

# Eine neue Anwendung des Flügelmessverfahrens bei den Abnahmeversuchen im Limmat-Kraftwerk Wettingen

Autor(en): **Steiff, C.F. / Gerber, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **103/104 (1934)**

Heft 3

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83146>

## **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.

## Eine neue Anwendung des Flügelmessverfahrens bei den Abnahmeversuchen im Limmat-Kraftwerk Wettingen.

Von Obering. C. F. STREIFF und Dipl. Ing. H. GERBER, in Firma Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich.

Die Bestimmung der Wassermenge bei Abnahmeversuchen an Grossturbinen erfolgt in Europa fast ausschliesslich mit Hilfe der Flügelmessmethode. Die Forderungen, die dabei an die Strömung im Messprofil gestellt werden, lassen sich bei Hoch- und Niederdruckanlagen meist ohne Schwierigkeiten erfüllen. Eine genaue Messung setzt ausser der Bedingung des Beharrungszustandes vor allem voraus, dass die Strömung durch das Messprofil parallel verläuft, und dass die Stromlinien den Messquerschnitt senkrecht schneiden.

In Niederdruckwerken eignet sich zu derartigen Messungen meistens der Einlauf, wobei aus praktischen Gründen in erster Linie die Stelle in Frage kommt, an der sich die Dammbalkenschlitze befinden. Hier ist die Sohle horizontal und die beiden Seitenwände sind parallel und senkrecht. Sind in der Nähe des Wasserspiegels die Strömungsverhältnisse ungünstig, so lassen sie sich durch Einbau einer provisorischen Führungswand aus Holz leicht verbessern. Die eigentliche Flügelmessung erfolgt dann mit einer grösseren Anzahl Flügel, die sich entweder auf einer vertikalen Stange mit horizontal verschiebbarem Bock befinden oder an einer horizontalen Stange befestigt sind, die mit Hilfe eines in vertikaler Richtung beweglichen Wagens verschoben werden kann. In beiden Fällen ist es möglich, den ganzen Messquerschnitt mit den Flügeln zu bestreichen.

In Hochdruckanlagen wird die Flügelmesstelle gewöhnlich in einem geraden Stück der Rohrleitung gewählt. Die Flügel gleiten auf mindestens zwei zueinander rechtwinkligen Durchmessern, wobei angenommen wird, dass auf jedem zur Rohraxe konzentrischen Kreis die Geschwindigkeit konstant sei. Diese Voraussetzung besteht aber nur dann zu Recht, wenn vor und hinter dem Messprofil die Rohrleitung auf möglichst langer Strecke gerade verläuft.

Liegen also die Verhältnisse für eine Flügelmessung bei Hoch- und Niederdruckanlagen im allgemeinen günstig, so trifft dies bei Mitteldruckanlagen selten zu. Meist ist weder eine genügend lange Rohrleitung vorhanden, noch ist sonst ein Querschnitt zu finden, den das Wasser mit parallelen Stromlinien durchfliesst. Ein typisches Beispiel hierfür bildet das Limmatkraftwerk Wettingen. Wie die Abbildungen 1 und 2 zeigen, sind die Einläufe zu den Turbinen trichterförmig und haben nirgends einen Querschnitt, der nach den bisher gebräuchlichen Messnormen für eine einwandfreie Wassermessung geeignet wäre. In Frage käme höchstens, den gesamten durchflossenen Querschnitt unmittelbar oberhalb der Drosselklappe gleichmässig mit einer sehr grossen Anzahl von Flügeln zu belegen. Dies wäre jedoch kaum zu empfehlen: die Zahl der erforderlichen Flügel wäre übertrieben gross; ihr Einbau hätte eine lange Betriebsunterbrechung zur Folge; zudem wären die Flügel nur zugänglich, wenn vorher die Dammbalken eingesetzt und gedichtet würden. Auch fragt sich, ob man bei derartigen Anlagen nicht von Anfang an die baulichen Verhältnisse so gestalten kann, dass ein einwandfreies Flügelmessprofil entsteht. Ein Blick auf

Abb. 1 zeigt aber sofort, dass diese Lösung mit viel zu grossen Kosten verbunden ist, da nur durch eine Verlängerung der Einläufe das gewünschte Ziel erreicht werden kann.

Um trotzdem an dem Flügelmessverfahren im Prinzip festzuhalten, war von der Turbinenlieferantin, der Firma Escher Wyss, schon bei der Projektierung der Anlage vorgesehen worden, das scheinbar ungeeignete Profil der Dammbalkenschlitze für die Wassermessung zu benützen. Dabei musste der Ungenauigkeit, welche die sehr starke Schrägströmung zunächst mit sich bringt, durch geeignete Massnahmen Rechnung getragen werden. Es sei hervorgehoben, dass diese Methode vollständig gegen die gebräuchlichen Messnormen verstösst.

