Versuche und Erfahrungen aus dem Wasserturbinenbau

Autor(en): **Zuppinger, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **57/58 (1911)**

Heft 21

PDF erstellt am: **09.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-82617

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Versuche und Erfahrungen aus dem Wasserturbinenbau. — Wettbewerb für die Ueberbauung der Römisch-katholischen Kirchgemeinde Basel. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1910. — Cheminées d'usine en beton armé. — Miscellanea: Hydroelektrisches Bahnkraftwerk der Great Northern Railway. Die Elektrizitätsversorgung von Konstantinopel durch Wasserkraft. Deutsch-Ostafrikanische Zentralbahn. Wasserkraft- und Wasserversorgungsanlagen von Los Angeles. Wasserdichter Beton. Industriebahn-Oberbauanordnung der C. W. Hunt Co. Der Kohlenverbrauch der preussisch-hessischen Staatseisenbahnen. Die Abwärme-Ausnutzung bei Dieselmotoren. Trinkwasser-Sterilisierung mittels Chlorkalk. Dämpfung von Maschinengeräuschen und Maschinenerschütterungen. Kurvenbewegliche Transport-Lokomotiven nach Klien-Lindner. Eisenbahntransport von Aeroplanen. Statistik russischer Elektrizitätswerke. Statistik der Elektrizitätswerke in Oesterreich — Konkurrenzen: Plakatsäulen für Basel. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ingenieur- u. Architekten-Verein. G. e. P.: Frühjahrs-Ausschuss-Sitzung. Stellenvermittlung.

Band 57. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 21.

Versuche und Erfahrungen aus dem Wasserturbinenbau.

Von *W. Zuppinger*, konsult. Ingenieur in Zürich.

IV. Wassermessung.

Diese Operation ist bekanntlich der schwierigste und heikelste Teil bei Turbinenproben; sie gibt deshalb auch am meisten Anlass zu Meinungsverschiedenheiten.

Früher, d. h. bei den *Girardturbinen,* war die Messung einfacher. Hier mass man die Wassermenge fast ausschliesslich mit Hilfe des Leitrades, unter Anwendung der bekannten Formel: $Q = F \times k \sqrt{2 g H_1}$. F ist hierbei die Ausflussöffnung am Leitrad, und H_1 das Gefälle bis Unterkante Leitrad. Man stritt sich wohl etwa hie und da herum über den Ausflusskoeffizienten k; meistens aber einigte man sich bald auf den Wert 0,95 für den Geschwindigkeitskoeffizienten und 0,90 für den Kontraktionskoeffizienten, bei letzterem in Anbetracht der Verengung des freien Querschnittes durch die vorbeistreichenden Laufradschaufeln; also

$$k = 0{,}95 \times 0{,}90 = 0{,}85 \text{ rund.}$$

Bei *Reaktionsturbinen* dagegen, und namentlich bei den heutigen mit drehbaren Leitschaufeln wäre eine derartige Wassermessung mittelst Oeffnung des Leitapparates zum Zwecke einer Kollaudation nicht statthaft, da sich hier der Reaktionsgrad und damit der Ausflusskoeffizient beständig ändern, je nach der Oeffnung. Hier müssen wir daher die Messung in offenem Kanale vornehmen, was auf verschiedene Arten geschehen kann.

Die primitivste derartige Wassermessung geschieht durch einen *Schwimmer;* doch wird es Niemandem einfallen, solchen für unsere Zwecke benützen zu wollen, weder den Oberflächenschwimmer noch den Stabschwimmer, weil wegen der sehr ungleichen Geschwindigkeit der einzelnen Wasserfäden dieses Verfahren ganz ungenau wäre. Auch sind die Kanalverhältnisse zu verschieden, als dass man Durchschnittswerte annehmen könnte für die mittlere Geschwindigkeit.

Sobald man aber statt des Schwimmers einen *Schirm*[1]) nach Abbildung 10 benützt, der den ganzen Kanalquerschnitt mit geringem Spielraum ausfüllt und somit alle Wasserfäden fasst, wird die Messung ganz perfekt und genau.

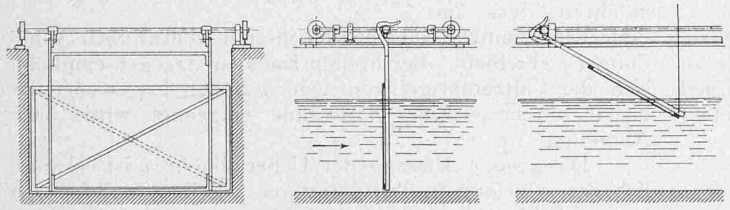

Abb. 10. Mess-Schirm, für gerade, ausgemauerte Kanäle.

Dieser Schirm besteht aus einem rechteckigen Rahmen aus Winkeleisen, der mit geölter Leinwand bespannt und in Gelenken an einem sehr leichten Wagen aufgehängt ist, der mittelst Rädern aus Aluminium auf gehobelten eisernen Schienen läuft. Es ist dies heute unbedingt die zuverlässigste aller bisher bekannten Messmethoden, und wird deshalb sowohl in der neuen schon erwähnten und aufs vorzüglichste eingerichteten Turbinenversuchsanstalt der Firma J. M. Voith in Heidenheim[2]), als auch in der Versuchsanstalt der Königl. Techn. Hochschule in Berlin[3]) für die Wassermessung angewandt.

