



Das Feldmessen

Schewior, Georg

Leipzig, 1917

a) Flügel nach Woltmann

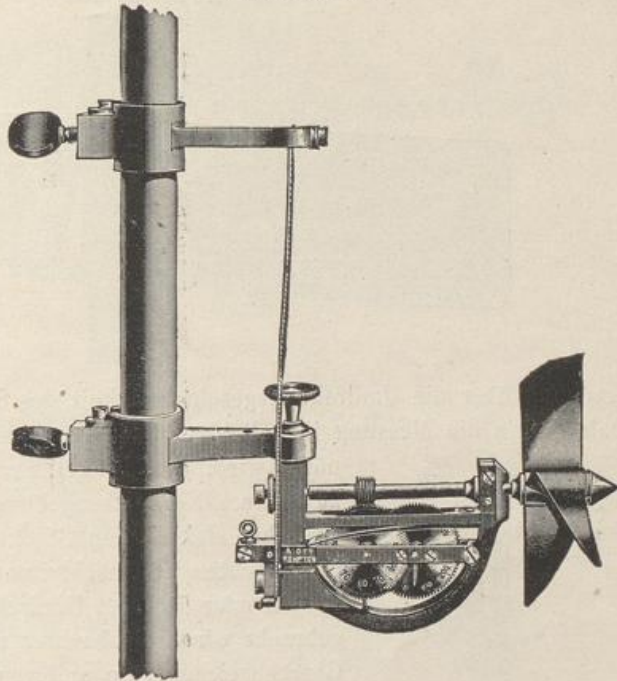
[urn:nbn:de:hbz:466:1-97252](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-97252)

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 entgegeng gehalten 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.



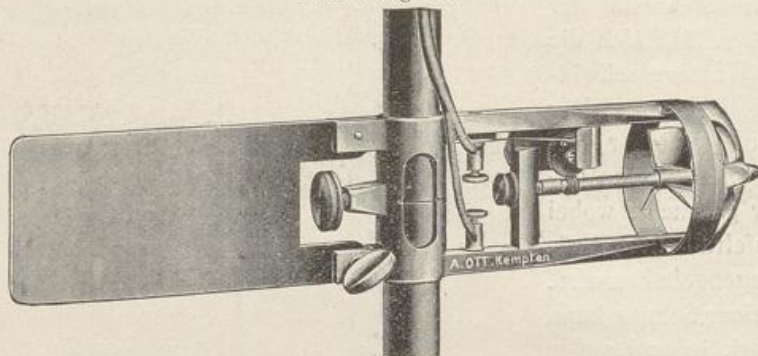
Sobald die Messung beendet ist, wird das Zählwerk durch Nachlassen der Schnur ausgerückt, der Flügel aus dem Wasser gehoben und der neue Stand des Zählers ermittelt.

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.

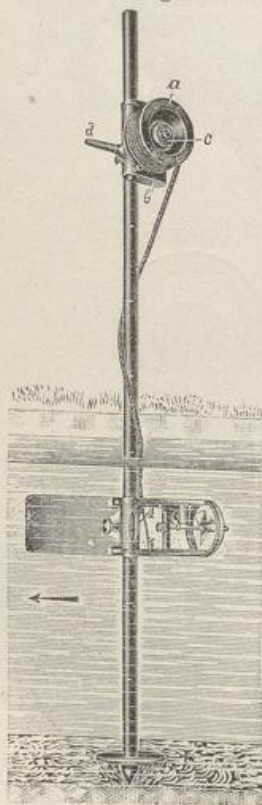
In der Regel sind die Flügel mit elektrischer Zeichengebung versehen, die gemeinsam mit der Stromquelle beim Beobachter aufgestellt ist und ohne Unter-

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.