Die Forderung der Normalität des Messquerschnittes, die an eine einwandfreie Flügelmessung gestellt wird, beruht darauf, dass der schräg angeströmte Flügel nicht die in seine Axe fallende Komponente der Strömungsgeschwindigkeit anzeigt, sondern unter Umständen einen sehr stark abweichenden Wert. In Abbildung 3 ist beispielsweise die Charakteristik eines Ott-Speichenflügels dargestellt, der unter verschiedenen Anströmwinkeln geeicht wurde. Zugleich ist in das Diagramm die Cosinuskurve eingetragen, der die Eichkurve zu folgen hätte, um in

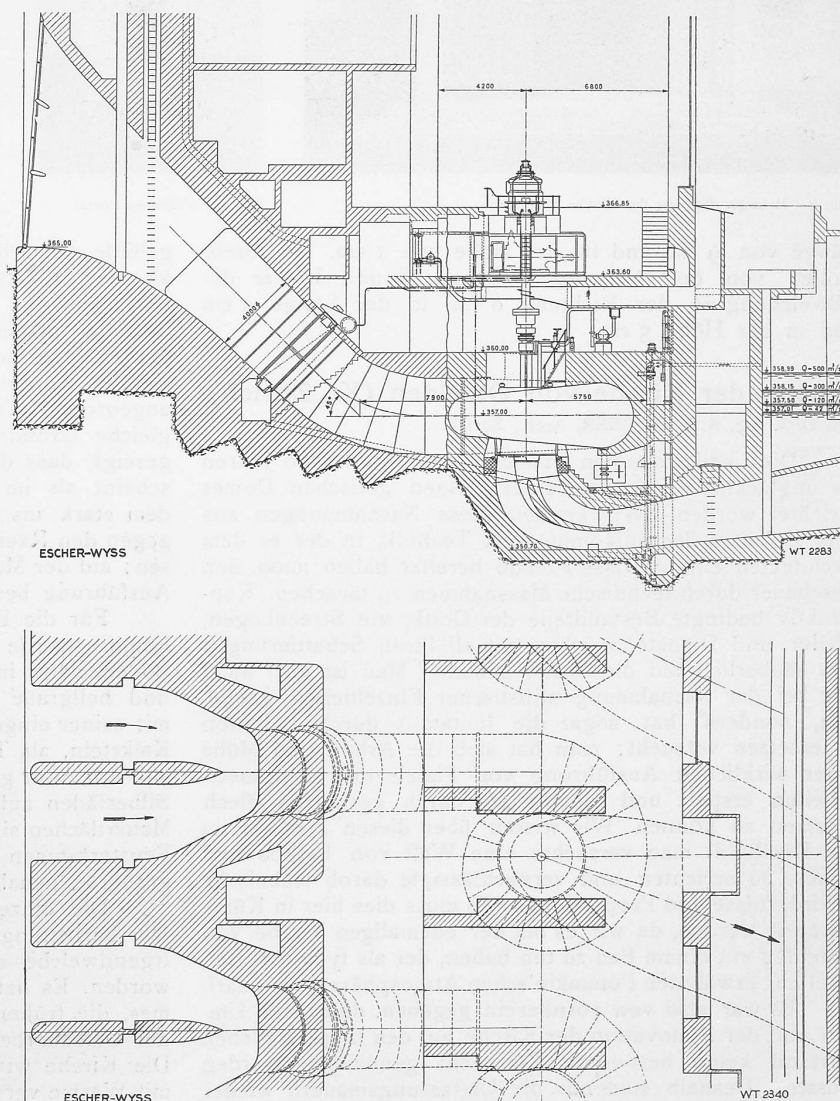


Abb. 1 und 2. Vertikal- und Horizontalschnitt (1 : 330) durch Einbau, Turbine und Saugrohr des Limmat-Kraftwerks Wettingen. (Die Clichés sind von der EWAG freundlich zur Verfügung gestellt.)

jeder Flügelstellung die in die Flügelachse fallende Komponente der Geschwindigkeit zu messen. Man ersieht daraus, dass schräges Anströmen von einigen Graden zulässig ist, während bei stärkerer Abweichung die Anzeige absolut falsch wird. Diese Schwierigkeit lässt sich dadurch bemeistern, dass man in jedem Messpunkte den Flügel in die auf einwandfreie Art zu ermittelnde Richtung der Strömung stellt, und die Komponente senkrecht zum Messquerschnitt hieraus *rechnet*.

