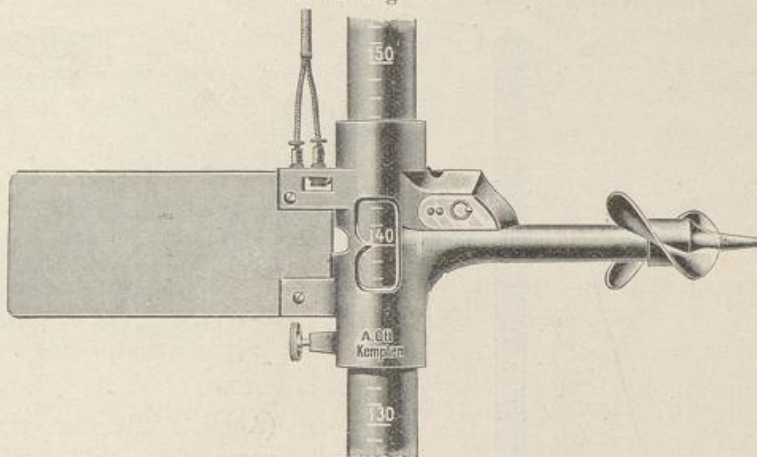


Abbildung 281.



häuse b sitzt ein Trockenelement; c ist eine kleine elektrische Glocke, während d ein kurzer Hebel ist, der die richtige Stellung des Flügels unter Wasser anzeigt.

Beim Gebrauch wird der Flügel an bestimmter Stelle der Stange festgeklemmt, die eine Grundscheibe (Abbil. 279) gegen Versinken im weichen Boden trägt. Sind fortlaufende Beobachtungen auszuführen, so muß die Stange jedesmal zwecks Einstellung des Flügels in neuer Höhenlage aus dem Wasser gehoben werden. Dies läßt sich vermeiden bei den größeren und daher genügend schweren Flügeln, die meist lose auf die Stange gesteckt und mittels eines über das obere Ende laufenden Seiles gehoben und gesenkt werden. Eine Vorrichtung solcher Art ist in der Abbil. 280 zu sehen, zu der im größeren Maßstabe der Flügel nach Abbildung 281 gehört.

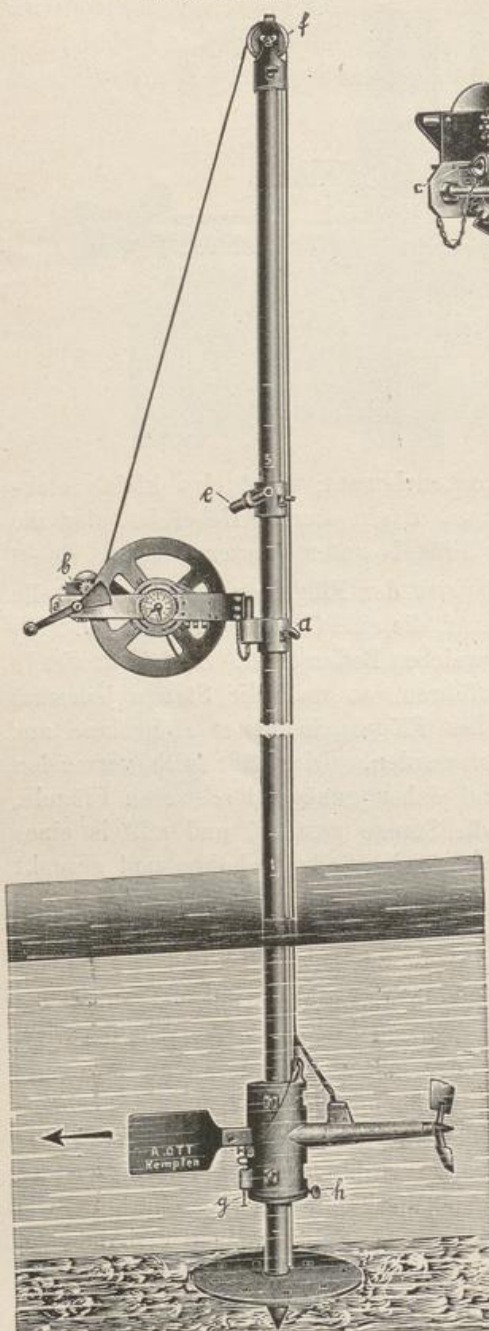
Der Flügel hängt an einem Drahtseil, das über die Rolle b läuft und durch die Seilklemme c festgehalten wird. An der Teilung der Stange läßt sich die lotrechte Bewegung des Flügels, der im übrigen mittels der Schraube a eingestellt werden kann, ablesen. Um eine Drehung des Flügels auf der runden Stange zu verhindern, ist auf dieser der ganzen Länge nach eine Vierkante angebracht. Die Stange wird an einem mit der Seilklemme c verbundenen, etwa 0,5 m langen Richthebel d gehalten, mit dem zugleich

die Stellung des Flügels in der Stromrichtung (s. o.) überwacht wird.

Schwerere Flügelnstrumente sind mit der Seilklemme nicht leicht zu handhaben, weshalb in solchen Fällen besondere Aufwindtrommeln verwendet werden, siehe die Abbildungen 282 und 283. Die Trommeln zeigen an der Seite

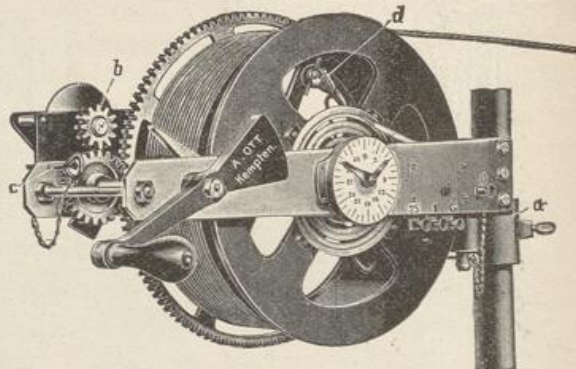
ein Zifferblatt, an dem die Tauchtiefe des Flügels auf Zentimeter genau abgelesen werden kann. Eine bemerkenswerte Vorkehrung ist hier ein Grundtaster g

Abbildung 282.



sie leicht gehoben oder gesenkt wird. Die Flügelstangen sind auf ihrer ganzen Länge von Zentimeter zu Zentimeter durchbohrt und mit einer Bezifferung ver-

Abbildung 283.



(Abbil. 282), der ein Glockenzeichen veranlaßt, sobald der Flügel die Grundscheibe der Stange berührt, d. h. die Sohle des Flußlaufes erreicht.

Neben den auf Grund gestellten Flügelstangen hat in neuerer Zeit die Verwendung der Flügel an hängender Stange nach Dr. Epper immer mehr Verbreitung gefunden. Die Flügel sind an dem unteren Ende der Stange unverrückbar befestigt und werden zur Messung samt der Stange in der Höhenlage verschoben. Hierzu dienen besondere Stangenhalter, die in zwei Arten, als „Halter mit Hebelsprung“ und als „Halter mit Windwerk“ hergestellt werden.

Bei der ersteren Einrichtung (Abbildung 284) besteht der Halter aus einem die Stange mantelförmig umschließenden, etwas länglichen Gehäuse mit einem Klappdeckel a, der durch einen einzigen Zug an einem Riegel b geöffnet und geschlossen werden kann. In diesem Gehäuse wird die Stange in beliebiger Höhenlage selbsttätig festgehalten durch einen Kniehebel c, bei dessen Niederdrücken mit der Fußspitze

sehen, deren Nullpunkt am oberen Ende der Stange liegt. Der Lochreihe in der Flügelstange entspricht an dem Haltergehäuse ein gleichlaufender, je nach der Größe des Halters 25 cm, 40 oder 60 cm langer Schlitz, neben dem die entsprechende Teilung und eine Bezifferung aufgetragen ist. Zur Lotrechtstellung der Stange ist am Halter eine Dosenwage (I. Teil, S. 82) befestigt.

Das Ganze ruht auf einem kräftigen Brett, das beim Gebrauche mit einem entsprechend großen Stein beschwert und entlang eines wagerecht angeordneten Steges an die Meßstelle geschoben wird.

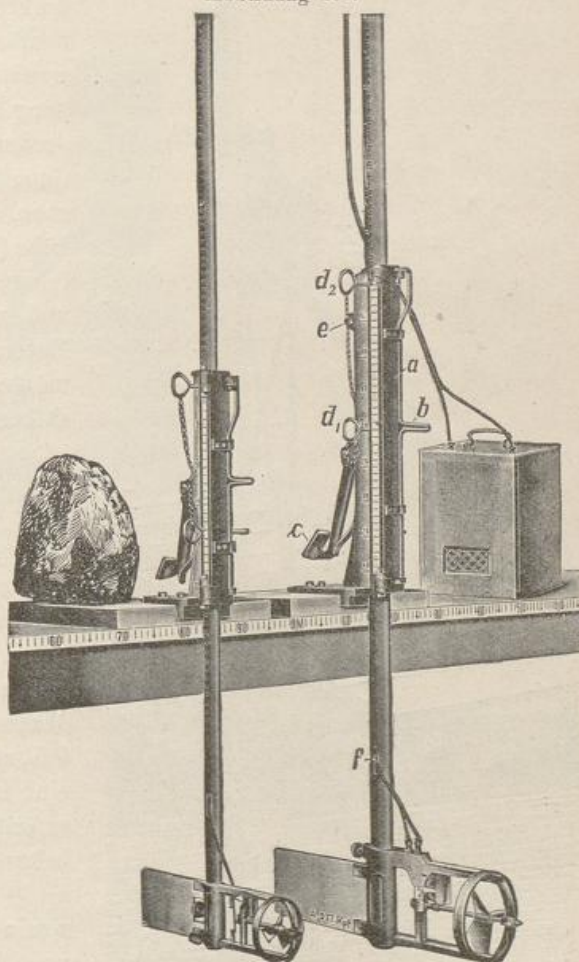
Ein Halter mit Windwerk wird gemäß der Abbildung 285 ausgeführt. Er besteht aus einem sehr standhaften, zusammenlegbaren Stabgestell BCD,

dessen abnehmbarer Kopf A mit einer Winde versehen ist. Die Flügelstange, die hier, wie meist bei allen größeren Flügeln, einen spitzeiförmigen Querschnitt zeigt, ist mit einer Zentimeter-Teilung und passender Bezifferung versehen und hat in Abständen von je 5 cm Querlöcher erhalten. Sie wird mittels der beiden Riegel r in zwei lotrecht übereinander liegende Führungen des Gestelles gedrückt und durch die Klemmbacken M und M₁ oder, wenn nötig, durch Stifte in ihrer Höhenlage gehalten. Mit der oberen Klemmbacke M₁ ist ein in gleicher Weise geteiltes dünnes Stahlrohr von 2,5 m Länge fest verbunden, das parallel der Flügelstange durch Führungen am Halter hindurch abwärts geht und mit seinem unteren Ende an dem von der schmalen Windentrommel herabhängenden Drahtseile befestigt ist. Mit Hilfe der Kurbel K läßt sich bei gelöster unterer Klemmbacke M die Flügelstange nach Belieben verschieben, wobei eine Kurbeldrehung genau 20 cm entspricht.

Bei größeren Wassertiefen und starker Spannung wird das untere Ende der Stange durch Spannseile versichert, die in Oesen der Hülse H (Abbil. 285)

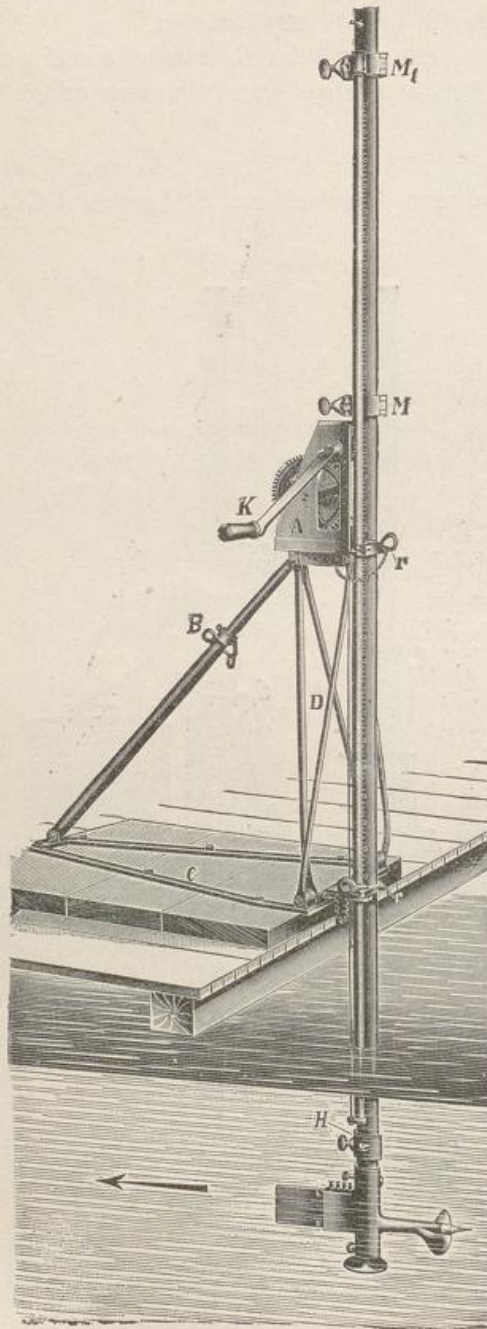
Schewior, Das Feldmessen II.

Abbildung 284.



eingehängt werden. Die mit der zuletzt beschriebenen Einrichtung versehenen Flügel haben einen großen elektrischen Grundtaster G (Abbil. 286) erhalten, um das Aufstoßen des Flügels auf der Sohle des Flußlaufes sofort anzuzeigen.

Abbildung 285.



β) Eichung.