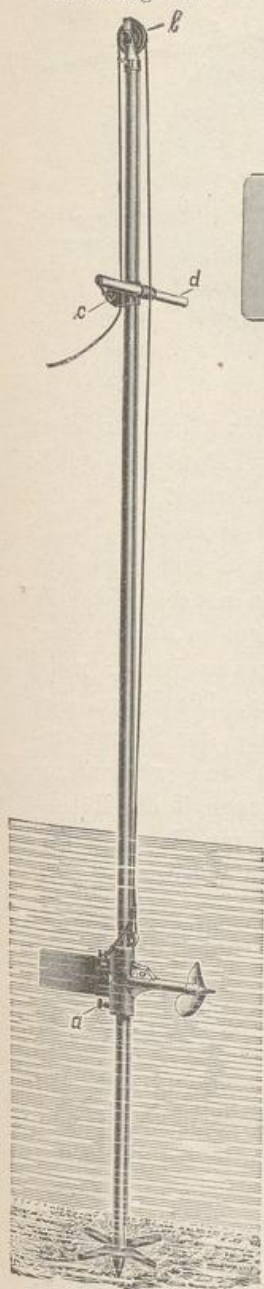
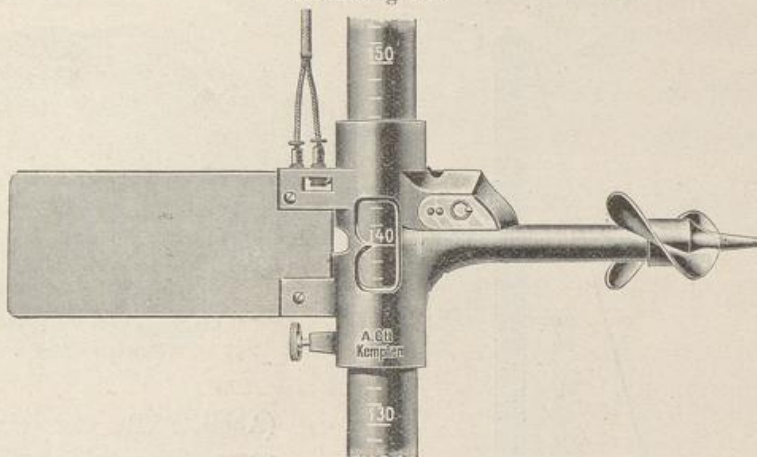


Abbildung 281.



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.

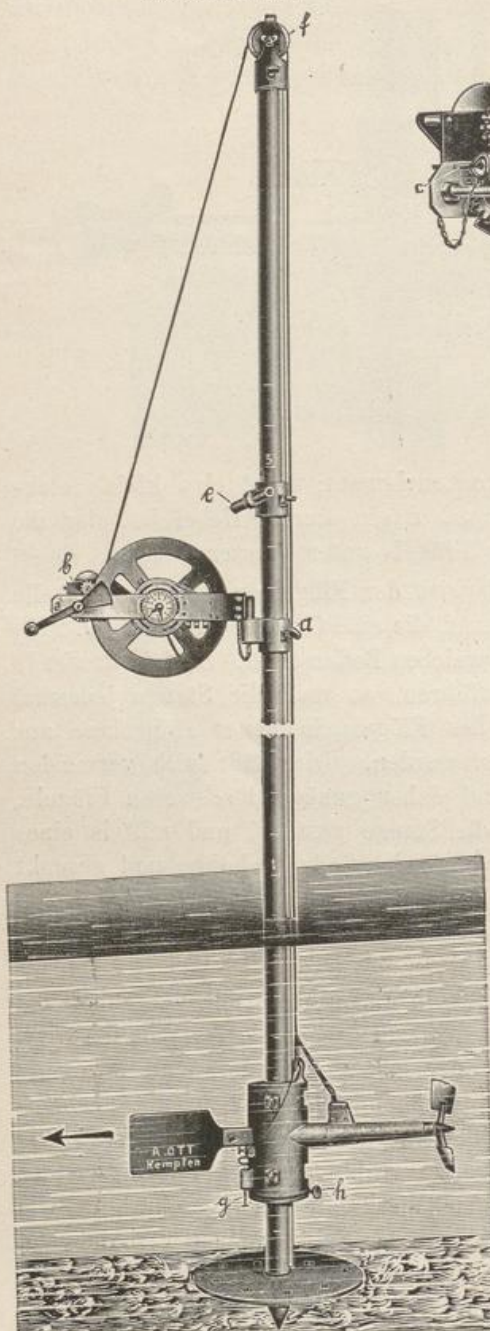
Der Flügel hängt an einem Drahtseil, das über die Rolle b läuft und durch die Seilklemme c festgehalten wird. An der Teilung der Stange läßt sich die lotrechte Bewegung des Flügels, der im übrigen mittels der Schraube a eingestellt werden kann, ablesen. Um eine Drehung des Flügels auf der runden Stange 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