Es sind bereits Flügel bekannt, die sich unter dem Einfluss der hydraulischen Kräfte der Strömung in die Fliessrichtung einstellen, wobei Richtung und Grösse der Wassergeschwindigkeit gleichzeitig registriert werden. Da aber der Abstand von der ganz vorn befestigten Schaufel bis zu dem als Richtungsanzeiger ausgebildeten Schwanz verhältnismässig gross ist, haben diese Flügel den prinzipiellen Nachteil, dass sie die Richtung der Geschwindigkeit nicht an der gleichen Stelle messen wie deren Grösse. Sie boten deshalb für unsere Versuche kein Interesse. Um Geschwindigkeitsgrösse und -Richtung an dem selben Orte messen zu können, müssen die beiden getrennt bestimmt werden. Wie dies gemacht werden kann, sei anhand der Anlage Wettingen beschrieben.

Im Kraftwerk sind drei Escher Wyss-Kaplanturbinen aufgestellt, die unter 23 m Gefälle je 45 m<sup>3</sup> sekundlicher Wassermenge verarbeiten und über 12000 PS Leistung erzeugen. Sie sind mit Blechspiralen versehen, denen eine Drosselklappe als Betriebsabschlussorgan vorgeschaltet ist. Vom Einlaufbassin gelangt das Wasser durch zwei getrennte Einläufe in das gemeinsame, kreisrunde Rohrstück, in dem sich die erwähnte Drosselklappe befindet. Die beiden Einläufe enthalten die Nuten für die Dammbalkenabschlüsse. Hier befindet sich die uns interessierende Messtelle. Während die beiden vertikalen Seitenwände jeder Oeffnung parallel verlaufen, weist die Sohle eine Neigung von 22°, die Decke eine solche von 48° auf; die Konvergenz beträgt also 26°. Erwähnenswert ist ferner, dass sich die Sohle 17 m und die Decke 10 m unterhalb des Oberwasserspiegels befinden. Die beiden Einläufe sind gleich beschaffen, je 3,5 m breit und durch einen Mittelpfeiler von 1 m getrennt. Die maximale Wassergeschwindigkeit tritt in Sohlen-Nähe auf und beträgt bei Vollast rd. 1,5 m/sek.

Die Strömung im Einlauf dürfte verschiedene Eigenschaften besitzen, welche die Messung bedeutend vereinfachen. Da die Seitenwände parallel verlaufen, kann angenommen werden, dass die Geschwindigkeit nirgends eine nennenswerte Komponente senkrecht zu diesen Wänden aufweist, sodass in erster Annäherung ein zweidimensionales Problem vorliegt. Ferner ist die Vermutung nicht unbegründet, dass in allen Punkten einer Horizontalen quer zur Strömungsrichtung der Neigungswinkel der Strömung praktisch die selbe Grösse hat. Es ist auch zu erwarten, dass in jedem Punkt die Strömungsrichtung nicht nur bei Beharrungszustand der Turbine unverändert bleibt, sondern auch gegenüber Belastungsschwankungen unempfindlich ist. Die Wasserentnahme aus dem Vorbassin, d. h. aus der aufgestauten Limmat ist derart angeordnet, dass für die beiden Oeffnungen eine zum Mittelpfeiler symmetrische Strömung erwartet werden darf. Diese (siehe unten) überprüften Voraussetzungen haben auch Einfluss auf die Herstellung der Messeinrichtung.

Für jede Oeffnung wurde ein Messwagen hergestellt, der in den Dammbalkennuten auf Rollen gleitet und auf einer horizontalen Profilstange sieben Messflügel tragen wird (Abb. 4). Die Profilstange, in Kugellagern gelagert, wird durch einen Schneckentrieb gedreht, der von oben her durch Kabel betätigt werden kann. Beim Hinunterlassen des Messwagens durch den sehr engen Dammbalkenschlitz schwenkt man die Flügel nach oben zurück.

Zur Bestimmung der Strömungsrichtung wurde eine starre, viereckige Fahne verwendet, deren Drehachse fliegend angeordnet ist und parallel zur Schmalseite verläuft (siehe Abb. 5). Sie wird an zwei an die Profilstange befestigte Ausleger aufgehängt. Die Achse ruht in Kugellagern. Das

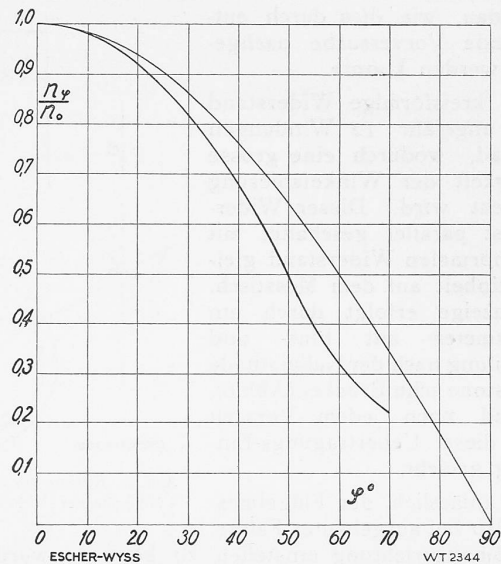


Abb. 3. Theoretische Cosinuskurve und tatsächliche Eichkurve eines Ott-Speichenflügels bei schrägem Anströmen.