Die Beziehung der sekundlichen Flügelumdrehungen zur Wassergeschwindigkeit wird durch Gleichungen angegeben, deren Form durch eingehende Versuche festgestellt ist. Wenn die Flügelschaufeln vollkommen schraubenförmig gekrümmt wären und die Bewegung der Flügelachse ohne jede Reibung erfolgte, dann würde jede Umdrehung einem Wasserwege gleich der Ganghöhe des Schaufelrades entsprechen. Wäre k das Maß für die Ganghöhe (in Metern), n die Zahl der Schaufelumdrehungen (in einer Sekunde) und v die Wassergeschwindigkeit (in Metern für 1 Sekunde = m/sek), dann müßte die allgemeine Gleichung bestehen:

$$v = k \cdot n.$$

Selbst bei sorgfältigster Ausführung bleiben gewisse kleine Fehler und geringe Reibungen bestehen, die zusammen eine Verzögerung in dem Umlaufe des Schaufelrades hervorrufen. Der Einfluß macht sich aber in der Regel nur bei sehr geringen Wassergeschwindigkeiten, etwa unter 0,5 m/sek geltend, so daß für diese eine Erweiterung der obigen Gleichung erforderlich wird. Die hierfür meist bekannte Formel heißt:

$$v = a \cdot n + \sqrt{b n^2 + c},$$

worin a , b und c Festwerte sind, die von der Ganghöhe des Schaufelrades, von der Bauart des Flügels und von den auftretenden Reibungswiderständen abhängen.

Beim Ankauf eines Flügels werden von den Werkstätten, unter denen diejenigen von A. Ott in Kempten-Bayern als erste gelten, die beiden Gleichungen

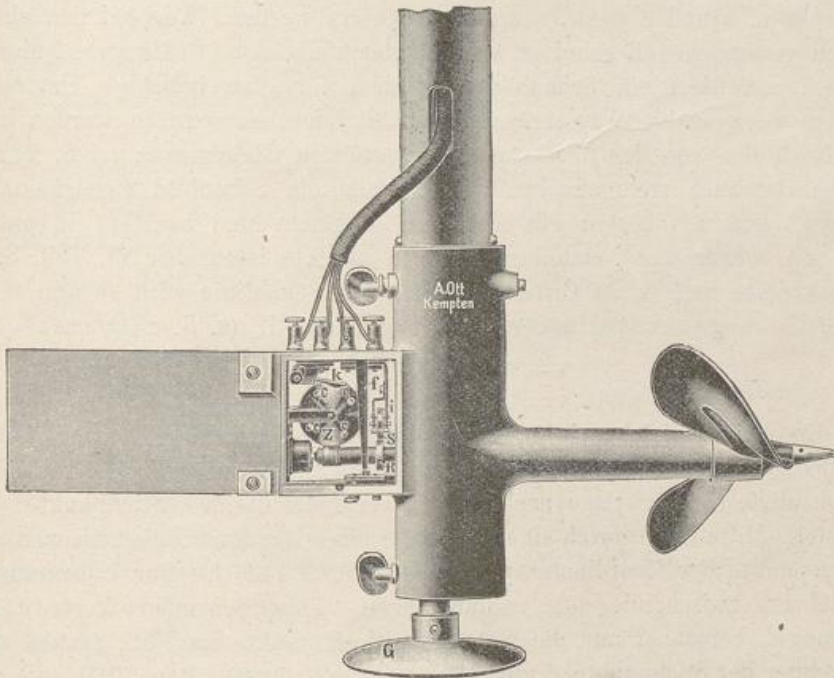
mit den genannten Festwerten, die nach einem Musterflügel in einwandfreier Weise festgestellt werden, bekannt gegeben. Dabei wird gleichzeitig mitgeteilt, von welcher Umdrehungszahl ab die einfachere Form in Betracht kommt. So besagen z. B. die Angaben:

$$\text{I. } n < 1,9; v = 0,212 n + \sqrt{0,0036 n^2 + 0,0012}$$

$$\text{II. } n > 1,9; v = 0,275 n,$$

daß bei einer Umdrehungszahl n kleiner als 1,9 die Gleichung I. Gültigkeit hat, in der a , b , c die Beträge 0,212 bzw. 0,0036 bzw. 0,0012 erhalten haben, während die Gleichung II. für n größer als 1,9 nach $v = 0,275 \cdot n$, also mit $k = 0,275$, zur Anwendung gelangt. An der Uebergangsstelle $n = 1,9$ liefern beide Gleichungen selbstverständlich das gleiche Ergebnis.

Abbildung 286.



In gewissen Fällen, beispielsweise bei der Abfassung von Gutachten in Streitfällen, oder bei der Uebergabe oder Abnahme von Kraftanlagen, Turbinenwerken usw. (s. a. u.), wird es stets angezeigt sein, eine amtliche Nachprüfung der Gleichungen durch die zuständige Stelle vornehmen zu lassen. Für eine solche „Eichung“ kommen in Deutschland vor allem die „Kgl. Versuchsanstalt*) für Wasserbau und Schiffbau“ in Berlin, Schleuseninsel im

*) Die Anstalt ist das ganze Jahr über geöffnet, doch wird in größeren Zwischenräumen die Fahrinne der Anstalt ausschließlich für Untersuchungen des Schiffbaues benutzt, so daß zu diesen Zeiten Flügeleichungen nicht ausgeführt werden können. Die Gebühr für die Eichung eines Schaufelrades beträgt 50,00 Mark, außerdem 3,00 Mark an Stempelabgaben für das Prüfungszeugnis.

Tiergarten, und die „Hydrometrische Prüfungsanstalt*) der Kgl. Technischen Hochschule“ in München in Betracht. Die Eichung erfolgt gewöhnlich durch „Fahrten“ in stillstehendem Wasser, durch Schleppversuche, und wird von der Prüfungsanstalt in München in der allgemein gehaltenen Gleichung

$$v = k(1 - \beta) \cdot n + \sqrt{(k \cdot \beta)^2 \cdot n^2 + v_0^2}$$

zum Ausdruck gebracht. Auch hier sind k , β und v_0 bei der Prüfung ermittelte Festwerte.

Die Kgl. Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin gibt in dem Prüfungszeugnisse zwei Gleichungen (s. o.) an, die folgende Form haben:

$$\text{I. } v = a + b \cdot n + c \cdot n^2$$

$$\text{II. } v = a + b \cdot n,$$

wobei sowohl für I., wie für II. entsprechend der Umdrehungsanzahl n besondere Werte für a , b und c bzw. a und b beigelegt werden. Die bei den einzelnen Fahrten gewonnenen Ergebnisse werden gleichfalls dem Prüfungszeugnisse beigegeben, außerdem ein Schaubild, aus dem für eine beliebige Umdrehungsanzahl n die gesuchte Wassergeschwindigkeit leicht entnommen werden kann.

Nach den von den Werkstätten mitgeteilten Gleichungen (s. S. 242) wird für den Gebrauch stets zweckmäßig ebenfalls ein Schaubild gezeichnet. Man benutzt hierzu am besten ein farbiges Liniennetz und beziffert in passender Weise die wagerechte Netzteilung nach n als Abscissenachse (I. Teil, S. 140), die senkrechte nach v als Ordinatenachse. Die Schaulinie wird sodann zunächst für die Uebergangsstelle der Gleichung I. und II. (s. S. 243) nach

$$v = a \cdot n + \sqrt{b \cdot n^2 + c}$$

$$\text{und } v = k \cdot n,$$

deren Ergebnisse gleich sein müssen, eingerechnet und durch einen Nadelstich kenntlich gemacht. Hierauf bestimmt man noch für das Ende und etwa die Mitte der Schaulinie die Punktlage nach II. und verbindet die drei Stichpunkte: Uebergangsstelle-Mitte-Ende durch eine Linie, die eine Gerade ist. Sodann werden vom Anfangspunkte des Koordinatensystems (I. Teil, S. 140) bis zur Uebergangsstelle für mehrere zwischenliegende n nunmehr die entsprechenden Werte nach der Gleichung I. berechnet und die Geschwindigkeitspunkte im Netz gestochen. Die Verbindung der Stichpunkte ergibt eine sanft gekrümmte Bogenlinie, die an der Uebergangsstelle in die frühere gerade Schaulinie übergeht.

Für die einfache Berechnung des Wurzel Ausdruckes wird von den Werkstätten A. Ott den Gleichungen eine Zahlentafel (s. S. 245 unten) beigelegt, durch die die Rechnung sehr erleichtert wird.

Beispiel. Für die auf Seite 243 angegebenen Flügelgleichungen

$$\text{I. } n < 1,9; v = 0,212 n + \sqrt{0,0036 n^2 + 0,0012}$$

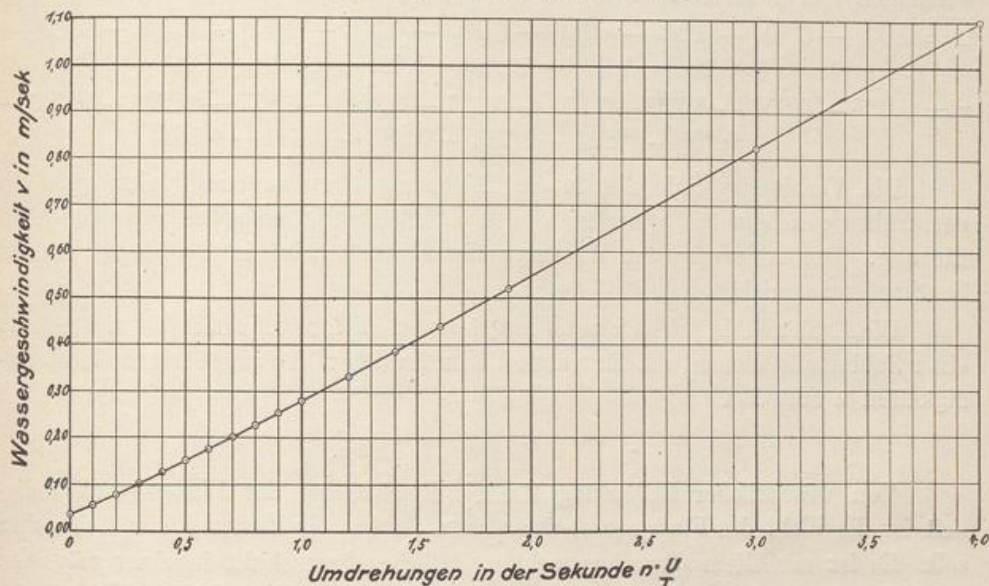
$$\text{II. } n > 1,9; v = 0,275 n$$

ist das Schaubild der Eichung zu zeichnen.

*) Die Anstalt ist während des ganzen Jahres mit Ausnahme der Zeit von Anfang August bis Mitte Oktober geöffnet. Die Kosten der Eichung einer Schaufel betragen 50,00 Mark mit Einschluß des Prüfungszeugnisses.

Das in Abbildung 287 dargestellte Netz ist wagerecht nach n , senkrecht nach v — mit dem Nullpunkte links — beziffert.

Abbildung 287.
Schaubild der Eichung
für den Flügel Nr. 3458 von A. Ott-Kempton.



Die Punktlage der Schaulinie an der Uebergangsstelle ist die gleiche; für $n = 1,9$ erhält man nach:

$$\begin{aligned} \text{Gl. I. } v &= 0,212 n + \sqrt{0,0036 n^2 + 0,0012} \\ &= 0,212 \cdot 1,9 + \sqrt{0,0036 \cdot 1,9^2 + 0,0012} \\ &= 0,403 + 0,119 \\ &= 0,522 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gl. II. } v &= 0,275 \cdot n \\ &= 0,275 \cdot 1,9 \\ &= 0,522 \text{ m.} \end{aligned}$$

Der Wurzel Ausdruck wird der nachstehenden Zahlentafel für 1,9 entnommen.

n	0	5	n	0	5
0,0	0,035	0,035	1,0	0,069	0,072
0,1	0,035	0,036	1,1	0,075	0,077
0,2	0,037	0,038	1,2	0,080	0,083
0,3	0,039	0,040	1,3	0,085	0,088
0,4	0,042	0,044	1,4	0,091	0,094
0,5	0,046	0,048	1,5	0,096	0,099
0,6	0,050	0,052	1,6	0,102	0,105
0,7	0,054	0,057	1,7	0,108	0,111
0,8	0,059	0,062	1,8	0,113	0,116
0,9	0,064	0,067	1,9	0,119	0,122
1,0	0,069	0,072	2,0	0,125	0,128

Für den weiteren Verlauf der Schaulinie, die hier nur bis $n = 4,0$ gezeichnet werden soll, werden zu $n = 3,0$ und $n = 4,0$ die Geschwindigkeiten ermittelt, die sich ergeben zu

$$v_3 = 0,275 \cdot 3,0 \quad \text{und} \quad v_4 = 0,275 \cdot 4,0 \\ = 0,825 \text{ m.} \quad \quad \quad = 1,100 \text{ m.}$$

Die Geschwindigkeitspunkte werden in das Netz eingetragen und verbunden. Mit Hilfe der vorstehenden Zahlentafel werden sodann die Werte der Gleichung I. berechnet, und zwar ist für:

$$n = 0,00 \quad - 0,10 \quad - 0,20 \quad - 0,30 \quad - 0,40 \quad - 0,50 \quad - 0,60 \quad - 0,70 \quad - 0,80 \quad - \\ 0,90 \quad - 1,00 \quad - 1,20 \quad - 1,40 \quad - 1,60 \quad - 1,90 \\ v = 0,035 \quad - 0,056 \quad - 0,079 \quad - 0,103 \quad - 0,127 \quad - 0,152 \quad - 0,177 \quad - 0,202 \quad - 0,229 \quad - \\ 0,255 \quad - 0,281 \quad - 0,334 \quad - 0,388 \quad - 0,441 \quad - 0,522.$$

Die Verbindungslinie der in die Zeichnung übertragenen Punkte gibt mit der früher gezeichneten Geraden von $n = 1,9$ ab die gesuchte Schaulinie der Eichung. Die Ablesung der Wassergeschwindigkeit wird in der Regel bis auf Zentimeter ausreichen.

Die Zahlenwerte (siehe vorstehend) können auch mit Vorteil der Aufstellung einer Zahlentafel dienen, die für runde Umlaufzahlen n die zugehörigen Geschwindigkeiten v aufweist.

γ) Das Meßverfahren.