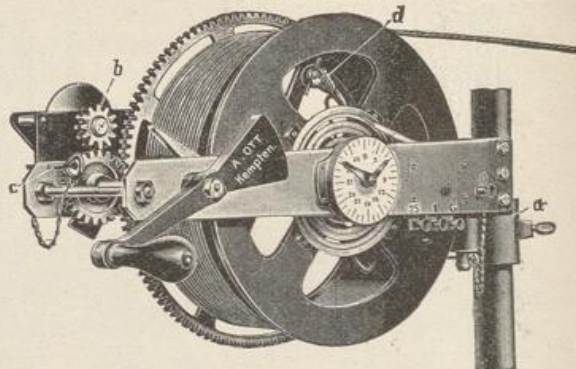
ein Zifferblatt, an dem die Tauchtiefe des Flügels auf Zentimeter genau abgelesen werden kann. Eine bemerkenswerte Vorkehrung ist hier ein Grundtaster g

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,

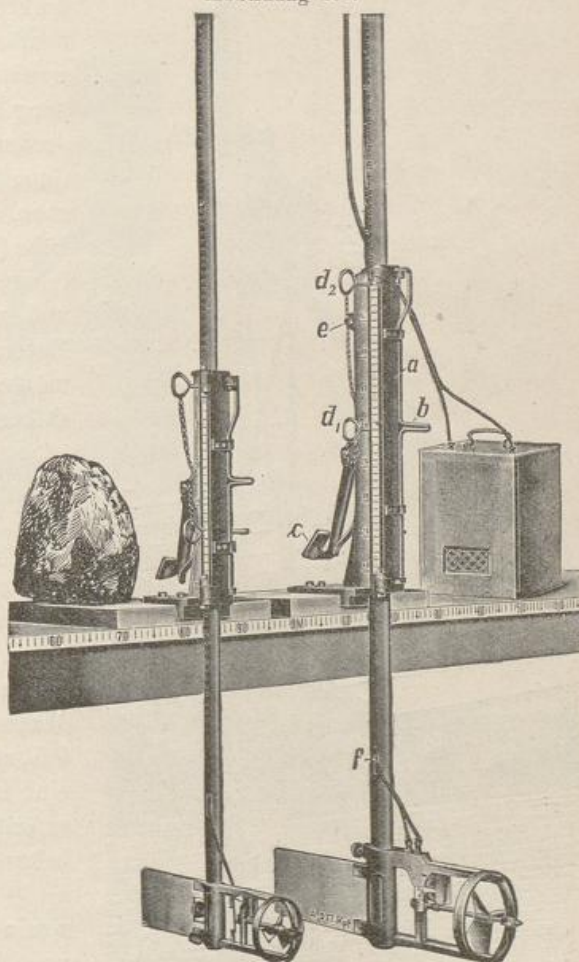
dessen abnehmbarer Kopf A mit einer Winde versehen ist.