(Eichung vom Mai 1933 im Eichkanal von Ott in Kempten.)

$n_0$  = Geschwindigkeit,  $n_q$  = deren Komponente in Richtung der Flügelachse,  $\varphi$  = Anströmwinkel.

spezifische Gewicht und die Massenverteilung der Fahne sind derart gewählt, dass sie, in ruhendes Wasser eingetaucht, in jeder Lage im Gleichgewicht bleibt. Sie besteht aus einer Holzplatte mit kleinen Löchern zum Ausbalancieren und ist mit einem wasserdichten Blechüberzug versehen. Bei der Wahl der Grösse sind zwei sich widersprechende Forderungen zu berücksichtigen: Einmal darf sie, um ein genaues Einstellen der Fahne in die Strömungsrichtung zu gewährleisten, nicht zu klein sein, andererseits, da eine örtliche Messung erstrebt wird, nicht zu gross. Die Fahne erhielt endgültig eine Breite von 400 mm und eine Länge von 450 mm.

Die Strömungsrichtung ist dort zu messen, wohin nachher die Schaufeln der Messflügel zu liegen kommen. Es ist also durch entsprechendes Verschieben des Messwagens und Verdrehen der Profilstange dafür zu sorgen, dass der Flächen-Schwerpunkt der Fahne an die betreffenden Stellen kommt. Ferner muss die Fahne von den beiden Auslegern sowie von der hinter ihr liegenden Profilstange zur Vermeidung eines Rückstaus genügend abstehen.

Wichtig ist, den Winkel, den die Fahne mit der Horizontalen bildet, zum Messtisch hinauf richtig zu übertragen; dies geschieht durch Messung eines dem Verdrehungswinkel proportionalen elektrischen Widerstandes. Es ist dies ein in einem wasserdichten Gehäuse eingebautes, zusammen mit der Fahne um deren (horizontale) Achse drehbares Kreissegment, dessen Gleitkontakt durch ein schweres, ständig vertikales Pendel festgehalten wird (Abb. 5 und 6). Infolge der praktischen reibungsfreien Aufhängung arbeitet das Pendel

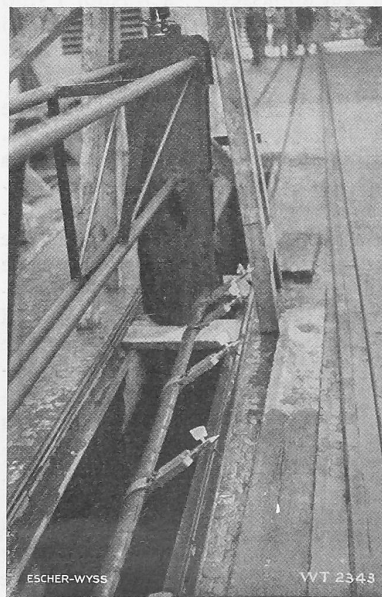


Abb. 4. Flügelrahmen mit Flügelmesstange.

sehr genau, wie dies durch entsprechende Vorversuche nachgewiesen werden konnte.

Der kreisförmige Widerstand besitzt ungefähr 12 Windungen pro Grad, wodurch eine grosse Genauigkeit der Winkelablesung ermöglicht wird. Dieser Widerstand ist parallel geschaltet mit einem normalen Widerstand gleicher Feinheit auf dem Messtisch. Die Anzeige erfolgt durch ein Millivoltmeter mit Plus- und Minusteilung nach der Nullmethode (Wheatstone'sche Brücke) (Abb. 6). Vor und nach jedem Versuch wurde diese Uebertragungs-Einrichtung geeicht.

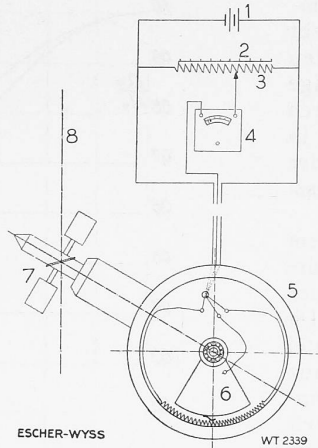


Abb. 6. Schema der elektrischen Winkelübertragung. — Legende: 1 Batterie, 2 Eichskala, 3 Vergleichswiderstand, 4 Millivoltmeter, 5 Pendelkörper auf der Flügelmessestange, 6 Pendel mit Kontaktfeder, 7 Flügel, 8 Messebene.