[1]) Schmitthenner, Z. d. V. d. J. 1907. S. 627.

[2]) Die Turbinen-Versuchsstationen der Firma J. M. Voith in Heidenheim. 1909. Verlag von Julius Springer, Berlin.

[3]) Reichel, Z. d. V. d. J. 1908. S. 1839.

Leider aber erfordert dieses System einen ganz regelmässigen, geradlinigen und sehr sorgfältig ausgeführten Kanal von mindestens 15 *m* Länge, wie er in gewöhnlichen industriellen Betrieben selten oder nie vorkommt. Ausserdem müsste hier für jeden einzelnen Fall der ganze Apparat neu konstruiert werden, was natürlich nicht konvenieren kann. Für Fabrikkanäle müssen wir entweder zu einem Ueberfall oder zu einem Woltmann'schen Flügel Zuflucht nehmen. Andere hydrometrische Instrumente, wie Pitot'sche oder Frank'sche Röhren eignen sich nicht für Wassermessungen in Kanälen.

Bei *Ueberfällen* für die Wassermessung gilt als Bedingung, dass für Anwendung einer bestimmten Formel sämtliche Verhältnisse des Ueberfalles genau dem Typ entsprechen sollen, mit dem der betreffende Autor seine Versuche angestellt hat. Nun sind aber sehr wenige der letztern für Turbinenproben verwendbar, weil sie meist in Laboratorien ausgeführt wurden unter Verhältnissen, wie sie in industriellen Betrieben nicht oder doch nur selten vorkommen.

Erst durch die bekannten ausgedehnten Versuche im Grossen, ausgeführt von den bekannten Hydraulikern Bazin und Frese, wurde Ordnung und Klarheit für Ueberfälle geschaffen, während die früher aufgestellten Formeln von Weisbach, Poncelet-Lesbros, Boileau, Castel, Parrochetti, Francis, Morin, Du Buat, Braschmann, Bornemann, Wex u. a. Unterschiede bis auf 10 und mehr Prozente unter sich aufweisen.

Abb. 11 (S. 282) stellt einen Normalüberfall dar, wie ihn *Bazin*[1]) bei seinen Wassermessungen in den Jahren 1886/88 in der Nähe von Dijon benützt hat, in einem besonderen für Versuchszwecke hergestellten Kanale von 200 *m* Länge, 2,00 *m* Breite und 1,20 *m* Wassertiefe. Alle diese Versuche wurden ohne seitliche Kontraktion, also mit $b = B$ ausgeführt, mit Ueberfallhöhen bezw. Wasserdruckhöhen $h = 0{,}05\,m$ bis 0,55 *m*, mit Wehrhöhen (d. i. Höhe der Ueberfallkante vom Boden) $w = 0{,}24\,m$ bis $1{,}135\,m$, und durch Einsetzen von hölzernen Längswänden mit Ueberfallbreiten $b = 0{,}50\,m$, $1{,}00\,m$ und $2{,}00\,m$. Die überfallende Wassermenge wurde in einen durch wasserdichte Wand abgeschlossenen Kanal aufgefangen und durch Inhaltsbestimmung gemessen.

Die Wasserdruckhöhe h wurde im Abstande $l = 5\,m$ von der Ueberfallkante gemessen, welche Länge allerdings übertrieben erscheint. Um den Ueberfall des Wasserstrahles vollkommen zu gestalten, muss bei solchen Normalüberfällen der Unterwasserspiegel tiefer liegen als die Ueberfallkante, also $a < w$, und ausserdem muss die Luft freien Zutritt zur untern Fläche des Wasserstrahles haben. Ferner sollen zur Verhütung seitlicher Ausbreitung des Ueberfallstrahles die Kanalwände beiderseits über die Ueberfallkante hinaus verlängert sein.

Zur Bestimmung der Wassermenge Q hat Bazin die einfache Formel $Q = m \times b\,h \sqrt{2 g h}$ benützt, wobei der Koeffizient m einesteils abhängig ist von der Wasserdruckhöhe h, anderseits von der Wassergeschwindigkeit u oberhalb des Wehres. Bezeichne $k = \frac{u^2}{2g}$ die zugehörige Druckhöhe, so herrscht für $b = B$ die Beziehung: $\frac{\sqrt{k}}{\sqrt{h}} = \frac{h}{A}$, was die Berechnung vereinfacht.

[1]) s. Annales des Ponts et Chaussées, Oktober 1888, sowie Keller, Z. d. V. d. J. 1889. S. 513.

Unter diesem Zusammenhange lässt sich der Koeffizient m zerlegen in $m = m_o\, x$, wobei nach den Versuchen von Bazin ist:

$$m_o = 0{,}405 + \frac{0{,}03}{h} \text{ und } x = 1 + 0{,}5\left(\frac{h}{A}\right)^2$$

m wäre also $= m_o$ für $u = o$; x gibt den Einfluss der Zuflussgeschwindigkeit u an.

Nach diesen Versuchen sind die Werte der Koeffizienten m unabhängig von der Breite des Ueberfalles, während andere Experimentatoren eine allerdings unbedeutende Abhängigkeit konstatiert haben, jedoch nur bei kleinen Breiten.