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)

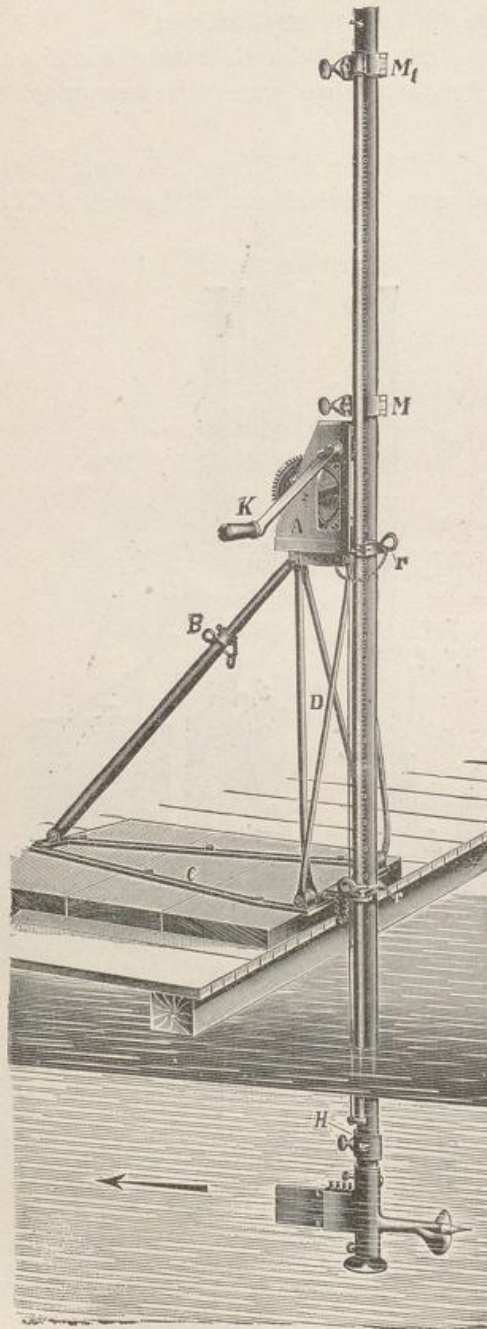
Schewior, Das Feldmessen II.

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

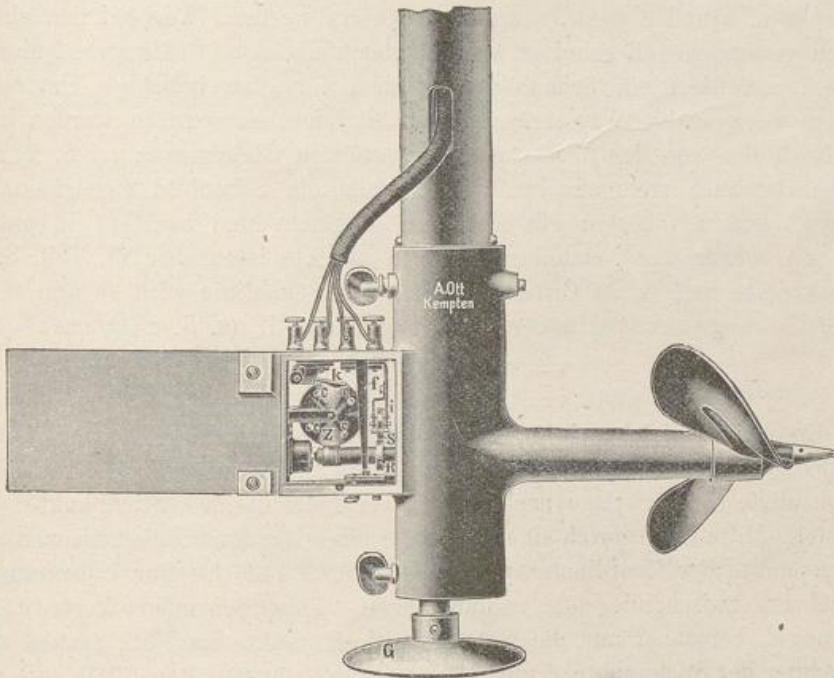
mit den genannten Festwerten, die nach einem Musterflügel in einwandfreier Weise festgestellt werden, bekannt gegeben. Dabei wird gleichzeitig mitgeteilt, von welcher Umdrehungszahl ab die einfachere Form in Betracht kommt. So besagen z. B. die Angaben:

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

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

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

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

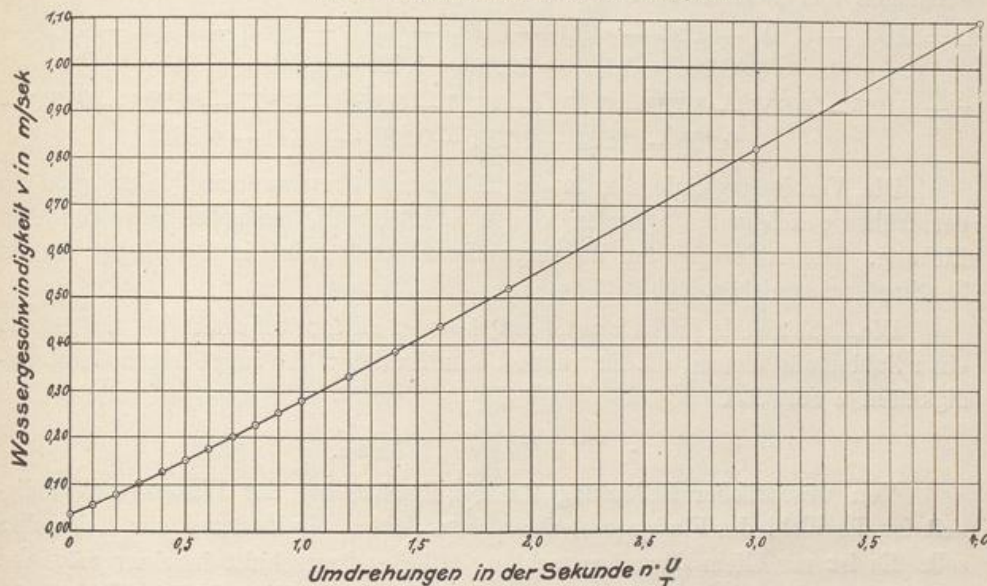
$$\text{II. } n > 1,9; v = 0,275 n$$

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.

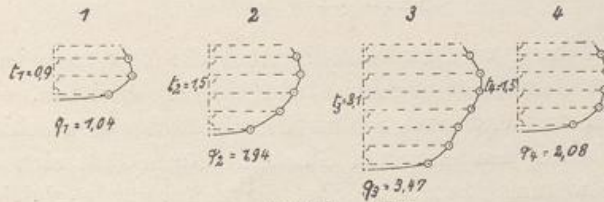
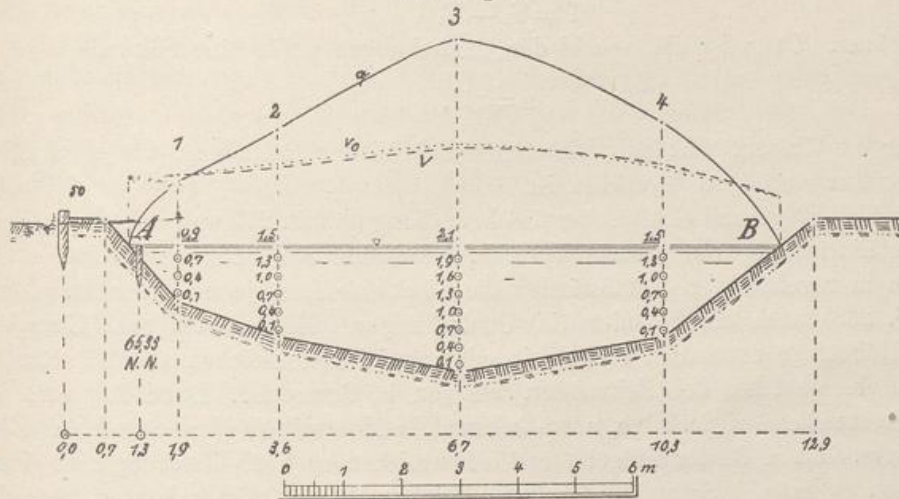


Abbildung 289.