Um anlässlich der Flügelmessung, also bei ausgebaute Fahne, die Strömungsrichtung einstellen zu können, wurde das Pendel am Ende der Profilstange montiert. Durch entsprechende Eichungen war es dann leicht möglich, das gewünschte Ziel mit der erforderlichen Genauigkeit zu erreichen. Vom Messrahmen her sind keine hydraulischen Rückwirkungen auf die Fahne vorhanden, wie dadurch festgestellt wurde, dass man die Profilstange mit den beiden Auslegern in verschiedene Lagen drehte und die Höhenlage des Messwagens so einstellte, dass sich die Achse der Fahne stets am selben Ort befand. Die Neigung der Fahne gegen die Horizontale blieb hierbei stets gleich. Bei zwangsweisem Herausziehen der Fahne aus ihrer durch die Strömung gegebenen Lage nach der einen oder anderen Seite und nachherigem Freilassen kehrte sie jeweils genau in die ursprüngliche Lage zurück. Reibungs- und Trägheits-einflüsse sind demnach vernachlässigbar klein.

Versuche bestätigten, dass die Fahnenstellung bei Beharrungszustand absolut gleich bleibt und dass auch bei Aenderung der Belastung keine Winkeländerung eintritt. In jeder Oeffnung wurde längs verschiedener Vertikalen gemessen und die Fahnenstellungen zwischen Sohle und Decke in Abständen von 1 m ermittelt. Die Vermutung, dass über der Breite des Messprofils der Winkel nur wenig variere, bestätigte sich vollumfänglich (Abb. 7). Die Abweichungen sind derart klein, dass für jede Quer-Horizontale ohne weiteres mit dem entsprechenden Mittelwert gerechnet werden kann. In Abb. 8 sind rechts diese mittleren Winkel im Aufriss dargestellt. Es zeigt sich, dass sie sich der Sohle und der Decke sehr gut anpassen. Nach Abb. 7 sind die Verhältnisse an den beiden Einläufen sehr ähnlich; bei den Flügelmessungen wurden aber trotzdem für jede Oeffnung die dort gemessenen Mittelwerte eingestellt.

Gemäss der angewendeten Messmethode liegen die Flügelmesspunkte nicht genau auf einer vertikalen Ebene. In der Nähe der Decke sind die Flügel steiler gestellt als in Sohlennähe. Das „Messprofil“ ist also eine leicht gewölbte Fläche. Indessen kann sie ohne grosse Ungenauigkeit durch eine mittlere Vertikalebene ersetzt werden. Die vertikalen Ebenen durch die vorderste, bzw. hinterste Flügelschaufellage unterscheiden sich nämlich in der Profilhöhe nur um 80 mm. Wird der Auswertung das Mittel dieser beiden Ebenen zu Grunde gelegt, so betragen die max. Abweichungen  $\pm 40$  mm, d. h.  $\pm 1/2\%$  des Messquerschnittes. Der resultierende Fehler ist nur ein Bruchteil dieses halben Prozentes. Bei der Bestimmung des Messprofils wird demnach im Prinzip keine grössere Ungenauigkeit zu erwarten sein als bei dem gewöhnlichen, senkrecht durchströmten Messquerschnitt.

Auch in einem langen, geraden Gerinne mit gleichbleibendem Querschnitt treten infolge der Turbulenz ständig Abweichungen vom parallelen Fliesszustand auf, die mehrere Grad betragen. Um ihren Einfluss unschädlich zu machen, muss die Flügleichung bei Schrägströmung wenigstens in

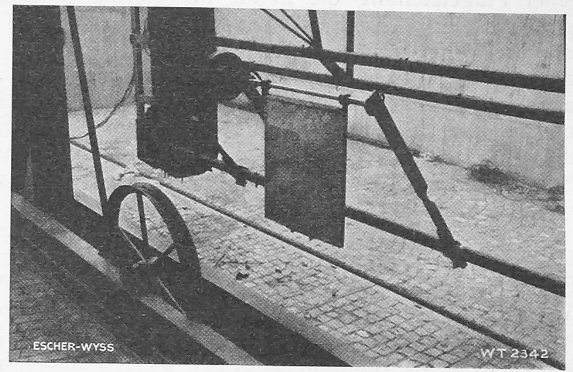


Abb. 5. Fahne mit Pendel zur Bestimmung der Strömungsrichtung; Befestigung an der Flügelmessestange.