Noch ausführlichere und ebenso gewissenhafte Versuche über den Abfluss des Wassers bei vollkommenen Ueberfällen hat *Prof. Frese* in der Nähe von Hannover ausgeführt [1]), ungefähr gleichzeitig mit Bazin. Hierzu wurde der Herrenhäuser Schiffahrtskanal von 6,30 m Breite benützt; die Versuche wurden gemacht mit und ohne Seitenkontraktion, mit Wasserdruckhöhen $h = 0{,}05$ m bis 0,60 m, gemessen in $l = 3{,}50$ m Abstand von der Wehrkante, und mit Wehrhöhen $w = 0{,}54$ m bis 1,54 m.

Da es zu weit führen würde, hier auf diese höchst wertvollen und interessanten (aber wie mir scheint nicht genügend bekannten) Versuche näher einzutreten, sei auf die angegebene Quelle verwiesen. Wenn wir behufs Vergleichung mit den Resultaten von Bazin diejenigen ohne Seitenkontraktion herausgreifen und sie in dieselbe Form bringen wie jene, so hat Frese für $b = B$ folgende Werte für die Koeffizienten $m = m_o\, x$ gefunden:

$$m_o = 0{,}410 + \frac{0{,}0014}{h} \text{ und } x = 1 + 0{,}55\left(\frac{h}{A}\right)^2$$

Weitere genaue Versuche im Grossen hat in den Jahren 1887 bis 1891 der bekannte Turbinenbauer *Hansen* in Gotha in der Versuchsanstalt der Firma Briegleb Hansen & Cie., mit Ueberfällen ohne Seitenkontraktion, mit Breite $b = 1{,}082$ m und mit fixer Wehrhöhe $w = 0{,}514$ m ausgeführt [2]), Die Ueberfallhöhen varierten zwischen $h = 0{,}05$ m und 0,30 m, und wurden im Abstande l von nur 1,095 m hinter der Ueberfallkante gemessen.

Auch Hansen zieht Ueberfälle ohne Seitenkontraktion vor, weil bei seitlicher Kontraktion die Verhältnisse zu kompliziert werden. In der Tat ist dann der Koeffizient in hohem Masse auch von $\frac{b}{B}$ abhängig, d. i. vom Verhältnisse der Ueberfallbreite zur Breite des Zulaufkanals. Ohne Seitenkontraktion dagegen sind wir nur abhängig von h und $\frac{h}{A}$. Auch Hansen erklärt, dass die Seitenwände nur bei kleinen Breiten b von Einfluss auf die Koeffizienten seien, aber auch dann in ganz geringem Masse.

Die Messinstrumente waren auch hier sehr genau, sodass auch diese Resultate an Zuverlässigkeit Nichts zu wünschen übrig lassen. Als Koeffizienten für die Formel $Q = m \times b\, h \sqrt{2\, g\, h}$ fand Hansen für $w = 0{,}514$ m und $b = B$:

$$m = \frac{0{,}41137}{1 - 0{,}35815\sqrt{h^3}}$$

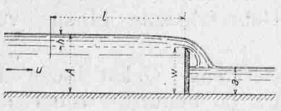

Abb. 11. Normal-Ueberfall.

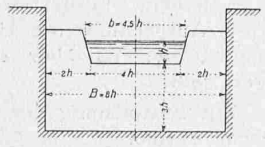

Abb. 12. Ueberfall Cipolletti.

In Italien war es Ing. *Cipolletti,* der für die Verteilung des Wassers aus dem Kanal Villoresi (Abzweigung des Ticino) für die Società Italiana per Condotte d'acqua und unter Kontrolle der Regierung sehr umfassende und genaue Versuche ausgeführt hat [3]). Er fand hierbei, dass ein trapezförmiger Ueberfall nach Abbildung 12 einen konstanten Wert $m = 0{,}420$ ergab für beliebige Ueberfallhöhe h, welch letztere jedoch nicht $< 0{,}08$ m sein soll.

So wertvoll auch diese Untersuchungen sind, ist leider deren Anwendung an bestimmte Verhältnisse zwischen Ueberfall und Kanalprofil gebunden, damit die Kontraktion auf allen drei Seiten eine vollkommene und gleichmässige sei. Die in Abbildung 12 eingeschriebenen Masse sind als Minimalmasse zu verstehen.

Für grössere Wassermengen würde der Einbau eines solchen Ueberfalles nur bei einem ganz aussergewöhnlich grossen Kanalquerschnitt möglich sein, wie solcher bei Fabrikanlagen nicht vorkommt. Für kleinere Wassermengen aber wenden italienische Ingenieure mit Vorliebe den Cipolletti'schen Ueberfall an.

Ich für meinen Teil habe seit vielen Jahren die Versuchsresultate von Bazin, Frese und Hansen benützt, und bin damit gut gefahren. Um aber womöglich alle drei benützen zu können, habe ich, so oft es die Umstände erlaubten, den Ueberfall nach Abbildung 13 eingebaut, ohne Seitenkontraktion und mit einem Podium, um nach Hansen $a = 510$ mm zu erhalten. Die Ueberfallhöhe h wurde gemessen sowohl im Abstande $l_1 = 3{,}00$ m als bei $l_2 = 1{,}10$ m.

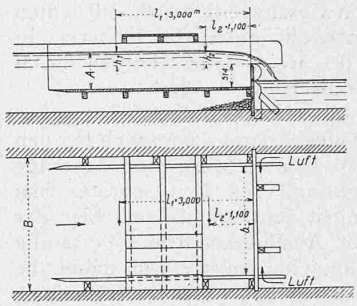

Abb. 13. Ueberfall nach Hansen.