Von wesentlicher Bedeutung für die Ermittlung der Wassergeschwindigkeit ist die Wahl des Flußquerschnittes, in welchem die Messung vor sich gehen soll. Es ist vor allem darauf zu achten, daß der Querschnitt in einer möglichst regelmäßigen, nahezu geraden, von Stauwirkungen unbeeinflussten Flußstrecke liegt, die von Einbauten, Inseln und Pflanzenwuchs frei ist, bei allen Wasserständen dieselbe Querschnittsform zeigt und dieselbe Lage des Stromstrichs („Der Wasserbau“, Bd. I, S. 46) hat und eine möglichst unveränderliche Sohle sowie ein gleichmäßiges Gefälle aufweist. Die Messungen sind stets mit großer Sorgfalt auszuführen; das gilt nicht allein für die Bestimmung der Wassergeschwindigkeit, sondern insbesondere auch für die Aufnahme der Querschnittsfläche des Flußlaufes, über die schon Seite 95 und 99 das Erforderliche mitgeteilt ist.

Je nach der Genauigkeit, die man der in Betracht kommenden Arbeit zugrunde zu legen hat, ist das einzuschlagende Verfahren mehr oder minder einfach.

1. Punktmessung. Das beste Ergebnis erzielt man durch Feststellung der an einzelnen Stellen des Flußquerschnittes herrschenden Wassergeschwindigkeit, indem man in nicht weit voneinander abstehenden Lotrechten 1, 2, 3 (Abbil. 288) dicht über der Fußsohle, in zwei oder mehr Punkten zwischen Sohle und Wasserspiegel, sodann schließlich nahe unter diesem je eine Geschwindigkeitsmessung vornimmt. Bei der Auswahl der Meß-Lotrechten ist auf die Gestaltung des Flußbettes Rücksicht zu nehmen; man verlege sie in die Brechpunkte der Ufer und der Sohle (Abbil. 288), stets eine von ihnen aber in den Stromstrich. Es ist daher angebracht, den Querschnitt, wenn auch vielleicht nur roh, vorher aufzunehmen und aufzutragen, um hiernach die Lage der Lotrechten einzurichten. In keinem Falle sollte planlos vorgegangen werden.

Gleichzeitig mit den Geschwindigkeitsmessungen erfolgt in der Regel die genaue Aufnahme des wasserführenden Querschnittes, die sich beide sehr einfach vollziehen, wenn von einem Messungssteg*) (s. a. S. 97) die Arbeiten geleitet werden können. Längs eines gespannten Meßbandes oder einer Peilleine (s. S. 98) werden die Flügelbeobachtungen in den ausgewählten Lotrechten vorgenommen. In der Regel wird an der Sohle begonnen, nur wenn hier starker Sandtrieb herrscht, wird dicht unter der Wasseroberfläche angefangen und nach unten zu gearbeitet. Die Meßpunkte einer Lotrechten sollen um nicht weniger als den

Abbildung 288.

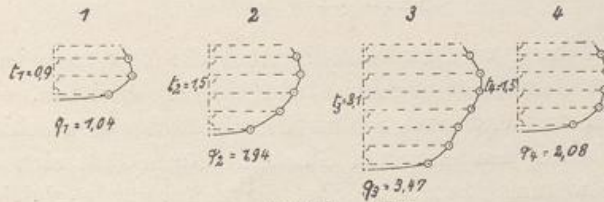
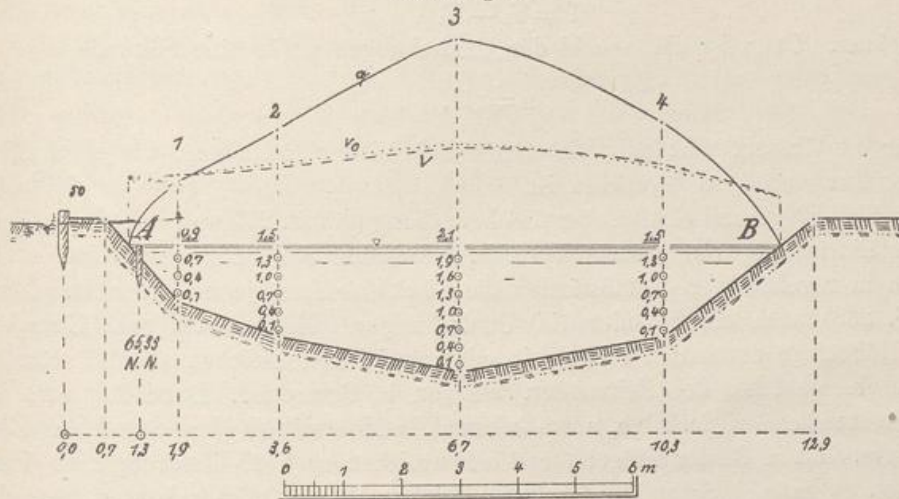


Abbildung 289.

Durchmesser des Schaufelrades, dagegen um nicht mehr als etwa 1 m, im Mittel also um etwa 0,5 bis 0,6 m abstehen.

Der Flügel wird auf der Stange in gewünschter Höhenlage winkelrecht zum wasserführenden Querschnitt gehalten und, wenn es sich um die einfache Einrichtung nach Abbil. 276 handelt, für jeden Meßpunkt zur Entnahme der Umdrehungen aus dem Wasser gehoben. Die Messung soll in jedem Punkte bei ruhiger Strömung wenigstens 1 Minute, bei unruhigem Wasser hingegen 3 bis 5 Minuten dauern. Hierbei wird beim Anziehen der Schnur (s. S. 237) durch einen Druck auf die Krone der Zeitmesser H (Abbil. 277) in Gang gebracht,

*) Ueber schwierigeren Aufnahmen siehe: „Der Wasserbau“ von S. Deutsch, Bd. I des Handbuches des Bauingenieurs, S. 44.

nach Verlauf der obigen Zeit durch Nachlassen der Schnur der Flügel und durch einen zweiten Druck auf die Krone der Zeitmesser außer Tätigkeit gesetzt, worauf die Zahl der Umdrehungen U und die Zeitdauer T (in Sekunden) bestimmt wird. War die Ablesung vor dem Eintauchen des Flügels ins Wasser U_1 , nach der Messung U_2 , so beträgt die Zahl der Umdrehungen:

$$U = U_2 - U_1.$$

Die Zeitdauer T wird am Zeitmesser (Abbil. 277) sofort abgelesen; bei Benutzung einer gewöhnlichen Taschenuhr wird aus T_1 und T_2 der Ablesung beim Anziehen bzw. Nachlassen der Schnur

$$T = T_2 - T_1$$

berechnet. Dann ist die Anzahl der Umdrehungen n für eine Sekunde

$$n = \frac{U}{T},$$

wofür die Wassergeschwindigkeit v entsprechend der Erfahrung, wie oben näher ausgeführt wurde, zu berechnen ist.

Sind Flügel mit elektrischer Glockengebung (Abbil. 279 und weiter) versehen, einer Einrichtung von großem Vorteile, wie schon Seite 238 gesagt ist, so ertönen in regelmäßigen Zeitabständen die Glockenzeichen, je nach der Anordnung (s. S. 238) nach 25, 50 oder 100 Umdrehungen. Man wartet nach Einnahme der Höhenlage durch den Flügel ein oder zwei Glockenzeichen ab und setzt am Ende eines solchen den Zeitmesser, wie vor, in Bewegung. Dann läßt man das Glockenzeichen wiederholen, etwa viermal, und ermittelt den Stand des Zeitmessers. Ist z. B. der Flügel für Glockenzeichen nach 25 Umdrehungen eingerichtet, so hat das Schaufelrad bei vier Zeichen $U = 100$ Umdrehungen gemacht; die dazu gebrauchte Zeit sei T Sekunden, dann ist die Umdrehungszahl

$$n = \frac{100}{T}.$$

Bei einiger Uebung wird zweckmäßig auch die Zeit nach jedem einzelnen Glockenschlage am Zeitmesser abgelesen und niedergeschrieben, ohne den Zeitmesser abzustellen, was erst zum Schluß der Beobachtung geschieht. Aus den Zeitabständen zwischen den einzelnen Glockenschlägen läßt sich ein Aufschluß über die Wasserbewegung gewinnen. Sind die Zeitabstände gleich, so hat man es mit einer gleichmäßigen Wassergeschwindigkeit zu tun, und man kann sich mit einer Beobachtung von etwa einer Minute begnügen. Im anderen Falle ist, was oft eintritt, die Wassergeschwindigkeit unregelmäßig, und die Messung muß auf eine längere Zeit, 3 bis 5 Minuten, ausgedehnt werden, um einen möglichst genauen Mittelwert zu erhalten.

Die letztbeschriebene Beobachtung bietet auch den Vorteil, daß Störungen im Gange der Flügel leicht erkannt werden. Erfolgen die Glockenzeichen in stark verschiedenen Zeitabständen, so zeigt entweder das Schaufelrad oder die elektrische Leitung Mängel. Man hebt den Flügel aus dem Wasser und untersucht, ob etwa Gras, Laub, Aeste oder ähnliches den Gang des Flügels beeinträchtigt. Falls dies nicht zutrifft, kann der Fehler nur an der elektrischen Leitung liegen, deren Verbindungen genau nachzusehen sind. Bei längerer Arbeit in sehr kalkhaltigem Wasser wird der Stromübertrag zwischen Feder und Zahn-

rad (Abbil. 278) bisweilen durch eine dünne Kalkschicht unterbrochen, die mit der Messerspitze vorsichtig wegzuschaben ist. Wird ein Nachlassen der Stromquelle wahrgenommen, so ist diese durch eine neue elektrische Zelle (Element) zu ersetzen.

Ist in sehr schmutzigem oder sandigem Wasser gemessen worden, so ist der Flügel nach dem Gebrauch in reinem Wasser auszuspülen, was wohl stets möglich ist.

Was über die sonstige Behandlung, z. B. bezüglich des Oelens und der Reinhaltung, gilt, wird beim Ankauf des Flügels in einer Anweisung von den Werkstätten bekannt gegeben.

Das Messungsergebnis wird für jede Lotrechte in ein entsprechendes Feldbuch niedergeschrieben, in das auch weiter die Wassergeschwindigkeiten eingetragen werden. Während der Messung ist, worauf besonders hingewiesen sei, streng auf eine eintretende Aenderung der Wasserspiegelhöhe zu achten, da die Ermittlungen durch ein Steigen oder Fallen des Wasserspiegels wesentlich beeinflusst werden. Der Wasserstand wird sehr einfach an einem Eichpflock beobachtet, den man in eine Einbuchtung des Ufers schlägt.

Beispiel 1. Für die Ermittlung der abgeführten Wassermenge ist der Querschnittsplan eines Bachlaufes (Abbil. 288) und das nachstehende Feldbuch gegeben.

Die Lotrechten sind nach einer rohen Feststellung (s. S. 246 unten) in die wesentlichen Brechpunkte des Bachbettes gelegt und ihrer Lage nach durch Längenmessung bekanntgegeben. Die Geschwindigkeitsbestimmungen wurden in der Nähe der Sohle und des Wasserspiegels, sonst in Abständen von 30 cm in den Lotrechten vorgenommen. Das Feldbuch enthält für die Meßpunkte jeder Lotrechten die Zahl der Umdrehungen n für eine Sekunde nach $n = \frac{U}{T}$ (s. o.)

Feldbuch zur Wassergeschwindigkeits-Messung.

Siehe Abbildung 288.

Meßpunkt	$n = \frac{U}{T}$	v/sek m	Meßpunkt	$n = \frac{U}{T}$	v/sek m
Lotrechte 1.			Lotrechte 3.		
0,10	2,98	0,82	0,10	4,04	1,11
0,40	4,80	1,32	0,40	5,42	1,49
0,70	4,62	1,27	0,70	6,04	1,66
Lotrechte 2.			1,00	6,84	1,88
0,10	2,55	0,70	1,30	7,31	2,01
0,40	4,40	1,21	1,60	7,35	2,02
0,70	5,24	1,44	1,90	6,73	1,85
1,00	5,68	1,56	Lotrechte 4.		
1,30	5,46	1,50	0,10	3,24	0,88
			0,40	5,13	1,41
			0,70	5,53	1,52
			1,00	5,68	1,56
			1,30	5,34	1,47

und daneben die entsprechende Wassergeschwindigkeit v/sek , die dem Schaubilde Abbil. 287 entnommen ist.

Die Unveränderlichkeit des Wasserspiegels (s. S. 249 Mitte) wurde während der Messung an einem Eichpflock beobachtet; der Wasserspiegel zeigte die gleichbleibende Höhe 65,33 m über N.N. (s. Abbil. 288).

Um die Wassermenge Q abzuleiten, werden die Geschwindigkeiten für jede Lotrechte aufgezeichnet, indem man als Abscissen die Tiefen, als Ordinaten die Geschwindigkeiten in den Meßpunkten annimmt, siehe die Abbild. 289. Werden sodann die Endpunkte der Ordinaten durch eine stetig verlaufende Linie verbunden, die bis zum Sohlenpunkt, nach oben bis zur Wagerechten durch den Wasserspiegelpunkt gezogen wird, so erhält man in jeder Zeichnung den Schnitt desjenigen Wasserkörpers, der in einer Sekunde durch die betreffende Lotrechte fließt. Wird der Inhalt dieser nach $q_1, q_2, q_3 \dots$ berechnet (Planimeter oder Harfe, s. I. Teil, S. 195 bzw. 201) und im Querschnittsplan (Abbil. 288) auf den Lotrechten vom Wasserspiegel aus nach oben abgetragen, werden weiter die Endpunkte dieser Strecken sowie die Berührungspunkte A und B des Wasserspiegels mit dem Ufer durch eine flüssige Linie verbunden, so stellt diese die „Wassermengenlinie“ q dar. Die von ihr und von dem Wasserspiegel AB eingeschlossene Fläche stellt die gesuchte Abflußmenge Q dar. Sie beträgt hier unter Berücksichtigung des Maßstabes

$$Q = 24,01 \text{ cbm.}$$

Die mittlere Wassergeschwindigkeit v im ganzen Querschnitt F des Flußlaufes läßt sich dann nach

$$v = \frac{Q}{F},$$

$$\text{hier zu} \quad v = \frac{24,01}{16,51} = 1,45 \text{ m}$$

bestimmen.