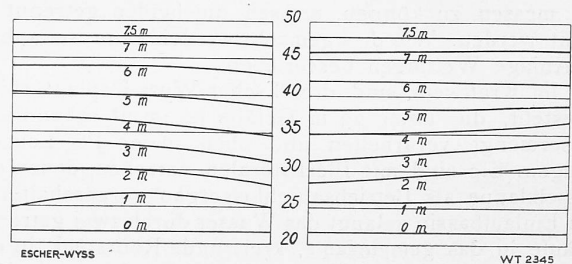
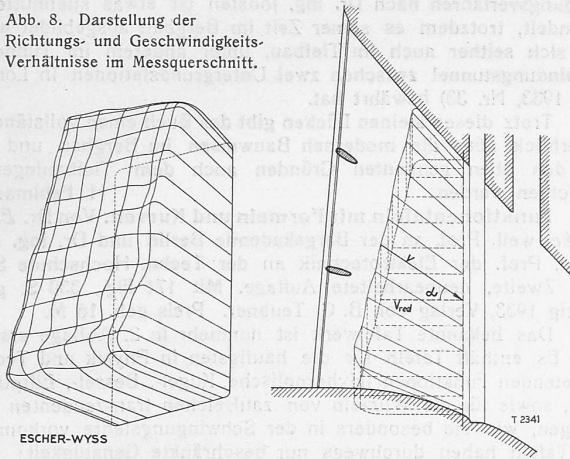


Abb. 7. Verteilung der gemessenen Strömungswinkel über die beiden Einlauföffnungen, für verschiedene Höhenlagen.

diesem Gebiete dem Cosinusgesetz folgen. Abb. 3 zeigt denn auch, dass dies mindestens beim Ott-Speichenflügel zutrifft. Die zeitlich veränderlichen Schrägströmungen sind nun aber in konvergenten Einläufen infolge der Beschleunigung der Wasserfäden in Fliessrichtung eher kleiner als in der Parallelströmung oder gar bei verzögerter Geschwindigkeit. Dank dieser geringeren Turbulenz dürften also die Anzeigen der Messflügel in einem konvergenten Einlauf, falls die Flügelachse mit dem mittleren Vektor der Geschwindigkeit zusammenfällt, genauer sein als bei Parallelströmung. Andererseits kommt aber eine gewisse Unsicherheit in die Auswertung der Messung. Falls nämlich die Strömungsrichtung mit der Senkrechten zur Messfläche einen sehr grossen Winkel bildet, hat ein kleiner Fehler in der Winkelbestimmung auf die Komponente senkrecht zur Messfläche einen verhältnismässig grossen Einfluss. Beträgt der erwähnte Winkel z. B.  $50^\circ$  (was sehr viel ist), so entspricht einem Fehler von  $\pm 1^\circ$  ein solcher von  $\pm 2\%$  in der Geschwindigkeitskomponente. Der Messquerschnitt ist also nicht allzu schräg zur Strömung zu legen. Die Winkelfehler werden sich umso mehr ausgleichen, je grösser die Anzahl der Messpunkte ist. Immerhin ist der Bestimmung der Strömungsrichtung die allergrösste Aufmerksamkeit zu schenken. In Wettingen wird der Einfluss der Winkelfehler dadurch vermindert, dass die Geschwindigkeit gegen die Decke hin, also im Gebiete der grössten Strömungswinkel, kleiner wird (Abb. 8).

Bei der Breitenvermessung des Profils war es nicht möglich, den Einlauf trocken zu legen, sodass eine Einrichtung konstruiert werden musste, die eine Messung unter Wasser gestattet. Zu diesem Zwecke wurde an die Auslegerarme eine Stange montiert, die auf jeder Seite bis 20 mm an die Wand heranreicht. In die Enden der als Rohr ausgebildeten Stange setzte man federbelastete Kolben ein, die an ihren äusseren Enden mit Rollen versehen waren. Unter dem Einfluss der Federn wurden diese Rollen an die Wand gedrückt. Zur Registrierung der relativen Lage zwischen Rohr und Kolben, die zur Ermittlung der Profilhöhe benötigt wurde, dienten an den Kolben befestigte Gleitkontakte und mit der Stange fest verbundene elek-

Abb. 8. Darstellung der Richtungs- und Geschwindigkeits-Verhältnisse im Messquerschnitt.