Wie früher bemerkt, haben obige Formeln für Ueberfälle ohne Seitenkontraktion, also $b = B$, nur Gültigkeit bei *Luftzutritt* unter den Strahl. Ohne solchen steht nämlich die zwischen der Wehrwand und den Seitenwänden eingeschlossene Luft unter einem niedrigern als dem äussern Atmosphärendruck, sodass dann durch diesen äussern Ueberdruck der Strahl das Bestreben bekommt, die Wehrwand zu berühren. Es kann sich dann einer der drei in Abbildung 14 dargestellten Fälle einstellen, wobei die effektiv überstürzende Wassermenge bis zu 29 % grösser werden kann, als die Rechnung (bei Luftzutritt) ergibt [1]).

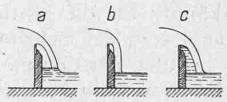

Abb. 14.

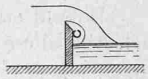

Abb. 15.

Es ist deshalb für Ueberfälle ohne seitliche Kontraktion unbedingt notwendig, künstlich unter den Strahl Luft zuzuführen, was am einfachsten mittels eines durchlöcherten Rohres nach Abbildung 15 geschieht. Bei breiten Kanälen dagegen empfiehlt sich die Luftzuführung von beiden Seiten her, wobei der Kanal durch seitliche Holzwände eingeengt wird, nach Abbildung 13.

Die *genaue Messung* der Ueberfallhöhe h ist bekanntlich der schwierigste Teil derartiger Arbeiten, weil hier ein kleiner Fehler einen grossen Einfluss auf das Endresultat ausüben kann.

Da die überfliessende Wassermenge proportional ist dem Werte von $h^{\frac{3}{2}}$, so kann z. B. ein Messfehler von $\pm$ 1 mm bei $h = 50$ mm Ueberfallhöhe schon eine um 3 % zu grosse oder zu kleine Wassermenge ergeben. Solche Messfehler sind aber mit den üblichen Mitteln fast unvermeidlich, und es ist deshalb notwendig, für derartige Versuche besondere Messinstrumente zu verwenden.

Abbildungen 16 und 17 zeigen zwei solcher Apparate. Gewöhnlich verwendet man einfache Spitzen, die man auf den Wasserspiegel einstellt; jedoch ist es ausserordentlich schwierig zu erkennen, ob eine solche Spitze den Wasserspiegel berührt oder aber ob sie um zwei und mehr mm eintaucht [2]). Solche Messfehler können aber leicht auch

[1]) s. Frese, Z. d. V. d. J. 1890. S. 1285.

[2]) Hansen, Z. d. V. d. J. 1892, S. 1057.

[3]) Cipolletti, Canale Villoresi. 1886. Verlag Höpli, Mailand.

[1]) Keller, Z. d .V. d. J. 1890. S. 188.

[2]) s. Hansen, Z. d. V. d. J. 1892, S. 1064.

± 5 *mm* betragen, sobald der Wasserspiegel unruhig ist, wie dies leider nur zu häufig vorkommt.

Frese hat bei seinen Versuchen drei genau in einer Ebene liegende Spitzen nach Abbildung 16 verwendet, wodurch die richtige Stellung derselben bei ruhigem Wasser gut erkennbar werde. Genaue Beschreibung dieses Apparates findet sich in Z. d. V. d. J. 1890, S. 1288.

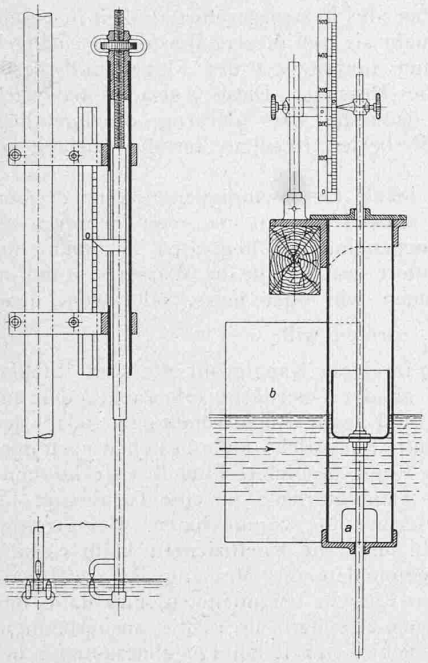

Abb. 16 u. 17. Pegelapparate zur Messung der Ueberfallhöhen. — 1 : 20.

Abbildung 17 zeigt einen selbstkonstruierten Schwimmer für denselben Zweck. Hierbei muss natürlich auf sehr genaue Einstellung des Nullpunktes bei vollständig geschlossener Turbine ganz besondere Sorgfalt verwendet werden. Muss man diesen Schwimmer im Querprofil eines Kanales anbringen, anstatt in einer seitlichen Nische, so entsteht dadurch eine kleine Stauung des Wasserspiegels. Zur Verhütung derselben empfiehlt es sich daher, ausser den seitlichen Oeffnungen *a* einen keilförmigen Ansatz *b* nach hinten am Rohre anzubringen, zum Schneiden des Wassers.

Ueber die Art und Weise nun, wie überhaupt *Turbinenproben mit Ueberfallmessung* in industriellen Betrieben gemacht werden sollen, zum Unterschiede von Versuchen in Laboratorien, wo alle möglichen automatischen Aufzeichnungsinstrumente vorbereitet sind und zur Verfügung stehen, sei folgendes bemerkt.