Vielfach wird aber nach dem eben geschilderten Vorgange die „Wassergeschwindigkeitslinie“ v gezeichnet, indem man die $q_1, q_2, q_3 \dots$ (s. o.) durch die bezüglichen Wassertiefen $t_1, t_2, t_3 \dots$ (s. Abbil. 289) teilt und nach

$$v_m = \frac{q}{t},$$

d. h. die mittlere Geschwindigkeit in der Lotrechten erhält, die sich hier nacheinander ergibt zu:

$$v_{m1} = \frac{q_1}{t_1} = \frac{1,04}{0,90} = 1,16 \text{ m}; \quad v_{m3} = \frac{q_3}{t_3} = \frac{3,47}{2,10} = 1,65 \text{ m};$$

$$v_{m2} = \frac{q_2}{t_2} = \frac{1,94}{1,50} = 1,29 \text{ m}; \quad v_{m4} = \frac{q_4}{t_4} = \frac{2,08}{1,50} = 1,38 \text{ m}.$$

Die gefundenen v_m werden auf den zugehörigen Lotrechten, wie oben die q , abgetragen und die Endpunkte dieser Strecken durch eine sich anschmiegende Linie verbunden. Die Lage der Linie in den Lotrechten durch die Berührungspunkte A und B wird durch Verlängerung der nachstehenden „Oberflächengeschwindigkeitslinie“ v_0 über die Lotrechten 1 bzw. 4 gewonnen. Wird die von dieser und dem Wasserspiegel begrenzte Fläche durch die Wasserspiegel-

breite AB geteilt, so erhält man gleichfalls die mittlere Durchflußgeschwindigkeit v , die im vorliegenden Beispiel

$$v = \frac{15,60}{11,20} = 1,39 \text{ m}$$

beträgt und mit der oben berechneten (s. S. 250) $v = 1,45 \text{ m}$ ziemlich gut übereinstimmt. Man erhält durch dieses Verfahren auch eine gewisse Probe für die richtige Ermittlung der Wassermenge Q , die sich nach F und dem eben berechneten v nochmals ergibt, hier zu

$$Q = F \cdot v = 22,95 \text{ cbm},$$

während nach Seite 250 unmittelbar $Q = 24,01 \text{ cbm}$ gewonnen wurde.

Zur Veranschaulichung der Strömungsverhältnisse pflegt man stets die „Oberflächengeschwindigkeitslinie“ v_0 (Abbil. 288) in dem Querschnittsplane darzustellen. Man trägt die Geschwindigkeit des Wasserspiegels v_0 aus den Schnitten der Abbil. 289 auf den Lotrechten ab und zieht, wie oben angegeben, eine Verbindungslinie. Schließlich wird bisweilen noch das Verhältnis berechnet:

$$b = \frac{v}{v_{0,gr}} = \frac{\text{Mittlere Durchflußgeschwindigkeit}}{\text{Größte Oberflächengeschwindigkeit}}$$

wobei die größte Oberflächengeschwindigkeit dem Querschnittsplan (Abbil. 288) entnommen wird, und

$$c = \frac{\left[q \cdot \frac{v_m}{v_0} \right]^*}{[q]} = \text{der Mittelwert aus den Verhältnissen } \frac{v_m}{v_0} \text{ in den einzelnen}$$

Lotrechten.

Die Kenntnis der beiden Größen b und c ist von Bedeutung, wenn zur Berechnung der Abflußmenge des fraglichen Flußquerschnittes, z. B. bei Hochwasser, nur Messungen der Oberflächengeschwindigkeit vorliegen, was mit Rücksicht auf die stark beschränkte Zeit oft vorkommt. In derartigen Fällen wird meist nur das im Stromstriche gelegene $v_{0,gr}$ beobachtet (siehe hierüber S. 254); dann ergibt sich bei den sonst bekannten Abmessungen des Querschnittes

$$v = b \cdot v_{0,gr}$$

und

$$Q = F \cdot v.$$

Ist es dagegen möglich, die Oberflächengeschwindigkeits-Messungen über den ganzen Querschnitt auszudehnen, so wird im Querschnittsplan (Abbil. 288) nach den Ergebnissen die v_0 -Linie gezeichnet und mit Hilfe dieser nach

$$v_m = c \cdot v_0$$

die v -Linie (Abbil. 288) und hieraus $Q = F \cdot v$ abgeleitet, in der Weise, wie oben mitgeteilt wurde.

Beispiel 2. Etwas größere Abmessungen zeigt der Flußlauf nach Abbil. 290. Die Schnitte in den Lotrechten (s. Abbil. 289) sind hier unmittelbar in den Querschnittsplan eingetragen. Gezeichnet ist nur die „Wassermengenlinie“ q , die zusammen mit dem Wasserspiegel gemäß Seite 250 die Durchflußmenge

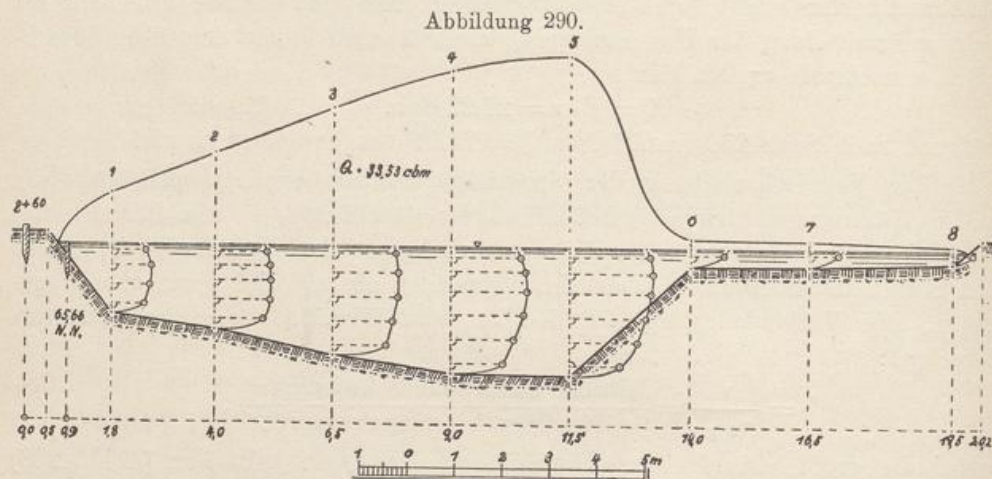
*) Die Klammer $[\]$ bedeutet die Summe aller $q \cdot \frac{v_m}{v_0}$ bzw. im Nenner die Summe aller q .

$$Q = 33,53 \text{ cbm}$$

begrenzt. Die mittlere Durchflußgeschwindigkeit ist hier nach

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{33,53}{27,71} = 1,21 \text{ m}$$

berechnet.



Bei der geringen Wassertiefe in den Lotrechten 6, 7 und 8 wurden die Geschwindigkeitsmessungen nach dem Einpunkt-Meßverfahren vorgenommen, siehe hierüber Seite 253.

2. Fahrtmessung. Entsprechend der Beziehung $v_m = \frac{q}{t}$ nach Seite 250

erhält man $q = v_m \cdot t$, so daß es ohne weiteres zugänglich erscheint, anstelle der Einzelbeobachtungen in den Lotrechten eine Verschmelzung der Messungen eintreten zu lassen, dahingehend, daß die mittlere Geschwindigkeit der Lotrechten unmittelbar beobachtet wird. Dann ist nur die Wassertiefe t mit v_m zu vervielfältigen, um nach $q = v_m \cdot t$ die Wassermengenlinie q gemäß Seite 250 zu erhalten.

Dieses Meßverfahren läßt sich sehr einfach mit Hilfe der in Abbil. 282 dargestellten Flügelanordnung durchführen. Vorausgesetzt wird, daß eine größere Flußtiefe und eine mäßige Wassergeschwindigkeit vorhanden sind.

Der Flügel wird an der Stange mit gleichförmiger Geschwindigkeit vom Wasserspiegel bis zur Sohle und umgekehrt geführt. Aus der Gesamtzahl der auf diesem Wege ermittelten Schaufelumdrehungen und der hierzu erforderlichen Zeit (Zeitmesser Abbil. 277) wird die mittlere Geschwindigkeit zu der Lotrechten

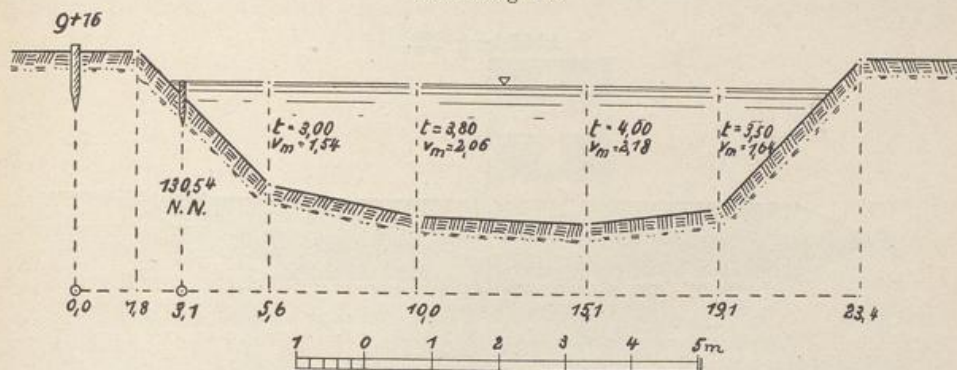
$$v_m \text{ gemäß } \frac{U}{T}$$

nach einem Schaubilde bestimmt und mit der Wassertiefe dem Querschnittsplane beifügt (Abbildung 291).

Eine einwandfreie Messung wird jedoch nur dann erzielt, wenn die Seiltrommel (Abbil. 282) mit einer Ablaufvorrichtung b (Abbil. 283) versehen ist,

die die Senkungsgeschwindigkeit des Flügels selbsttätig regelt*). Auch hier muß selbstverständlich an einem Eichpflocke der Wasserstand während der Messung beobachtet werden (s. S. 249).

Abbildung 291.



3. Einzelne Punktmessungen. Kann man sich mit einer geringeren Genauigkeit begnügen, so wird statt des eingehenden Punkt-Meßverfahrens (siehe S. 246) oder seiner Verschmelzung nach Seite 252 in jeder Lotrechten die vereinfachte Punktmessung durchgeführt.

Beim Dreipunkt-Verfahren, das hier die beste Näherung gibt, wird in 0,17, 0,50 und 0,83 der Wassertiefe t jeder Lotrechten die Flügelbeobachtung vorgenommen. Es ist dann:

$$v_m = \frac{1}{3} (v_{0,17} + v_{0,50} + v_{0,83}).$$

Die Zweipunkt-Messung findet bei 0,2 t und 0,8 t (gerechnet von der Sohle) statt, woraus sich ergibt:

$$v_m = \frac{1}{2} (v_{0,2} + v_{0,8}).$$

Bei kleineren Wasserläufen und Wassertiefen kann auch die Einpunkt-Messung mit Vorteil benutzt werden, wo in 0,67 der Wassertiefe t (gerechnet von der Sohle) unmittelbar v_m gefunden wird.

Die Bemessung der Abflußmenge erfolgt im übrigen nach den früheren Ausführungen, siehe Seite 250 usw.

Wie schon aus Seite 252 zu ersehen ist, wird eins dieser Näherungsverfahren auch da am Platze sein, wo die geringe Wassertiefe weitere Messungen überflüssig oder unmöglich macht.

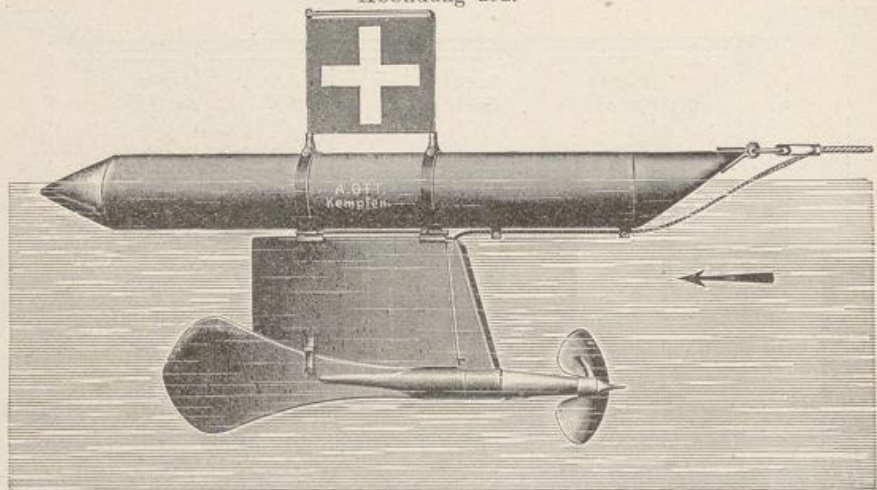
Hier sei noch der „Schleppflügel“ (Abbil. 292) erwähnt, der bei rasch verlaufenden Hochwassern, wo nicht genügend Zeit ist, eine vollständige Messung durchzuführen, wertvolle Dienste leistet. Vielfach kann in solchen Fällen nur die Oberflächengeschwindigkeit im Stromstrich gemessen werden.

Das eigentliche Gehäuse des Flügels hängt an einem walzenförmigen Schwimmkörper mit hochgezogener Spitze, der mittels eines Längsseiles, z. B.

*) Die Senkungsgeschwindigkeit beträgt etwa 1 m in der Minute.

von einer Brücke usw., im Stromstriche eines in seinen Abmessungen bekannten Flußquerschnittes festgehalten wird. Falls die Beobachtungen noch an anderen Stellen des gleichen Querschnittes vorgenommen werden sollen, kann durch seitliche Querseile der Schleppflügel in seinen verschiedenen Lagen sichergestellt

Abbildung 292.



werden. Eine Fahne auf dem Schwimmkörper macht die jeweiligen Stellungen des Schleppflügels sichtbar, die gegebenenfalls durch besondere Messungen (siehe „Der Wasserbau“, Bd. I, S. 47) festzulegen sind.

Was hier zur Ermittlung der Abflußmenge Q beiträgt, ist bereits auf Seite 251 durch die Einführung der beiden Größen b und c erörtert worden.