Links: Axometrische Darstellung der für einen Vollastpunkt gemessenen Wassergeschwindigkeiten. — Rechts: Aufriss des Einlaufs mit eingezeichneten Strömungsrichtungen und Geschwindigkeiten. Schematische Angabe zur Berechnungsweise der Wassermenge.

trische Widerstände. Für die Uebertragung der Lage der Gleitkontakte wurde dieselbe Methode angewendet wie zur Bestimmung des Fahren-Winkels.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf die hier beschriebene Art Wassermessungen durchgeführt werden können mit Aussicht auf genügende Genauigkeit. Auf Grund dieser in Wettingen gewonnenen Erkenntnis konnte Escher Wyss dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich vorschlagen, die Flügelmessungen nach diesem Verfahren durchzuführen. Zur eigentlichen Flügelmessung wurde als neutraler Experte Ing. S. Bitterli aus Rheinfelden beigezogen, der auch die erforderlichen Messflügel stellte.

Die Geschwindigkeit am Eintritt in die Turbinenspirale ist verhältnismässig gross und damit auch die entsprechende Geschwindigkeitshöhe. Es ergibt sich deshalb eine sehr genau messbare Druckdifferenz zwischen Spiraleinlauf und Oberwasserbassin. Sie wurde anlässlich der Abnahmeversuche an zwei Piezometern abgelesen. Sie ist ein Mass für die Wassermenge und kann durch die Flügelmessungen geeicht werden. Dadurch ist es möglich, für jeden beliebigen Zusammenhang zwischen Leit- und Laufrad der Turbine den Wirkungsgrad innert weniger Minuten zu bestimmen. In Wettingen sind dank dieser einfachen Einrichtung über 100 Messpunkte aufgenommen worden. Dem EWZ sei für die frdl. Unterstützung bei den Versuchen bestens gedankt.

\*

#### Bemerkungen über die Messfehler bei Flügelmessungen in schräger Strömung.

Von Prof. Dr. J. ACKERET, Zürich.

Das obenstehend beschriebene Messverfahren verlangt — wie schon hervorgehoben — eine genaue Winkelmessung. Es ist anzunehmen, dass die Winkelfehler  $\varepsilon$  am grössten sind in mittlerer Höhe des Messeinlaufes, da an den Wänden über die Strömungsrichtung kein Zweifel bestehen kann. Um einen Ueberblick zu bekommen, habe ich einen rechteckigen Einlauf mit horizontalem Boden und schräger Decke (Winkel  $\varphi_0$ ) angenommen. Die Winkel  $\varphi$  der Strömung sollen proportional der Höhe bis  $\varphi_0$  ansteigen, der Winkelfehler wachse von Null sinusförmig zu einem Maximum  $\varepsilon_0$  in mittlerer Höhe an und nehme wieder zu Null an der Decke ab. Die Geschwindigkeit  $V$  sei überall konstant. Dann ist der zu erwartende Messfehler

$$\vartheta = \frac{Q_{\text{gem}} - Q}{Q} = -\varepsilon_0 \varphi_0 \frac{\pi}{\pi^2 - \varphi_0^2}$$

Dies ergibt z. B. für

| $\varphi_0$                        | 20    | 40    | 60°   |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| $-\frac{\vartheta}{\varepsilon_0}$ | 0,113 | 0,235 | 0,374 |

Für den schon extremen Fall von  $\varphi_0 = 60^\circ$  und  $\varepsilon_0 = \pm 2^\circ$  beträgt der Fehler  $\pm 1,3\%$ ; für die Verhältnisse von Wettingen dürfte er vernachlässigbar klein sein.