Nachdem die beiden Fixpunkte im Ober- und im Unterwasserkanal zum Messen des Gefälles bestimmt sind, stelle man die Uhren aller Beobachter genau auf die gleiche Zeit, und messe dann alle 2 Minuten Ober- und Unterwasserspiegel, sowie die Ueberfallhöhe *h*, welch letztere gewöhnlich übereinstimmt mit dem Unterwasserspiegel, wenn der Ueberfall wie meist üblich im Abflusskanal eingebaut werden kann. Bei dem Bremsen, welche Operation gewöhnlich den Wassermessern, weil in der Regel abgelegen, unsichtbar ist, kann man dagegen keine bestimmten Zeiten einhalten. Deshalb notiere man hier bei jeder Ablesung von Gewicht und Umlaufzahl ebenfalls die Zeit. Wir konstruieren dann zu Hause aus allen gemachten Aufzeichnungen eine sog. Zeittafel nach Abbildung 18, mit den Zeiten als Abszissen, aus welchem Diagramme alle zusammengehörigen und für die Berechnung notwendigen Werte zu entnehmen sind.

Die Wassermessung mittelst Ueberfall erlaubt somit eine ganz genaue Einsicht in das Verhalten einer Turbine unter allen möglichen Bedingungen, sowohl für beliebige Wassermengen als für beliebige Umlaufzahlen, was für den Konstrukteur zum Kontrollieren seiner Berechnungen von sehr grossem Werte ist.

Leider aber erlauben es *praktische Schwierigkeiten* nur selten, solch komplette Turbinenversuche in wirklich einwandfreier Weise durchzuführen. Erstens muss für den Einbau eines Ueberfalls der Kanal trocken gelegt werden, was sehr oft nur mit Zustimmung anderer an demselben Kanale liegenden Wasserrechtsbesitzer möglich ist. Ferner ist der Grund des Kanales gar nicht immer so gut beschaffen, dass man unmittelbar einen Ueberfall einbauen könnte, ohne Gefahr zu laufen, dass infolge des aufgestauten Wasserspiegels mehr oder weniger Wasser unten durchsickere. Letzterer Umstand tritt natürlich nur ganz allmählich auf und wird oft erst gegen das Ende der Proben bemerkbar. In solchem Falle sind dann natürlich alle bis dahin gemachten Versuche umsonst und kann man von neuem anfangen, nachdem das Wasser neuerdings abgestellt und der Schaden ausgebessert ist, was meist schwierig und langweilig ist.

Im allgemeinen beansprucht daher ein absolut sicherer Einbau eines Ueberfalles viel Zeit, umsomehr als gewöhnlich bis zum vollständigen Ablauf des Wassers viele Stunden unnütz verloren gehen, bevor man mit der Arbeit überhaupt beginnen kann. Es bleibt dann sehr oft für die eigentlichen Proben kaum mehr genügend Zeit übrig, um sie mit der nötigen Gründlichkeit und Ruhe durchzuführen.

Mit vorstehend geschilderten praktischen Schwierigkeiten, welche die Ueberfallmessung bei industriellen Turbinenproben in der Regel bietet, sowohl hinsichtlich einer genauen Messung der Wasserdruckhöhe *h*, als für einwandfreie Einbauten, möchte ich bewiesen haben, wie ungerechtfertigt die vielfach verbreitete Ansicht ist, dass eine Wassermessung mittelst Ueberfall unbedingt die sicherste Garantie für Genauigkeit und Zuverlässigkeit biete.

Versuche u. Erfahrungen aus dem Wasserturbinenbau.

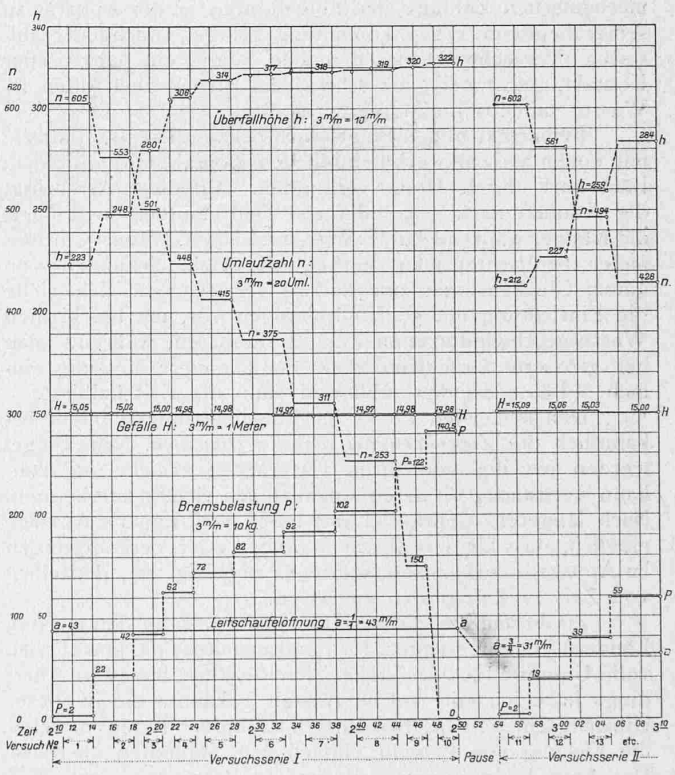

Abb. 18. Zeittafel einer Bremsprobe.