4. Oberflächenschwimmer. Mit unter Umständen genügend großer Genauigkeit läßt sich die Durchflußgeschwindigkeit und damit auch die Wassermenge durch Verwendung einfacher „Oberflächenschwimmer“ ermitteln. Ist mit einem solchen die Oberflächengeschwindigkeit im Stromstriche zu v_0 gefunden, so ist nach Wagner die mittlere Durchflußgeschwindigkeit v des ganzen Querschnittes näherungsweise:

$$v = 0,705 v_0 + 0,01 v_0^2.$$

Vorausgesetzt wird eine gut regelmäßig gestaltete gerade Flußbettstrecke mit ruhiger Wasserströmung und möglichst Windstille.

Als Oberflächenschwimmer gelten eine gewöhnliche Flasche oder eine metallene Hohlkugel, die durch Einschütten von Schrotkörnern oder Wasser so weit beschwert werden, daß sie bis auf einen kleinen Teil ins Wasser tauchen. Auch ein Stück Holz mit angebundenem Stein kann Verwendung finden.

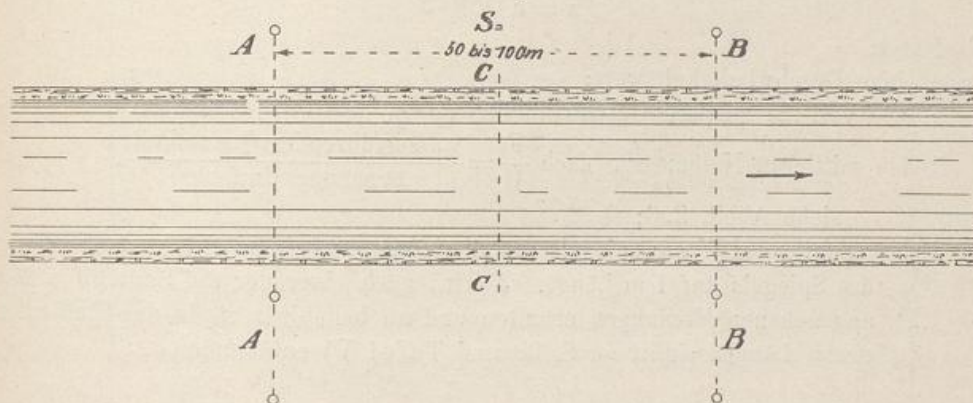
Bei der Messung werden senkrecht zur Stromrichtung zwei Querschnitte AA und BB der Abbildung 293 in einer Entfernung S von 50 bis 100 m abgesteckt und die Enden durch Fluchtstäbe (I. Teil, S. 14) bezeichnet. Etwa 10 bis 20 Schritt oberhalb des Querschnittes AA wird der Schwimmer in den Stromstrich geworfen und die Zeit T beobachtet, die dieser zur Zurücklegung der Strecke S bedarf. Man erhält die Oberflächengeschwindigkeit zu

$$v_0 = \frac{S}{T}$$

Zur Sicherheit wird unter Beobachtung eines Eichpflockes (s. S. 249) die Messung wiederholt und aus den Ergebnissen das Mittel berechnet. Ist dieses v_0 , so erhält man, wie oben angegeben, die mittlere Durchflußgeschwindigkeit zu

$$v = 0,705 v_0 + 0,01 v_0^2.$$

Abbildung 293.



Der wasserführende Querschnitt F wird entweder in der Mitte bei C C gemessen oder am Anfange und Ende der Strecke S bestimmt und gemittelt eingeführt. Die Wassermenge ist, wie gewöhnlich:

$$Q = F \cdot v.$$

5. Tiefenschwimmer. Für geringe Wassertiefen werden auch „Tiefenschwimmer“ verwendet, mit deren Hilfe die mittlere Wassergeschwindigkeit für jede Lotrechte, ähnlich wie auf Seite 252, sofort gefunden wird. Die einfachste Form ist ein 10 cm starker in seiner Längsrichtung durchbohrter Holzpflöck (Abbil. 294), in dem ein Eisenstab befestigt wird. Eine besondere Vorrichtung ist ein Rohr (Abbil. 295) aus Metall, das aus mehreren Teilen mit Boden

Abbildung 294.

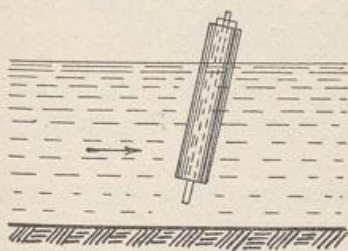
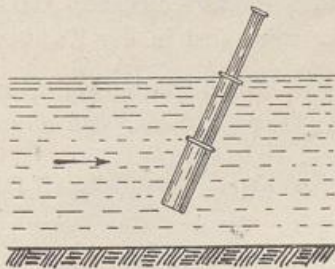


Abbildung 295.



und Deckel besteht und je nach der Tiefe des Wasserlaufes zu verschiedenen Längen wasserdicht zusammengeschraubt werden kann. Die Tiefenschwimmer sind so zu beschweren, daß ihre Tauchtiefe etwa $\frac{7}{8}$ der Wassertiefe beträgt. Um eine mittlere Durchflußgeschwindigkeit des ganzen Querschnittes zu erhalten,

werden die Messungen auch hier in verschiedenen Entfernungen vom Ufer vorgenommen, im übrigen wird, wie auf Seite 250 usw., verfahren.

b) Bestimmung der Geschwindigkeit durch Rechnung.

Die Geschwindigkeit des Wassers läßt sich unter gewissen Voraussetzungen durch Rechnung aus Erfahrungssätzen ableiten. In der allgemeinen Geschwindigkeitsformel

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

bedeutet:

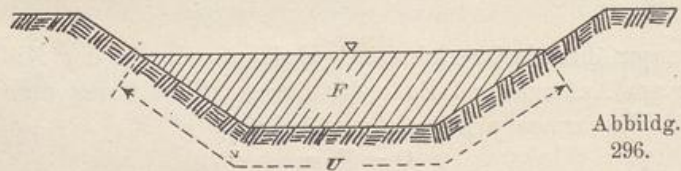
c einen Geschwindigkeitswert;

v, wie vor, die mittlere Geschwindigkeit;

R den mittleren Halbmesser nach $\frac{F}{U} = \frac{\text{wasserführender Querschnitt}}{\text{benetzter Umfang}},$

siehe Abbil. 296;

J das Gefälle des Wasserspiegels auf die Längeneinheit (m), d. h. die Senkung des Spiegels auf 1 m Länge. J wird nach einer der auf Seite 99 u. 269 angegebenen Messungen erhalten und an beliebiger Stelle des Flußlaufes einem Längenschnitt (s. S. 99 und Tafel V) entnommen.



Abbildg.
296.

Der Geschwindigkeitswert c ist eine von R und der Beschaffenheit des Flußbettes abhängige Größe und wird in Deutschland in der Regel nach den älteren Angaben von Kutter oder nach den neueren Untersuchungen von Ganguillet und Kutter bestimmt.

Die ältere Formel nach Kutter gibt nach:

$$c = \frac{100 \sqrt{R}}{a + \sqrt{R}}$$

für Flußbette verschiedener Art die Zahlenwerte der „Rauhigkeitsgrade“ a an. Letztere sind in der Zahlentafel 3 (Seite 257) aufgeführt.

Auf Grund zahlreicher fremder und eigener Versuche haben Ganguillet und Kutter gefunden, daß c auch durch ein geringes Gefälle nicht unwesentlich beeinflusst wird.

Die beiden Schweizer Ingenieure gelangten zu einem allgemein gültigen Ausdrucke für den Geschwindigkeitswert, der zurzeit für offene Gerinne weit verbreitet ist. Hiernach ist

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Zahlentafel 3.

Zahlenwerte für a zur Berechnung des Geschwindigkeitswertes c nach der älteren Formel von Kutter.

Klasse	Art des Bettes	a
I.	Reiner, glatter Zement, halbkreisförmiger Querschnitt, oder glatt gehobelte Bretter, rechtwinkliger Querschnitt	0,12
II.	Reiner Zement, rechtwinkelig, Zement mit $\frac{1}{3}$ Sand, halbkreisförmiger Querschnitt	0,15
III.	Gut gefügte Bretter, rechtwinkliger Querschnitt	0,20
IV.	Gewöhnliche raube Bretter, sorgfältig hergestelltes Backstein- und rein gearbeitetes Quadermauerwerk	0,25
V.	Gewöhnliches Backsteinmauerwerk und Bohlenwände	0,35
VI.	Gewöhnliches Mörtelmauerwerk mit gespitzten Steinen	0,45
VII.	Bestocktes Bruchsteinmauerwerk, Sohle etwas mit Schlamm bedeckt, rechtwinkliger Querschnitt	0,55
VIII.	Rauhmauerwerk mit schlammiger Sohle, rechtwinkliger Querschnitt	0,75
IX.	Älteres Mauerwerk, moos- und pflanzenfrei, mit schlammiger Sohle, rechtwinkliger Querschnitt	1,00
X.	In felsigen Boden, Sohle unter 1,50 m breit, wenig Wasserpflanzen	1,25

und damit die allgemeine Geschwindigkeitsformel:

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot J}.$$

Neben den bekannten Bezeichnungen v , R und J bedeutet n den Rauheitsgrad, der aus der nachstehenden Zahlentafel 4 zu entnehmen ist.

Die Berechnung des Geschwindigkeitswertes c ist sehr zeitraubend und umständlich. In seinem Werke: „Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen“, Verlag Paul Parey, Berlin 1904, gibt Kutter eine zeichnerische Darstellung der Formel, die eine einfache und schnelle Ermittlung von c für beliebige Rauheitsgrade ermöglicht. Die Geschwindigkeit v wird sodann nach $v = c\sqrt{RJ}$ durch weitere Rechnung erhalten.

Ein unmittelbares Ablesen der Geschwindigkeit gestattet die vom Verfasser gezeichnete Tafel 8 der „Hilfstafeln zur Bearbeitung von Meliorationsentwürfen und anderen wasserbautechnischen Aufgaben“*) desselben Verlages für gleichfalls beliebige Rauheitsgrade n . Es wird dort unter Einführung des mittleren Halbmessers R das Ergebnis für kleinste und größte Gefälle in wenigen Augenblicken gewonnen.

In neuester Zeit ist auf grund eingehender Messungen durch den Amerikaner Fortier der Nachweis geliefert worden, daß die Rauheitsgrade n für

*) Siehe Anmerkung auf Seite 261.

Schewior, Das Feldmessen II.

Zahlentafel 4.

Rauhigkeitsgrad n nach der neueren Formel von Ganguillet und Kutter.

Klasse	Art des Bettes	n	$\frac{1}{n}^{*)}$
1.	Sehr glatte Kanäle, von fein gehobeltem Holze, mit Stahl geschliffenem Zement	0,010	100
2.	Kanäle von Brettern	0,012	83
3.	Kanäle von Quader- und Backsteinen (Ziegeln)	0,015	67
4.	Kanäle von Brettern mit angebrachten Abflußschwerungen und Kanäle von Bruchsteinen	0,0175	57
5.	Kanäle in Erde mit ebener Sohle und gemauerten Seitenwänden, sorgfältig unterhalten, Wasser ohne Sinkstoffe	0,020	50
6.	Ganz reine Gewässer in Erde, Letten usw. ohne Steine, ohne Wasserpflanzen, ohne Unregelmäßigkeiten, mit sorgfältiger Unterhaltung	0,025	40
7.	Etwas unregelmäßige und nicht sorgfältig unterhaltene Gewässer, hier und da mit Steinen an der Sohle oder hier und da mit Wasserpflanzen	0,030	33
8.	Gewässer mit grobem Schotter, Geschieben, Wasserpflanzen usw., unregelmäßig, schlecht unterhalten	0,035	29

Gräben in erheblich weiteren Grenzen sich bewegen, als sie Kutter in seinem vorerwähnten Werke angibt. Die Untersuchungen haben insbesondere gezeigt, daß die Wasserpflanzen, die gerade in kleinen Gräben sehr häufig auftreten, die Strömung des Wassers sehr ungünstig beeinflussen. Die von Fortier vorgeschlagenen Rauhigkeitswerte n sind in der folgenden Zahlentafel 5 aufgeführt

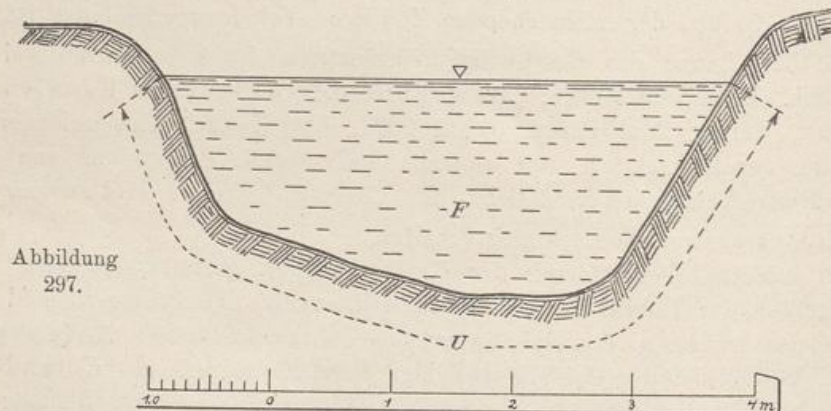


Abbildung
297.

Die Geschwindigkeitswerte c werden im übrigen nach der neueren Formel von Ganguillet und Kutter (S. 256 unten) bestimmt.

*) Die Werte $\frac{1}{n}$ sind auf ganze Zahlen abgerundet.

Zahlentafel 5.

Rauhigkeitswerte n für Gräben und Bäche nach Fortier.