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

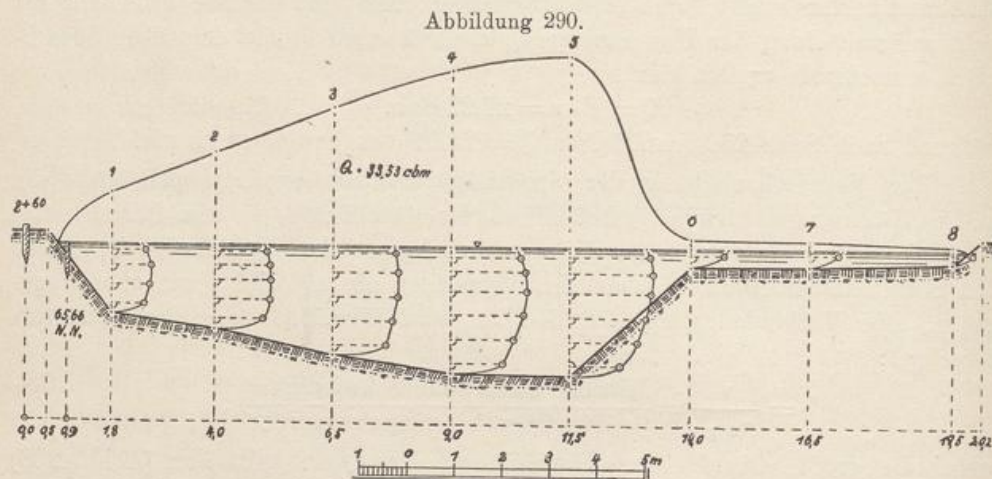
*) Die Klammer $[\]$ bedeutet die Summe aller $q \cdot \frac{v_m}{v_0}$ bzw. im Nenner die Summe aller q .

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

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

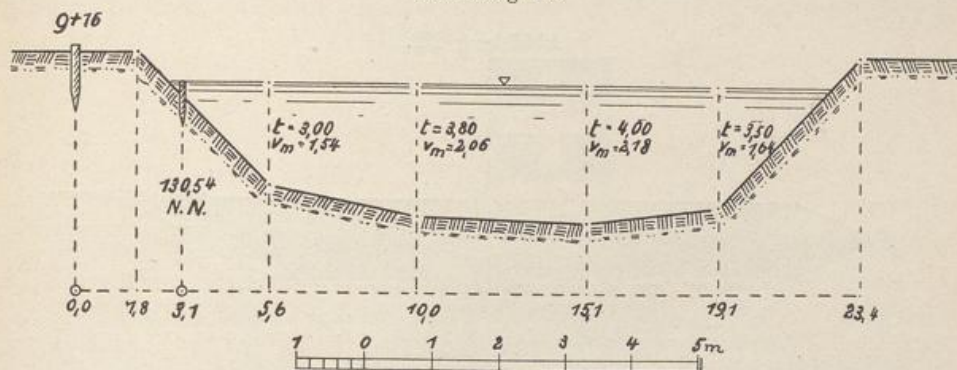
$$v_m \text{ gemäß } \frac{U}{T}$$

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.