Viel weniger abhängig von allen diesen das Resultat beeinflussenden Zufälligkeiten ist die Wassermessung mittelst des *hydrometrischen Flügels*, nach dem Erfinder auch Woltmann'scher Flügel genannt, dessen Anwendung nebenbei auch mit viel weniger Umständlichkeiten verbunden ist als der Ueberfall. Ferner bietet jener, wie wir sehen werden, ebenso grosse Garantie für Genauigkeit wie dieser. Trotzdem bin ich in den meisten Fällen auf Misstrauen oder Opposition gestossen, wenn ich Flügel-Messung vorschlug.

Wie eingangs angedeutet, hat Ing. Dr. J. Epper, Chef der Schweizerischen Landeshydrographie in Bern, sehr viel beigetragen zur Vervollkommnung und zur Verbreitung dieser überaus nützlichen Instrumente. Im Auftrage des Eidgen. Departement des Innern hat er im Jahre 1907 ein Werk verfasst „Die Entwicklung der Hydrometrie in der

Schweiz“ [1]), das unstreitig das Beste darstellt, was je über Wassermessung veröffentlicht worden ist, speziell über Flügelmessungen, mit zahlreichen Anwendungen für Flüsse und Kanäle.

Es möchte deshalb vielleicht überflüssig erscheinen, diesen Gegenstand hier ebenfalls zu behandeln; da aber jenes Werk nicht allen Lesern dieser Zeitschrift, die sich dafür interessieren, zugänglich ist, erlaube ich mir doch in Kürze darauf einzutreten, soweit es sich um Wassermessung in Kanälen für Turbinenproben handelt, mit Benützung meiner eigenen daraufbezüglichen Erfahungen.

Ueber die Konstruktion und Entwicklung der hydrometrischen Flügel enthält oben erwähntes Werk von Epper sehr ausführliche, wertvolle Angaben; je nach den Verhältnissen verdient das eine oder das andere System den Vorzug. Für Industriekanäle habe ich seit vielen Jahren einen elektrischen Flügel von Amsler benützt, und habe damit gute Erfahrungen gemacht. Dagegen gebe ich gerne zu, dass für Flüsse mit grossen Geschwindigkeiten, für unreines Wasser, sowie für geringe Wassertiefen, die verbesserte Konstruktion von Ott den Vorzug verdient [2]).

Flügel mit mechanischem Zählwerk werden heute nicht mehr angewandt, weil durch das beständige Herausziehen des Apparates aus dem Wasser nach jeder einzelnen Messung zuviel Zeit verloren geht und beim Ablesen leicht Fehler vorkommen. Durch elektrische Signalgebung an Stelle der mechanischen Zählung der Flügeltouren ist der Apparat zu seiner heutigen Vervollkommnung gelangt, nachdem zahlreiche Versuche bewiesen haben, dass ein elektrischer Kontakt, selbst bei ganz schwachem Strom, auch offen im Wasser tadellos funktioniert.

Beim elektrischen Flügel wird bekanntlich eine Batterie mit einem am Zählwerk befindlichen Kontakt und mit einem Läutewerk durch Draht verbunden. Auf diese Art bringt der Kontakt nach je 50 oder 100 Umdrehungen des Flügels die Klingel während kurzer Zeit zum Läuten. Mittelst Chronometer beobachtet man hierbei, wie viele Sekunden von einem Glockensignal zum andern verstreichen. Ich ziehe die Einrichtung mit 50 Umdrehungen vor, um bei kleinen Wassergeschwindigkeiten Zeit zu ersparen, während man bei grösserer Geschwindigkeit für genauere Messung einfach 2 Läuteperioden zählt und dann die Zeit halbiert.

Den heikelsten Punkt für Flügelmessungen bildet bekanntlich die *Zuverlässigkeit der Koeffizienten*. Neue Flügel werden jeweilig von ihren Lieferanten geeicht und man kann vertrauensvoll deren Angaben als richtig anerkennen. Nach längerem Gebrauche aber ist es nach Epper's Aussage möglich, dass kleinere Beschädigungen oder Veränderungen im Apparate vorkommen, sodass es angezeigt sei, denselben von Zeit zu Zeit prüfen zu lassen.

Zu diesem Zwecke bestehen heute wohl in den meisten Ländern gut eingerichtete Prüfungsanstalten, die gewöhnlich volle Garantie für Genauigkeit der Resultate bieten [3]). Allerdings habe ich eine solche Anstalt gekannt, die in dieser Hinsicht sehr zu wünschen übrig liess, indem deren Vorsteher die Eichung von Flügeln einfach den Studenten überliess. Das Eidg. hydrometrische Bureau in Bern besitzt seit 1896 eine solche Flügelprüfungsanstalt mit betoniertem Kanal von 130 *m* Länge, 1,20 *m* Breite und 1,40 *m* Tiefe, ausgerüstet mit den vorzüglichsten Einrichtungen für die Koeffizienten-Bestimmung. Die Fahrgeschwindigkeit des Rollwagens ist regulierbar von 0,03 *m* bis zu 5 *m* p. Sek. Näheres darüber siehe in vorerwähntem Werke von Epper.

Für elektrische Flügel lautet die Formel z. B. $v = 0{,}03 + \frac{10{,}56}{t}$, gültig in gewissen Grenzen. v bedeutet hierbei die Wassergeschwindigkeit in Metern, t die Anzahl Sekunden für 50 Umdrehungen des Flügels. Die Konstante $\alpha = 0{,}03$ *m* gibt diejenige Minimalgeschwindigkeit des Wassers an, für die der Flügel unempfindlich ist, d. h. bei der er noch stille steht.