Klasse	Art des Bettes	n	$\frac{1}{n}^*)$
1.	Vorzüglich unterhaltene regelmäßige Gräben in fester Erde, das Bett durch Sinkstoffe geglättet und schlüpfrig gemacht	0,0175	57
2.	Gut unterhaltene, pflanzenfreie Gräben, teilweise durch Sinkstoffe geglättet	0,020	50
3.	Gräben in gutem Zustande, Böschungen mit Sinkstoffen bekleidet und mit gelegentlichen Pflanzenbüscheln, oder bestehend aus losem Kies, und in diesem Falle frei von Pflanzenwuchs	0,0225	44
4.	Mittelmäßige Unterhaltung, einzelne scharfe Biegungen, Böschungen und Sohle mit Sinkstoffen und niedrigen Pflanzen bekleidet, oder bestehend aus losem Kies mit kleineren Steinen bis höchstens 5 cm Durchmesser	0,025	40
5.	Wenig guter Zustand, unregelmäßige Böschungen und Sohle, Kies und lose Steine in den Vertiefungen, oder Böschungen und Sohle aus grobem Kies oder unregelmäßig gelagerten Steinbrocken, oder, wenn die steinfreie Erde eingeschnitten, mit glatten Böschungen, der Wasserraum teilweise gefüllt mit Wasserpflanzen	0,0275	36
6.	Ziemlich schlechte Unterhaltung, entweder das Bett teilweise mit losen Steinen bedeckt, oder die glatten Böschungen und Sohle mit Grasbüscheln und sonstigen Wasserpflanzen bewachsen, oder Unkräuter in das Wasser hineinhängend	0,030	33
7.	Kleine Gräben mit unebenem Bett oder Gräben in gutem Zustande, jedoch teilweise mit Wasserpflanzen gefüllt	0,035	29
8.	Gräben halb voll Wasserpflanzen	0,040	25
9.	Kleinere Gräben, zu zwei Drittel voll Wasserpflanzen	0,050	20

Entsprechend den hier gegebenen Ausführungen wird es nicht schwer fallen, die Abflußmengen in natürlichen und künstlich angelegten Wasserläufen festzustellen; trotzdem mögen zwei Beispiele zur weiteren Erläuterung dienen.

Beispiel 1. In einem unregelmäßigen, schlecht unterhaltenen Bache sind an verschiedenen Stellen die Querschnitte ermittelt und die Höhen des Wasserstandes bestimmt (s. S. 99). Die Aufnahme zeigt unter anderen den Querschnitt nach Abbil. 297, das Wasserspiegelgefälle beträgt $J=1\text{‰}$. Es ist unter Annahme eines Rauhigkeitsgrades $n=0,035$ (neuere Formel von Ganguillet und Kutter) die Wassermenge zu bestimmen, die der gegebene wasserführende Querschnitt in 1 Sekunde abführt.

*) Die Werte $\frac{1}{n}$ sind auf ganze Zahlen abgerundet.

Lösung. Erforderlich ist zunächst die Geschwindigkeit v , die mit der gegebenen Querschnittsfläche F multipliziert die Wassermenge Q ergibt.

Nach der allgemeinen Geschwindigkeitsformel (S. 256) ist

$$v = c \sqrt{R \cdot J}.$$

In dieser Formel ist

R der mittlere Halbmesser und $= \frac{F}{U}$, hier $\frac{12,25}{6,35} = 1,93$;

J das Gefälle auf die Längeneinheit (1 m), hier $= 0,001$;

c der Geschwindigkeitswert.

Nach Ganguillet und Kutter (Seite 256) ist

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Setzt man die Werte für n , R und J in die Formeln ein, so erhält man:

$$\begin{aligned} v &= \frac{23 + \frac{1}{0,035} + \frac{0,00155}{0,001}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,001}\right) \frac{0,035}{\sqrt{1,93}}} \cdot \sqrt{1,93 \cdot 0,001} \\ &= \frac{23 + 28,57 + 1,55}{1 + (23 + 1,55) \frac{0,035}{1,389}} \cdot \sqrt{0,00193} = \frac{53,12}{1 + \frac{0,859}{1,389}} \cdot 0,044 \\ &= \frac{53,12}{1,618} \cdot 0,044 = 32,8 \cdot 0,044 \\ &= 1,44 \text{ m.} \end{aligned}$$

Es ist sodann die gesuchte Wassermenge:

$$\begin{aligned} Q &= F \cdot v \\ &= 12,25 \cdot 1,44 \\ &= 17,64 \text{ cbm.} \end{aligned}$$

Beispiel 2. Ein regelmäßig ausgebauter, sorgfältig unterhaltener Bewässerungsgraben zeigt eine Sohlenbreite $s = 0,7$ m, eine größte Wassertiefe $t = 0,60$ m, die Böschungsanlage $1 : 1\frac{1}{2}$ (Abbil. 298) und das Gefälle 3 ‰ . Es ist die Wassermenge zu ermitteln, die der Graben bei dem Rauigkeitsgrad $n = 0,025$ (S. 258) abführt.

Abbildung 298.



Lösung. Es ist allgemein $Q = F \cdot v$. Hierbei ist

$$\begin{aligned} F &= (1,5t + s)t \text{ nach Seite 236} \\ &= (1,5 \cdot 0,6 + 0,7) 0,6 \\ &= 1,60 \cdot 0,6 \\ &= 0,96 \text{ qm.} \end{aligned}$$

Die Geschwindigkeit ist $v = c \cdot \sqrt{R \cdot J}$, dabei

$$R = \frac{F}{U} = \frac{F}{s + 2 \sqrt{t^2 + (1,5t)^2}} = \frac{F}{s + 2t \sqrt{3,25}} = \frac{0,96}{2,86} = 0,34$$

$$J = 0,003 \text{ m (auf 1 m)}$$

$$c = 31,2 \text{ für } n = 0,025 \text{ nach Seite 256,}$$

$$\text{demnach ist } v = c \cdot \sqrt{R \cdot J} = 31,2 \sqrt{0,34 \cdot 0,003} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{und } Q = F \cdot v = 0,96 \cdot 1,00 \\ = 0,960 \text{ cbm.}$$

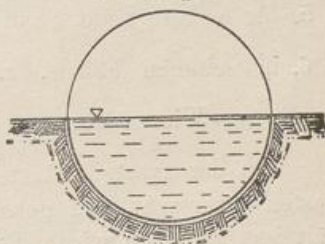
Sehr oft ist die Aufgabe so gestellt, daß zu einer gegebenen Wassermenge Q die Abmessungen eines Flußbettes gesucht werden. Die Lösung ist nur durch Versuchsrechnung möglich. Um diese sehr umständliche und zeitraubende Arbeit zu sparen, hat Kutter in dem schon genannten Werke (siehe S. 257) für eine Reihe häufig vorkommender trapezförmiger Querschnitte mit der Böschung $1:1\frac{1}{2}$ die Wassermengen und Geschwindigkeiten in Zahlentafeln zusammengestellt. Letztere sind nach den Rauigkeitsgraden $n = 0,025, 0,030$ und $0,035$ für Gefälle bis 3‰ geordnet.

Das gleichfalls Seite 257 aufgeführte Tafelwerk*) des Verfassers gestattet die unmittelbare Entnahme der Wassermengen für kleinste und größte Querschnitte mit den Böschungen $1:0, 1:1, 1:1\frac{1}{2}, 1:2$ und $1:3$. Die Tafeln umfassen die Rauigkeitsgrade $n = 0,025$ und $n = 0,030$ und die Gefälle $J = 0,05\text{‰}$ bis 100‰ .

c) Günstigster Querschnitt des Wasserlaufes.

Die Geschwindigkeit des Wassers erleidet, wie schon Seite 233 gesagt ist, durch die Reibungswiderstände an den Wandungen des Bettes und an der Luft eine Verminderung, die nach einschlägigen Beobachtungen mit der Größe des benetzten Umfanges U (Abbil. 296) wächst und mit der Größe des Wasserquerschnittes F abnimmt. Für die Bewegung des Wassers wird demnach von verschiedenen Querschnitten derjenige der günstigste sein, bei dem — ein gleicher Fassungsraum vorausgesetzt — der benetzte Umfang den kleinsten Betrag erreicht. Unter

Abbildung 299.



*) Hilfstafeln zur Bearbeitung von Meliorationsentwürfen und anderen wasserbautechnischen Aufgaben. Umfassend: Drainrohrweiten; Wassermengen in den Gräben $1:0, 1:1, 1:1\frac{1}{2}, 1:2$ und $1:3$; Wassergeschwindigkeit in Gerinnen und Gräben mit beliebigem Querschnitte und Rauigkeitsgrade; Querschnittsflächen, Böschungflächen und Grabenbreiten; Durchflußmengen in kurzen, vollaufenden Rohrleitungen; Abflußmengen für Ueberfallwehre, Grundwehre, Schleusen und Brücken; Staulängen und Stauhöhen. Aufgestellt und herausgegeben von G. Schewior. Verlag Paul Parey, Berlin 1907.

Die Tafeln sind durch den Herrn Minister für Landwirtschaft, Domänen und Forsten in Preußen, durch den Herrn Minister des Innern im Großherzogtum Hessen-Darmstadt, durch den Herrn Staatssekretär des Reichskolonialamtes und durch das k. k. österreichische Ackerbauministerium für den Gebrauch empfohlen. Nach dem technischen Mitgliede der kgl. Württembergischen Regierung Baurat Fauser („Meliorationen“, Verlag Göschen-Leipzig 1913, I. Teil, S. 72) sind von sämtlichen Tafeln „vor allem diejenigen von Schewior als für kulturtechnische Zwecke sehr brauchbar zu bezeichnen“.

allen möglichen Querschnitten ergibt der Halbkreis, dessen Mittelpunkt in den Wasserspiegel fällt, den „günstigsten“ oder „vorteilhaftesten“ Querschnitt (Abbil. 299). Diesem am nächsten kommen die regelmäßigen n -Ecke (Abbil. 300 bis 302), wenn der Wasserspiegel durch den Mittelpunkt des eingeschriebenen Kreises geht.

Für Holz-, Stein- oder Blechkanäle wird eine der obigen Formen sich anwenden lassen, nicht aber für Gräben in Erde. Für diese ist die trapezförmige Anordnung nach Abbil. 302 zweckmäßig, jedoch mit flacheren Böschungen, als hier das regelmäßige Sechseck zeigt.

Abbildung 300.

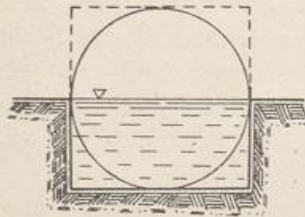
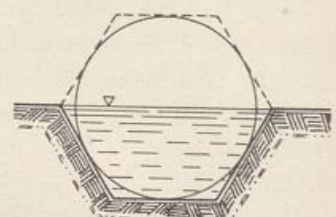


Abbildung 301.



Abbildung 302.



Die Stärke der Neigung der Böschungen hängt von der Festigkeit des Stoffes ab, in dem das Gerinne angelegt oder eingeschnitten ist. Ueblich sind folgende Böschungsverhältnisse:

1. für Bretter, Beton und Mörtelmauerwerk 1:0 (Abb. 300);
2. für Futtermauern 1:0,5;
3. für Steinpflaster, Trockenmauerwerk und feste Erde mit
Uferbefestigung 1:1;
4. für feste Erde ohne Uferbefestigung 1:1½;
5. für lockere Erde, Sand und dergl. { 1:2;
1:3;
6. in seltenen Fällen, z. B. bei Regelung der Vorflut in
Wiesentälern { 1:4;
1:5;

Da der „vorteilhafteste“ Querschnitt bisweilen die geringsten Ausführungskosten verursacht, soll gezeigt werden, wie dieser für beliebige Böschungsverhältnisse gefunden wird. Bezeichnet s die Sohlenbreite, t die Wassertiefe und

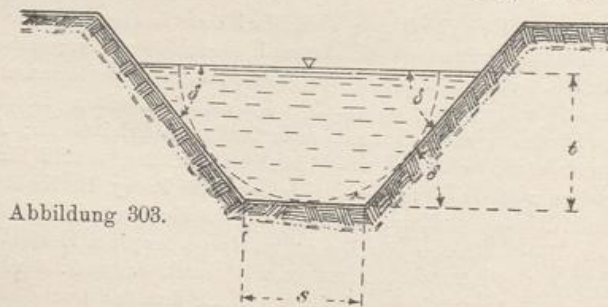


Abbildung 303.

δ den Böschungswinkel, d. h. die Neigung der Böschung gegen die Wagerechte (Abbil. 303), so ist für diesen:

$$(1) \quad t = \sqrt{\frac{F \cdot \sin \delta}{2 - \cos \delta}}$$

$$(2) \quad s = \frac{F}{t} - t \cotg \delta$$

$$(3) \quad \frac{t}{s} = \frac{1}{2} \cotg \delta/2$$

$$(4) \quad R = \frac{F}{U} = \frac{t}{2}$$

Für die gewöhnlichen Böschungsanlagen ergeben sich nach (3) folgende Beziehungen:

Böschungs- verhältnis	Böschungswinkel δ			Verhältnis der Wassertiefe zur Sohlenbreite $\frac{t}{s}$
	°	'	"	
1:0	90	00	00	0,500
1:0,5	63	26	06	0,809
1:1	45	00	00	1,209
1:1 $\frac{1}{2}$	33	41	24	1,648
1:2	26	33	54	2,120
1:3	18	26	06	3,061
1:4	14	02	10	4,009
1:5	11	18	35	5,165

Beispiel 1. Ein Wasserlauf soll mit einem Böschungswinkel $\delta = 26^\circ 33' 54''$ (Böschung 1:2) für eine sekundliche Wassermenge $Q = 4,00$ cbm angelegt werden. Der „günstigste“ Querschnitt und das Gefälle sind zu berechnen unter der Bedingung, daß die Geschwindigkeit des Wassers $v = 0,8$ m/sek beträgt (Abbildung 304).

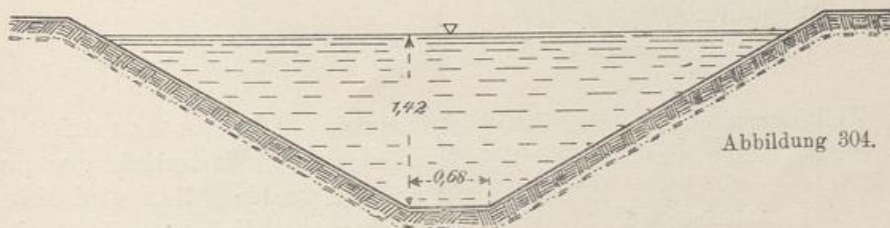


Abbildung 304.