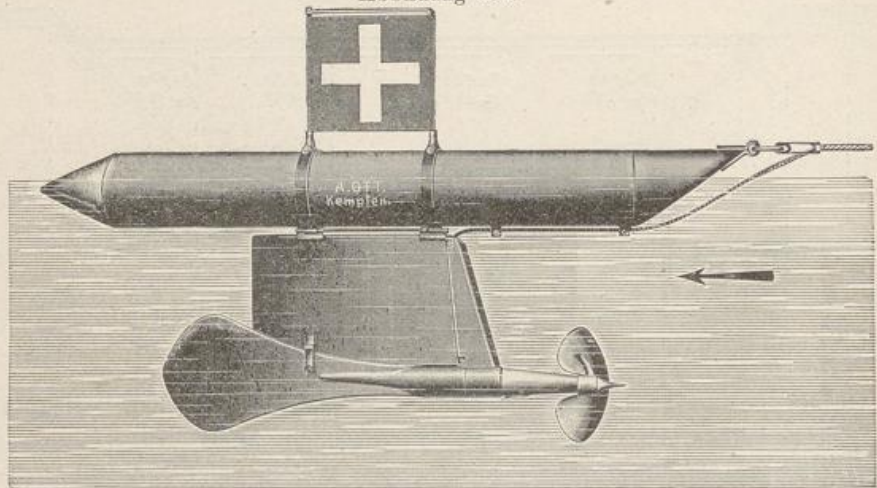
Hier sei noch der „Schleppflügel“ (Abbil. 292) erwähnt, der bei rasch verlaufenden Hochwassern, wo nicht genügend Zeit ist, eine vollständige Messung durchzuführen, wertvolle Dienste leistet. Vielfach kann in solchen Fällen nur die Oberflächengeschwindigkeit im Stromstrich gemessen werden.

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.

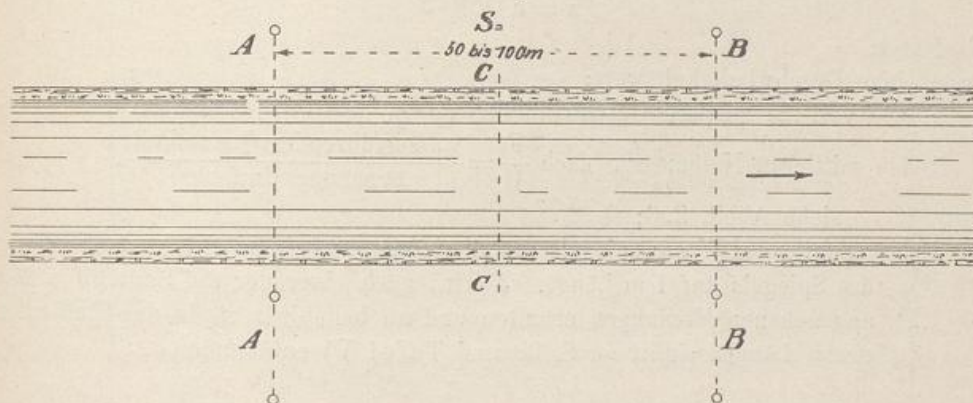
Bei der Messung werden senkrecht zur Stromrichtung zwei Querschnitte AA und BB der Abbildung 293 in einer Entfernung S von 50 bis 100 m abgesteckt und die Enden durch Fluchtstäbe (I. Teil, S. 14) bezeichnet. Etwa 10 bis 20 Schritt oberhalb des Querschnittes AA wird der Schwimmer in den Stromstrich geworfen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

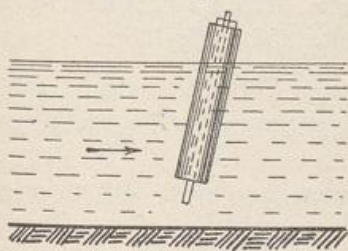
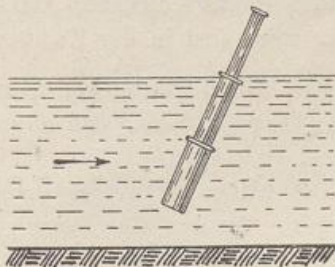


Abbildung 295.



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:

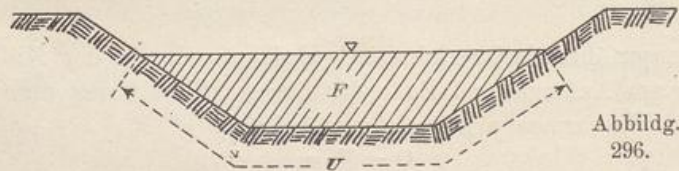
c einen Geschwindigkeitswert;

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

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