Je kleiner daher die Wassergeschwindigkeit in einem Kanale ist, und je mehr sie sich diesem Werte von α nähert, desto unempfindlicher funktioniert der Flügel und desto ungenauer wird die Messung. Diese Tatsache habe ich öfters beobachtet dadurch, dass derartig durchgeführte Versuche immer die besten Resultate für die Turbine ergeben haben.

Solche kleine lokale Geschwindigkeiten kommen eben in der Praxis vor: entweder wenn man von mehreren an demselben Kanale nebeneinander liegenden Turbinen nur an einer experimentiert und hierfür die Wassermessung im Hauptkanal vornehmen will oder muss, oder wenn man eine Turbine auf $\frac{Q}{4}$ prüfen will.

Auch kommen in einem Kanalprofil öfters tote Stellen vor ($v = o$), sei es an der Oberfläche erkennbar oder unsichtbar am Grund, und sogar Rückströmungen, sodass der Flügel rückwärts läuft. Für solche Fälle bestehen nach dem Vorschlage von Dr. Epper besondere Flügelkonstruktionen; ich würde mir aber kaum getrauen, für eine Turbinenprobe eine derartige Wassermessung vorzunehmen. Bei Streitigkeiten oder Zweifeln über die Koeffizienten kann es sich unter Umständen empfehlen, die Messung mit zwei verschiedenen geeichten Flügeln vorzunehmen, und dann das Mittel der so erhaltenen Resultate als richtig anzuerkennen.

Eine weitere Schwierigkeit bei Flügelmessungen besteht in der sog. *Pulsation des Wassers*, worüber Dr. Epper wörtlich schreibt:

„Die Pulsation besteht darin, dass sich in einem und demselben Punkte die Geschwindigkeit des Wassers stetsfort, bald in stärkerem bald in geringerem Masse, ändert. Wenn daher für ihren Betrag ein richtiger mittlerer Wert erlangt werden soll, ist man gezwungen, mit dem Flügel längere Zeit an einem Punkte zu verweilen. An der Hand vielfach gemachter Erfahrungen genügt es nun, wenn dieses Verbleiben in einem Punkte auf 2 bis 2 ½ Minuten beschränkt wird. Dementsprechend ist darauf zu achten, dass sich die Summe der aus den fortlaufenden Sekundenablesungen gebildeten Differenzen für einen Messpunkt dem Betrage von 120 bis 150 Sekunden möglichst nähert.

Wenn es sich aber bei einer Wassermessung lediglich darum handelt, die Durchflussmenge zu bestimmen, und kein besonderer Wert darauf gelegt wird, schön verlaufende Vertikal-Geschwindigkeitskurven zu erlangen, dann darf die Zeit des Verweilens des Flügels in einem Messpunkt wesentlich verringert werden, ohne dass befürchtet werden müsste, infolgedessen den Genauigkeitsgrad des Gesamtergebnisses stark zu beeinträchtigen.

Versuche u. Erfahrungen aus dem Wasserturbinenbau.

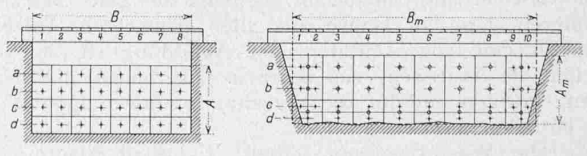

Abb. 19 u. 20. Profil-Einteilung für Flügel-Wassermessung.

In der Tat haben Messungen während 18 Minuten und abgekürztes Messverfahren in 4 Minuten Unterschiede ergeben von bloss $\frac{1{,}181}{1{,}185}$, $\frac{1{,}507}{1{,}508}$, $\frac{0{,}809}{0{,}815}$ —“.

Für die *Anwendung der Flügel* gibt es bekanntlich mehrere Methoden, je nachdem man mehr oder weniger Zeit auf die Operation verwenden will oder kann.

Die älteste und auch heute noch gebräuchlichste Methode besteht darin, dass man das Kanalprofil nach Abbildung 19 in eine Anzahl meist gleicher Felder teilt und die

[1]) «Die Entwicklung der Hydrometrie in der Schweiz.» Im Auftrage des Eidg. Departement des Innern bearbeitet und herausgegeben vom Eidg. hydrometrischen Bureau, Buchdruckerei von Rösch & Schatzmann. Bern 1907.

[2]) Siehe auch: „Die Ott'schen Flügel des eidg. hydrometrischen Bureaus an der Ausstellung in Mailand 1906 von *Dr. J. Epper*, Schweiz. Bauzeitung Band XLVIII, S. 169 mit zahlreichen Abbildungen.

[3]) vergl. auch Schmidt, Z. d. V. d. J. 1895, S. 917.

Wassergeschwindigkeit v im Zentrum jedes einzelnen Feldes misst. Es ist dann die Wassermenge $Q = F \times v_m$, wenn F den Gesamtquerschnitt und $v_m = \frac{\Sigma(v)}{32}$ die mittlere Geschwindigkeit aus allen beispielsweise $8 \times 4 = 32$ Feldern bedeutet. Bei breiten und wenig tiefen Kanälen empfiehlt es sich, zum Zwecke grösserer Genauigkeit, nach Abbildung 20 die äusseren Felder an den Seitenwänden und am Grunde noch zu halbieren, und dann die Mittel der bezüglichen Messungen zur Berechnung zu verwenden.