Lösung. $F = \frac{Q}{v} = \frac{4,00}{0,8} = 5,0 \text{ qm}$

$$t = \sqrt{\frac{F \cdot \sin \delta}{2 - \cos \delta}} = \sqrt{\frac{5,0 \cdot 0,4472}{2 - 0,8944}} = 1,42 \text{ m}$$

$$s = \frac{F}{t} - t \cotg \delta = \frac{5,0}{1,42} - 1,42 \cdot 2,0000 = 0,68 \text{ m.}$$

Zur Berechnung des Gefälles J führt man die Geschwindigkeitsformel auf Seite 256 ein:

$$v = c \sqrt{R J}, \text{ woraus}$$

$$J = \frac{v^2}{c^2 R}.$$

Hierbei ist nach Seite 263 $R = \frac{t}{2} = 0,71$ und c versuchsweise $= 37,0$ nach S. 256, wenn der Rauigkeitsgrad zu $n = 0,025$ angenommen wird.

$$\begin{aligned} \text{Es ist also: } J &= \frac{0,8^2}{37,0^2 \cdot 0,71} = \frac{0,64}{971,99} \\ &= 0,00066 \\ &= 0,66 \text{ ‰.} \end{aligned}$$

Der Geschwindigkeitswert war zu $c = 37,0$ versuchsweise angenommen worden. Da J zu $0,66 \text{ ‰}$ ermittelt ist, ändert sich der zugehörige Wert von c nach $37,1$. Der Einfluß auf das Endergebnis ist aber belanglos, so daß hier die nochmalige Berechnung von J unterbleiben kann.

Beispiel 2. Für einen Entwässerungsgraben mit $1\frac{1}{2}$ facher Böschungsanlage ist der „vorteilhafteste“ Querschnitt zu suchen. Die Zuflußmenge beträgt $0,280 \text{ cbm}$, das einzuhaltende Gefälle $J = 0,002$ (2 ‰).

Lösung. Nach Zahlentafel S. 263 ist:

$$\frac{t}{s} = 1,648, \text{ daraus } t = 1,648 s.$$

Nimmt man schätzungsweise $s = 0,3 \text{ m}$ an, so ergibt sich
 $t = 1,648 \cdot 0,3 = 0,49 \text{ m}.$

Zur Berechnung der von den vorstehenden Abmessungen abgeführten Wassermenge Q ermittelt man v .

$$\begin{aligned} v &= c \sqrt{R \cdot J}, \text{ hierbei } R = \frac{t}{2} = 0,245, J = 0,002 \\ &= 23,2 \sqrt{0,245 \cdot 0,002}, \text{ wo } c \text{ für } n = 0,030 \text{ bestimmt ist} \\ &= 0,51 \text{ m.} \end{aligned}$$

Es ist sodann:

$$\begin{aligned} Q &= F \cdot v = t(s + 1,5 t) \cdot v = 0,49(0,3 + 0,74) \cdot 0,51 \\ &= 0,260 \text{ cbm.} \end{aligned}$$

Wollte man eine genaue Uebereinstimmung ($0,280 \text{ cbm}$ statt $0,260 \text{ cbm}$) erhalten, so müßte die Sohlenbreite und hiernach die Wassertiefe etwas vergrößert werden. Man wird sich im vorliegenden Falle damit begnügen,



nur die Wassertiefe von $t = 0,49$ auf $0,50 \text{ m}$ zu erhöhen. Man erhält alsdann den in Abbil. 305 dargestellten Grabenschnitt.

Die Berechnung ist, wie man aus beiden Beispielen ersieht, ziemlich umständlich. Es wird deshalb auf die an mehreren Stellen (S. 257 und 261) erwähnten Hilfstafeln des Verfassers verwiesen, die den günstigsten oder vorteilhaftesten Querschnitt unmittelbar anzeigen.

Oft ist man allerdings genötigt, bei der Bemessung des Wasserquerschnittes von anderen Gesichtspunkten auszugehen. So wird es vielfach unmöglich sein, einem Graben die vorteilhafteste Tiefe zu geben, z. B. bei Bewässerungsgräben oder bei Werkkanälen (Mühlenzuleitern usw., s. unten), wo es sich empfiehlt, das Wasser möglichst hoch zu halten, oder wegen schlechten Untergrundes oder aus anderen Gründen mehr. Immerhin ist es zweckmäßig, nicht erheblich von der günstigsten Form abzuweichen, weil dadurch die Reibungswiderstände erhöht werden

3. Messungen für Kraftanlagen.

a) Allgemeines. Fällt ein Körper vom Gewicht P den Höhenunterschied h frei herab, so hat er eine Arbeit A geleistet, deren Betrag aus Kraft mal Weg, demnach

$$A = P \cdot h$$

sich berechnet. Als Maß für die Arbeit gilt das Meterkilogramm (mkg). Wird dieses für die Zeiteinheit (1 Sekunde = sek) angegeben, so erhält man die „Arbeitsleistung“ in mkg/sek.

Die Natur hat im Wasser, wenn dieses in einem Flußbette gesammelt wird, eine Quelle stetiger Arbeitsleistung geschaffen, die für mannigfache Zwecke in besonderen Kraftanlagen der Technik nutzbar gemacht wird. Denkt man sich in einem Flußlaufe einen natürlichen oder mit Rücksicht auf die örtlichen Verhältnisse einen künstlich hergestellten Wasserfall (Abbil. 306), so wird von diesem eine sekundliche Wassermenge Q in Kubikmeter geliefert, die einem Gewichte von $1000 \cdot Q$ kg gleichkommt. Bei einer Fallhöhe h in Metern ergibt sich eine Arbeitsleistung

$$A = 1000 \cdot Q \cdot h \text{ mkg/sek,}$$

Abbildung 306.

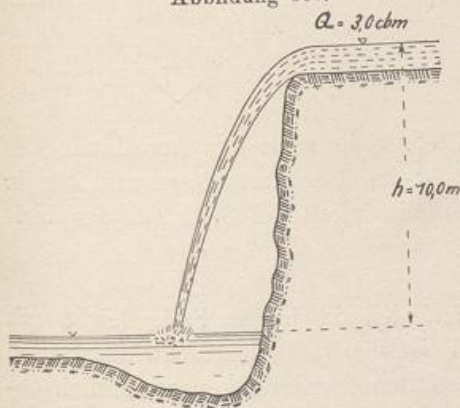
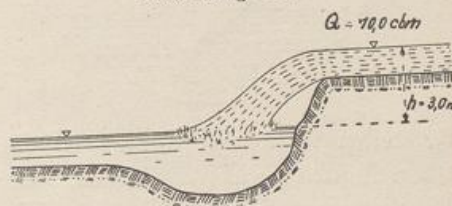


Abbildung 307.



die in der Regel bei größerem Ausmaße in „Pferdestärken“ ausgedrückt wird. Setzt man diese

$$PS = 75 \text{ mkg/sek,}$$

so erhält man

$$A = \frac{1000 \cdot Q \cdot h}{75} PS.$$

Die Arbeitsleistung bleibt dieselbe bei entsprechender Aenderung der Größen Q und h , d. h. es kann eine kleinere Wassermenge von entsprechend größerer Höhe herabfallen und umgekehrt, wie es die beiden Abbildungen 307 und 306 zeigen. In beiden Fällen beträgt die Arbeitsleistung $A = 1000 \cdot Q \cdot h = 30000$ mkg/sek. Für die technische Ausnutzung ist allerdings die Verschiedenheit von Q und h von einschneidender Bedeutung.

Bei der Umsetzung der Wasserkraft in nutzbare Arbeit mit Hilfe der Kraftmaschine geht ein Teil der Arbeitsleistung A verloren. Das Verhältnis der von der Maschine gelieferten Pferdestärken zu denen des Wasserstromes heißt der „Wirkungsgrad“ und wird mit η bezeichnet, so daß die endgültige „Nutzleistung“ N_e sich bestimmt nach

$$N_e = \eta \cdot \frac{1000 \cdot Q \cdot h}{75} \cdot \text{kgm/sek},$$

wobei η je nach der Art und Ausführung der Kraftmaschine, Wasserräder und Turbinen, verschieden groß ausfällt, im Mittel aber zu etwa 0,75 anzunehmen ist.

Die Wassermenge Q , die von einem Werkkanal oder einer Rohrleitung zum Kraftwerk geführt wird, ist auch hier abzuleiten aus der Größe des wasserführenden Querschnittes F und der in diesem herrschenden Durchflußgeschwindigkeit des Wassers v . Für die Gleichung (s. S. 233)

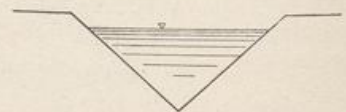
$$Q = F \cdot v$$

sind demnach F und v zu ermitteln. Die Anlage der Werkkanäle wird mit Rücksicht auf den besonderen Zweck so geregelt, daß bei geringen Abmessungen eine große Wassermenge zum Abfluß gebracht wird, während das zur Verfügung stehende Gefälle möglichst der Wasserkraft nutzbar gemacht wird. Aus diesem Grunde werden möglichst günstige Querschnitte mit glatten Wandungen gewählt, auf die schon Seite 262 näher hingewiesen wurde. Vielfach kommen einfache Formen, ein rechteckiger oder ein geböschter, an der Sohle abgerundeter Querschnitt (Abbil. 308), bei ganz geringen Abmessungen auch wohl ein dreieckiger Querschnitt (Abbil. 309) zur Ausführung, deren Flächeninhalt sich unschwer

Abbildung 308.



Abbildung 309.



feststellen läßt. Für Röhren ist die Ermittlung je nach der Anordnung des Querschnittes recht verschieden. Hierüber ist im Zusammenhange mit der in Rohrleitungen sich entwickelnden Wassergeschwindigkeit auf Seite 272 das Weitere zu verfolgen.

b) Flügelmessungen. Mit Rücksicht auf den in jedem Falle leicht mit großer Schärfe zu ermittelnden Betrag für F ist die Durchflußgeschwindigkeit v , da von ihr die Zahl der zur Verfügung gestellten Pferdestärken wesentlich abhängt, stets mit großer Sorgfalt zu bestimmen. Das meist angewandte Verfahren sind Flügelmessungen, worüber Seite 237 usw. Näheres nachzulesen ist. Für die Werkkanäle haben sich die nachstehenden „Querfahrten“ mit einem oder mehreren Flügeln besonders bewährt.

Der wasserführende Querschnitt (Abbil. 310) wird in wagerechte Streifen $f_1, f_2, f_3 \dots$ von der Höhe $h_1, h_2, h_3 \dots$ zerlegt, worauf in der Mittellinie jedes Streifens die mittlere Geschwindigkeit $v_1, v_2, v_3 \dots$ beobachtet wird. Hierzu führt man den Flügel in gleichmäßiger Bewegung von einem Ufer

zum anderen und bestimmt für jede solche Fahrt die sekundliche Wassergeschwindigkeit der Streifen ähnlich, wie S. 252 für lotrechte Fahrten angegeben wurde. Durch dieses Verfahren wird, was bei Wasserkraftanlagen sehr wichtig ist, an Zeit wesentlich gespart. Da die Werkkanäle meist wenig breit sind, wird die

Abbildung 310.



Messung am besten von einem wagerecht gelegten*) Steg aus vorgenommen. Der Flügelhalter wird mit einer sekundlichen Schnelligkeit von 0,10 bis 0,20 m in stets gleicher Höhe zur Stegoberfläche geführt, indem der Leiter der Arbeit den Flügel mit einer Schnur am Gestänge gleichmäßig durchs Wasser zieht, während ein Gehilfe mit dem Flügel schrittweise vorgeht. Die Messung gestaltet sich bequemer, wenn man den Flügel, am besten an hängender Stange (Abbil. 284), mit einem kleinen Wagen in Verbindung bringt, den man den Steg entlang in den verschiedenen Wasserschichten führt. Muß, was wenig bequem ist, von einem Nachen aus gemessen werden, so ist die Flügelstange zwischen zwei Auslegebalken derart zu befestigen, daß zwischen Flügel und Nachen ein Raum von wenigstens 2 m verbleibt, um den Einfluß des Aufstaues am Nachen auszuschalten. Die Ueberfahrt ist mit gleichmäßiger Schnelligkeit vorzunehmen; dies kann oft durch je ein Querseil an den beiden Seiten des Nachens gut erreicht werden. Wichtig ist, daß jede schaukelnde Bewegung vermieden wird, da sonst die Messung ungünstig beeinflußt wird. Die Richtung des zu messenden Querschnittes wird am besten durch ein Seil angegeben, das man etwa 30 bis 50 cm über den Wasserspiegel spannt.

Die sekundliche Wassermenge läßt sich sehr einfach aus den wagerechten Wasserkörpern nach

$$Q = f_1 \cdot v_1 + f_2 \cdot v_2 + f_3 \cdot v_3 + \dots$$

berechnen, wo nach Abgreifen der mittleren Längen $l_1, l_2, l_3 \dots$ aus dem Querschnitte und mit den Höhen $h_1, h_2, h_3 \dots$ die Flächenstreifen $f_1 = l_1 \cdot h_1$ usw. eingesetzt werden (Abbil. 310).

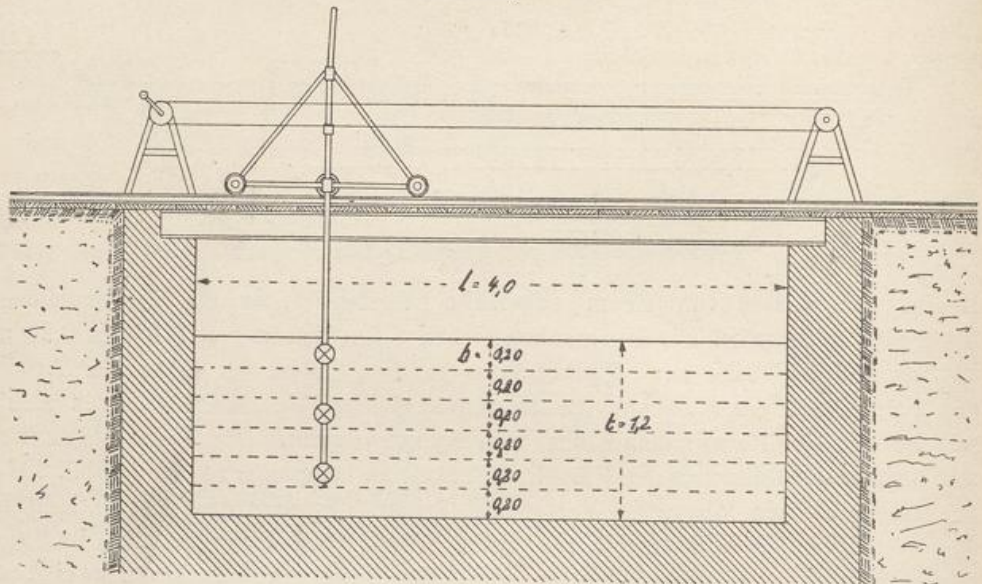
Eine besondere Anordnung, die vornehmlich vor Turbinenkammern eine sehr rasche Durchführung der Messung ermöglicht, wird von den Werkstätten A. Ott in Kempten-Bayern gemäß Abbil. 311 empfohlen.