## MITTEILUNGEN.

**Feste Kohlensäure als handliches Kältemittel.** Gegenüber Eis weist feste Kohlensäure als Kältemittel den Vorteil auf, dass sie nicht schmilzt, sondern verdampft, sodass sie zu einem absolut trockenen und sauberen Betrieb führt.<sup>1)</sup> Allerdings kostet die Kälteeinheit, die mittels fester Kohlensäure gewonnen wird, etwa das fünffache der aus Eis gewonnenen Kälteeinheit. Nichtsdestoweniger ist nach „Génie Civil“ vom 30. Sept. 1933 die Fabrikation fester Kohlensäure in Amerika von 130 t im Jahr 1925 auf 55 000 t im Jahre 1932 gestiegen; in England, wo die Produktion im Jahre 1926 sich auf 1200 t belief, beträgt sie heute rund 6700 t. Die bequemste Bezugsquelle reiner gasförmiger Kohlensäure bilden Brauereien und Brennereien von Spiritus, für die die Kohlensäure ein Nebenprodukt darstellt; pro hl Bier gewinnt man 1,25 bis 2,5 kg, pro kg Spiritus etwa 0,5 bis 0,75 kg Kohlensäure. Auch aus Feuergasen, die durch Absorptionsmittel gereinigt werden, kann Kohlensäure gewonnen werden, die für die Ueberführung in feste Form wirtschaftlich brauchbar ist. Diese Ueberführung erfolgt in Kompressionsanlagen, deren Bauweise gemäss amerikanischer Praxis in einer Arbeit von M. Kitzmiller in der Juni-Nummer 1933 der Zeitschrift „Power“, gemäss englischer Praxis in einer Darstellung im „Engineering“ vom 18. Aug. 1933 bekanntgegeben wurde. — Trockeneis hat eine Temperatur von nahezu  $-80^\circ \text{C}$ ; die zu seiner Verdampfung und Erwärmung auf  $0^\circ$  erforderliche Wärme wird<sup>1)</sup> zu 153 kcal/kg angegeben; das ist fast doppelt so viel wie die Schmelzwärme (80) von Eis. Das spezifische Gewicht des Trockeneises schwankt je nach dem beim Pressen des Kohlensäureschnees verwendeten Druck zwischen 1,1 und 1,5 kg/l; 1,25 kg/l und  $0^\circ$  Austrittstemperatur angenommen, ergibt sich pro Liter eine rd. 2,7fache Kälteleistung gegenüber Eis. In der Zeitschrift des VDI vom 2. Dezember 1933 erörtert W. Pohlmann die Aussichten von Trockeneis: Es kommt in Betracht für die Kühlhaltung tiefgefrorener Lebensmittel, besonders bei der Beförderung (etwa in Flugzeugen). Bei dieser leichtflüchtigen Ware sind wenige Abnehmer grosser Mengen günstig, wie die amerikanische „Ice-Cream“-Industrie, die 90% der dortigen Trockeneis-Produktion verschlingt. In England werden 40% der Kohlensäure nur zum Versand verfestigt, da der Transport in flüssiger Form hoch beanspruchte und schwere Flaschen erfordert. Der Gewichtsverlust eines 10 kg-Blocks beträgt bei geeigneter Verpackung nicht mehr als 5%; er geht in England und Holland zu Lasten des Lieferanten. Für den Hausgebrauch stellt z. B. die Carba A.-G., Bern-Liebefeld, zylindrische, 10 bis 12 kg schwere Blöcke von 15 cm  $\varnothing$  und 35 cm Länge her.

**Eisenbetonbrücken von Ing. A. Sarrasin, Lausanne und Brüssel.** Im „Bulletin Technique“ vom 9. und 23. September sind interessante neuere Brücken dieses originelles Konstrukteurs veröffentlicht, die näherem Studium empfohlen und hier lediglich dem Namen nach aufgezählt seien, da man sie sich als charakteristische Lösungen wohl merken darf. Die beiden Hauptträger der *Rhonebrücke Bränon* (zwischen Fully und Martigny) sind durchlaufende Balken über 28,8 + 38,4 + 28,8 m Weite, die zugleich die Brüstungen für die 5 m breite Fahrbahn bilden. Die zierliche *Brücke über die Visp in Meryen* (oberhalb Stalden) setzt mit einem Bogen von 66 m Weite über eine tiefe Schlucht. Die beiden Brüstungen der ebenfalls 5 m breiten Fahrbahn bilden die Versteifung der zwei leicht gespreizten Stabbögen, die unter sich durch Querriegel (an den Stützpunkten der Fahrbahnsäulen) verbunden sind. Ueber die *Vierendeelbrücke in Naon-Hounts bei Luchon* (Pyrenäen) ist auf S. 165 von Bd. 98 (26. Sept. 1931) kurz berichtet, und schliesslich ist als bedeutendstes Werk die (noch nicht publizierte) *Trientbrücke in Gueroz* (Wallis) anzuführen, die ebenfalls zwei rechteckige eingespannte Bogenrippen, durch die Fahrbahnbrüstungen versteift, aufweist, jedoch von 98,5 m Spannweite bei nur 5 m Fahrbahnbreite, 190 m über der Talsohle. (Vergl. Bild auf S. 329 von Band 102 der „S. B. Z.“ vom 30. Dezember 1933).

**Glättung der Lichtschwankungen von Wechselstrom-Glühlampen.** Niedrige Periodenzahl des Glühlampenstroms, wie die für Einphasen- und Drehstrombahnen gebräuchliche Wechselzahl von 15 bis  $16\frac{2}{3} \text{ sec}^{-1}$  bewirkt im menschlichen Auge ein lästiges Flimmern. Die Verwendung von abnormalen (15 V)-Lampen mit grosser Wärmeträgheit, oder die abnormale Herabsetzung der Stromdichte im Glühfaden sind seit langem als wirksame Abhülfe-

<sup>1)</sup> Vergl. „S. B. Z.“, Bd. 93, S. 36\* (13. Jan. 1929).