Hierbei ist der Flügel nicht verschiebar, sondern fest am untern Ende der vertikal aufgehängten Flügelstange. Für letztere habe ich stets ein gewöhnliches Gasrohr von 25 *mm* äusseren Durchmessers verwendet, das überall erhältlich ist, während besonders hergerichtete Messingrohre mit Einteilung wohl bequemer sind für die Versuche, aber unbequem für die Reise. Aus demselben Grunde habe ich für Proben auf dem Lande auch keine Flügelhalter verwendet (s. Epper's Werk Tafel 54), obwohl ich deren Zweckmässigkeit vollkommen anerkenne. Man muss eben bei Turbinenproben meist mit der Zeit sparen, und da kommt man mit möglichst einfachen Mitteln im allgemeinen besser weg.

Wettbewerb für Ueberbauung des Kannenfeldareals Basel.

IV. Preis. Motto „Tabernacula Domini". — Arch. *La Roche, Stähelin & Cie.*, Basel.

Um die Operation der Flügelmessung möglichst zu reduzieren, werden auch andere Verfahren angewandt.

Nach Prof. Teichmann [1]) sollte es genügen, die Geschwindigkeit in den 4 in Abbildung 21 eingezeichneten Punkten zu messen, die nach seiner Berechnung der mittlern Geschwindigkeit des ganzen Profils entsprechen sollen. Dieses System mag vielleicht für einen ideal angelegten langen geradlinigen Kanal von bestimmtem Profile zutreffen; aber ich hätte nicht den Mut, dieses Prinzip zu verallgemeinern, und noch weniger, es für eine Turbinenprobe anwenden zu wollen. Allgemein ist ja bekannt, wie unendlich viele störende Einflüsse in der Praxis vorkommen, die jede gesetzmässige Verteilung der Geschwindigkeit illusorisch machen.

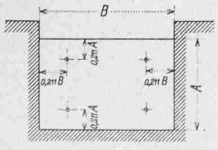

Abb. 21.
Teichmannsche Punkte.

Eine andere Methode besteht darin, dass die Flügelstange fest auf dem Grunde aufgestellt wird und der Flügel mit gleichmässiger Geschwindigkeit längs derselben auf und ab bewegt wird. Man nennt dies „mechanische Integration", indem die hierbei beobachtete mittlere Umdrehungszahl des Flügels der mittlern Durchflussgeschwindigkeit des Wassers in der betreffenden Vertikalen entspricht.

[1]) s. Wochenschrift des V. d. J. 1883, No. 1.

Ein ähnliches Prinzip, aber in horizontalem Sinne, hat Prof. Reichel [1]) in der Versuchsanstalt für Wassermotoren an der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin eingeführt. Es werden hier sogar drei Flügel übereinander auf derselben Flügelstange angebracht und diese dann samt den Flügeln mittelst eines kleinen Laufwagens auf gehobelten ⌐-schienen, mit ganz besondern Registriervorrichtungen horizontal verschoben. Mit dieser Einrichtung war es möglich, die Flügelmessung in den 3 Punkten einer Senkrechten in 35 bis 40 Sekunden vorzunehmen; 20 bis 25 Sekunden waren zum horizontalen Verstellen des Wagens mit den drei Flügeln nötig, sodass die ganze Messung in 5 Senkrechten, also in 15 Punkten des Querschnitts, gewöhnlich in 5 Minuten erledigt war. Gewiss eine sehr respektable Leistung; aber warum denn alle diese Komplikationen? Einzig weil die Bremse höchstens 5 Minuten lang in einem befriedigenden Beharrungszustande erhalten werden konnte!

Wir haben doch aus früherem ersehen, dass eine Bremse auch stundenlang tadellos funktionieren kann und soll, wenn sie richtig konstruiert und gut bedient wird. Ferner soll man, wie schon erwähnt, nach meiner Ansicht bei industriellen Proben mit möglichst wenigen und einfachen Hilfsmitteln auskommen können.

Ich für meinen Teil ziehe daher das alte einfache System nach Abbildungen 19 und 20 vor, wenn auch die Operation auf diese Art eine gewisse Zeit erfordert.

In jedem Falle würden bei Flügelmessung die Turbinenproben unendlich lange dauern, wenn man sie wie bei Ueberfallmessung nicht nur für die verschiedenen Beaufschlagungen der Turbine, sondern auch für alle möglichen Umlaufzahlen vornehmen wollte. Für den Turbinenbesitzer genügt es aber vollkommen, die Wassermenge für die normale Umlaufzahl zu kennen, und dann wird die Messung mittelst Flügel ziemlich einfach.

Immerhin ist es notwendig, während der ganzen Flügelmessung die Turbine mittelst der Bremse jeweilig auf der normalen Geschwindigkeit zu erhalten. Es genügt nicht, vor und nach jeder einzelnen Messung alle massgebenden Punkte genau zu kontrollieren, sondern es empfiehlt sich, auch während der Messungen durch eine Vertrauensperson jene gewöhnlich abseits gelegenen Objekte unter Augen zu behalten. Es sind nämlich in dieser Beziehung schon Täuschungen vorgekommen, sei es durch Loslassen der Bremse, oder durch teilweises Schliessen des Leitapparates in unbewachtem Augenblicke.

(Forts. folgt.)

[1]) s. Reichel, Z. d. V. d. J. 1908, S. 1838.