Der Stangenhalter wird auf einen Schlitten oder Rollwagen gesetzt und mit Hilfe eines endlosen Seiles hin- und hergezogen. Am Wagen ist ein elektrischer Schalter angebracht, der bei Annäherung des Flügels an die Uferwand den Stromkreis unterbricht, damit nur die während der eigentlichen Fahrt erfolgten Umdrehungen der Flügelchaufel verzeichnet werden. Letztere werden

*) Hilfsmittel siehe Seite 12.

an einem elektrischen Zähler festgestellt. Arbeiten in besonders wichtigen Fällen mehrere Flügel (Abbil. 311 zeigt drei Flügel) übereinander, so ist für jeden eine Zählvorrichtung vorhanden.

Abbildung 311.



Die Tiefe t (Abbil. 311) des Wasserquerschnittes wird in gleiche Höhen h geteilt und jeder Streifen für sich befahren, wenn nur ein Flügel vorhanden ist. Der Zähler beginnt sofort zu arbeiten und verzeichnet die Flügelumdrehungen, bis der Wagen am anderen Ufer anlangt. Hier wird durch selbsttätige Unterbrechung der Zähler ausgeschaltet und der Flügel um h verschoben, worauf der Vorgang im umgekehrten Wege vor sich geht und sofort.

Ist für einen Wasserstreifen die Fahrtzeit T , die Umdrehungszahl N , also $n = \frac{N}{T}$ (s. S. 248), bei einer gleichen Länge des Streifens l (Abbil. 311) und der gleichen Höhe h , so ist der sekundlich durchfließende Wasserkörper eines Streifens:

$$q = v_n \cdot h \cdot l.$$

Die Wassergeschwindigkeit v_n des Streifens wird nach der geltenden Flügelgleichung (s. S. 242) berechnet. Zieht man die einzelnen Wasserkörper $q_1, q_2, q_3 \dots$ zusammen, so erhält man die ganze Durchflußmenge

$$\begin{aligned} Q &= q_1 + q_2 + q_3 + \dots \\ &= h \cdot l \cdot v_1 + h \cdot l \cdot v_2 + h \cdot l \cdot v_3 + \dots \\ &= h \cdot l (v_1 + v_2 + v_3 + \dots) \end{aligned}$$

Sobald mit mehreren Flügeln beobachtet wird, ist die Zahl der Wassermeßstreifen durch die Zahl der Flügel teilbar zu machen, und letztere müssen einen solchen Abstand voneinander haben, daß kein Streifen doppelt befahren wird.

Beispiel. Gemäß Abbil. 311 beträgt die Breite des Werkkanals, somit die Länge der Wasserstreifen $l = 4,0$ m und die Wassertiefe $t = 1,2$ m, deren Be-

ständigkeit, wie stets bei derartigen Beobachtungen (s. S. 249), an einer Stau-
marke an der Mauer festgestellt wurde. Bei $h = 0,2$ m ist die Zahl der Schichten
 $\frac{1,2}{0,2} = 6$, so daß die Anordnung von drei Flügeln zwei Querfahrten nötig machte.
Die erste Fahrt dauerte rd. 100 Sekunden, die zweite nach Verschiebung des
Flügels um $h = 0,2$ m rd. 110 Sekunden mit folgendem Ausweis.

Wasser- streifen	Anzahl der Flügel-Um- drehungen N	Zeit der Fahrt T sek	$n = \frac{N}{T}$	$v^*)$	Bemerkungen
f_1	585	100	5,85	1,61	
f_2	1138	110	10,35	2,85	
f_3	915	100	9,15	2,52	
f_4	858	110	7,80	2,14	
f_5	645	100	6,45	1,77	
f_6	528	110	4,80	1,32	

Für $l = 4,0$ m, $h = 0,2$ m berechnet sich

$$\begin{aligned}
 Q &= l \cdot h \cdot (v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6) \\
 &= 4,0 \cdot 0,2 (1,61 + 2,85 + 2,52 + 2,14 + 1,77 + 1,32) \\
 &= 9,768 \text{ cbm.}
 \end{aligned}$$

c) Schirmmessungen. Die Durchflußgeschwindigkeit kann auch unmittelbar mit einem „Schirm“ nach den Angaben von Andersen bestimmt werden, wenn es sich um ein rechteckiges Gerinne aus Holz, Eisen oder Beton handelt. Eine Platte, die auf einer Rollbahn gelagert wird und den ganzen Querschnitt des Gerinnes möglichst genau ausfüllt, wird winkelrecht zur Flußrichtung in den Werkkanal gehängt. Hier wird sie mit der mittleren Geschwindigkeit des Wassers fortgetragen, so daß sich mit Hilfe eines Zeitzählers der Lauf für eine Sekunde berechnen läßt. Die Messung geht, wie bei der oben beschriebenen Querfahrt mit drei Flügeln, in wenigen Minuten vor sich: sie bedingt hier aber ein Gerinne von mindestens 15 m Länge, das der Platte entsprechend sehr sorgfältig hergestellt werden muß. Der Schirm ist auch nur für eine Zuflußgeschwindigkeit bis 1,3 m zu empfehlen, da bei größerem Ausmaße der Fehler in der Zeitbestimmung die Wassermenge zu ungünstig beeinflußt.

d) Gefällmessung. Die Größe des Höhenunterschiedes h (Abbil. 306) wird am sichersten mit Hilfe der Fernrohrwage (S. 99) gewonnen. Als Ausgang der Messung dienen der Ober- und Unterwasserspiegel, die an einer ruhigen, von Wellen freien Stelle beobachtet werden. Bei größeren Wasserkraftanlagen wird vielfach eine Nische im Ufer oder ein an der Sohle mit dem Wasser in Verbindung stehender Schacht aus Mauerwerk oder Holz gewählt, in denen einfache Pegel (Abbil. 312, 313, 313a und S. 271) untergebracht werden. Diese Vorrichtungen dienen auch dazu, um fortlaufende regelmäßige Beobachtungen des

*) v ist nach dem Schaubilde S. 245 bestimmt.

Abbildung 312.

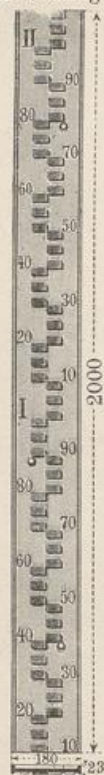


Abbildung 313.

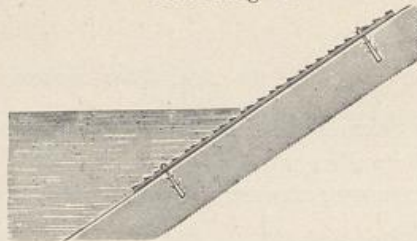


Abbildung 315.

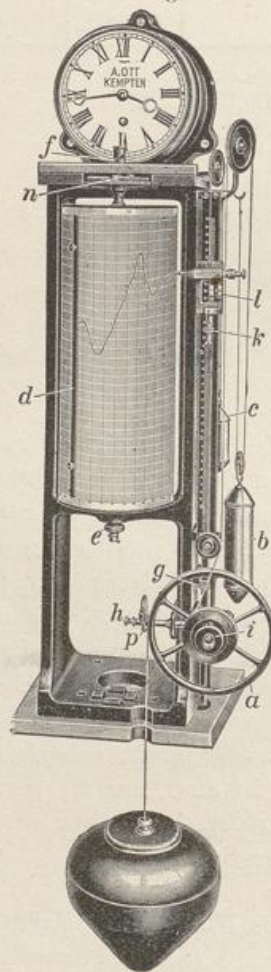


Abbildung 313 a. Abbildung 314.

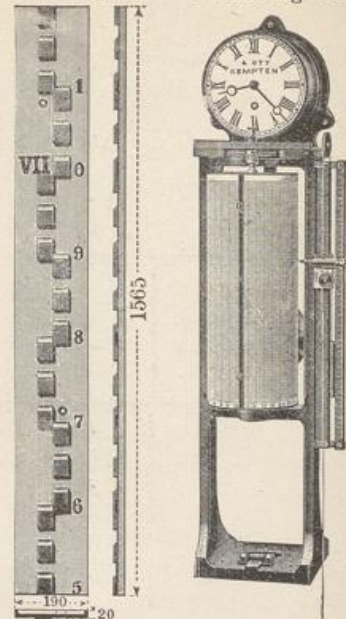
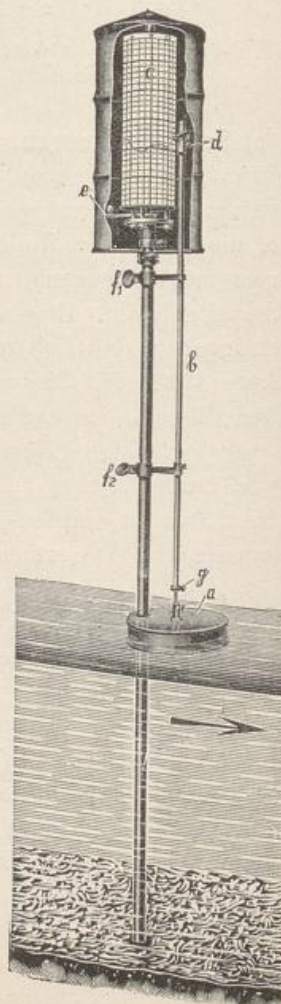


Abbildung 316.



Wasserhaushaltes und Abflußverlaufes vornehmen zu können, die in gut geleiteten Betrieben nicht außer acht gelassen werden dürften. Für letztere Zwecke werden oft, um die lästigen Pegelablesungen zu vermeiden, selbstschreibende Pegel angebracht. Zwei übliche derartige Einrichtungen sind in den Abbildungen 314 und 315 zu sehen. Sie bestehen

im wesentlichen aus einem Schwimmer (Abbil. 315), der mittels eines Drahtes und einer Schreibvorrichtung die Höhenlage*) des Wasserspiegels ununterbrochen auf eine Papierteilung überträgt. Das Papier ist um eine Trommel gelegt, die durch ein kräftiges Uhrwerk gedreht wird. Ein Auswechseln der Papierstreifen erfolgt entsprechend der Einrichtung nach 24 Stunden, $1\frac{3}{4}$ oder $2\frac{1}{2}$ Tagen, 1 oder 2 Wochen oder auch nach 1 Monat. Die Pegel werden unmittelbar über dem Schwimmerschacht aufgestellt und dann mit einem wetterfesten Häuschen umgeben, oder sie werden in dem Wasserkraftgebäude selbst untergebracht. Hierhin muß der Draht des ziemlich groß gewählten Schwimmers über Leitrollen geführt werden.

Für vorübergehende Beobachtungen ist ein Pegel der Abbil. 316 sehr geeignet. Der Schwimmer a wird mittels zweier feingelagerten Rollen an einem Stahlrohr geführt. Er trägt eine in zwei Haltern f_1 und f_2 laufende Schreibstange b, an der ein Schreibstift d verstellbar festgeklemmt ist. Die Aufzeichnung der Wasserspiegelhöhen geschieht mit einem Silberstift auf mit Baryt vorbereitetem Papier, sogen. Metallpapier; zum Schutz gegen Regen wird über die Schreibtrommel c eine Haube aus wasserdichtem Segeltuche gestülpt.

Wird das Wasser dem Kraftwerke in geschlossenen Rohrleitungen zugeführt, so kann weit einfacher der jeweilig zur Verfügung stehende Arbeitsdruck mit Hilfe eines geeigneten „Wasserdruckmessers“ (Manometer) an der in Frage kommenden Meßstelle zu jeder Zeit beobachtet werden.

C. Schätzung der Abflußmenge aus der Größe des Niederschlagsgebietes.

In vielen Fällen ist es nicht angängig oder auch nicht erforderlich, die Bedingungen zur Ermittlung der Abflußmenge nach den vorangehenden Abschnitten zu erfüllen. Dann können die von einem Flußlaufe abgeführten Wassermassen genähert aus der Größe des Niederschlagsgebietes (s. I. Teil, S. 180) unter Annahme einer Abflußmenge von der hier üblichen Flächeneinheit (1 qkm) abgeleitet werden. Obwohl das Ergebnis recht unsicher ist, wird diese Art der Bestimmung doch sehr oft ihrer Einfachheit wegen angewendet.

Die Menge des Abflusses ist abhängig von der geographischen Lage, der Größe, Form und Bodenbeschaffenheit des Niederschlagsgebietes, insbesondere aber von den auf das Gebiet fallenden Regen- und Schneemengen, sowie von den örtlichen Wärme- und Windverhältnissen. Die hiernach sich einstellenden Zuflußmengen werden unter Berücksichtigung der jeweiligen Umstände für das in betracht kommende Niederschlagsgebiet ermittelt. Näheres hierüber ist Bd. VIII: „Die Bodenmelioration“, I. Teil, Seite 148 usw. zu finden. Für die Bemessung kleiner Brücken und Durchlässe ist das Erforderliche auch in dem Werke des Verfassers: „Kleine Eisenbetonbrücken**“ (Seite 16 usw.) und

*) Die Höhenlage kann für eine beliebige Ausgangshöhe, am besten für N.N., eingerichtet werden.

**) Kleine Eisenbetonbrücken. Enthaltend Entwurf und Bau von Durchlässen, kleinen Brücken, Fußgängerstegen und Ueberleitungen mit Eisenbeton-Ueberbau. Leipzig 1912, Verlag von Bernh. Friedr. Voigt.