

# Experimentelle Untersuchung der Wasserströmung durch ein rotierendes Zellen-Kreiselrad

Autor(en): **Oertli, Heinrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83/84 (1924)**

Heft 20

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-82793>

## **Nutzungsbedingungen**

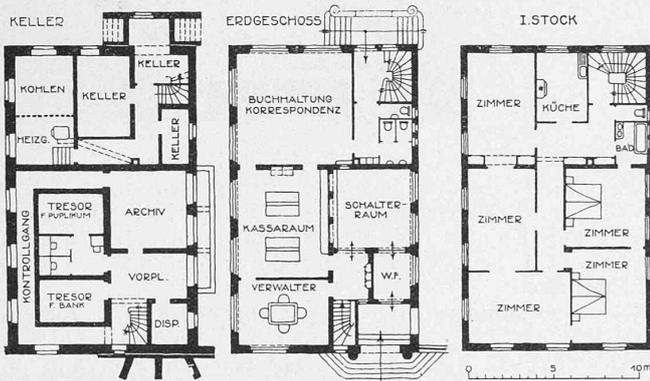
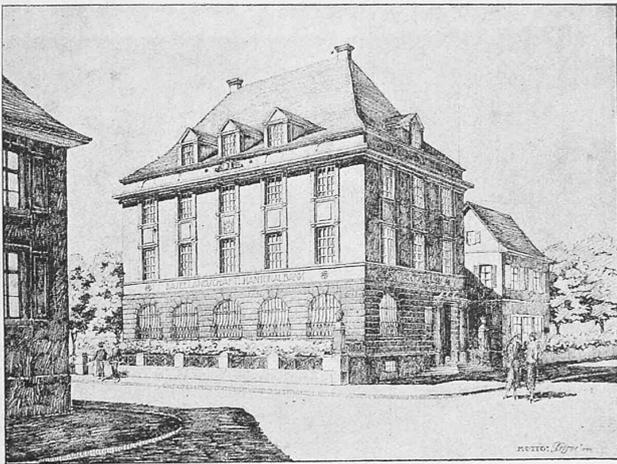
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

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.



II. Preis (700 Fr.), Entwurf Nr. 5. Schaubild und Grundrisse 1:400. Verfasser: Arnold Meyer, Arch., Pratteln.

Die zur Verfügung stehende Preissumme von 2500 Fr. wurde hierauf wie folgt verteilt:

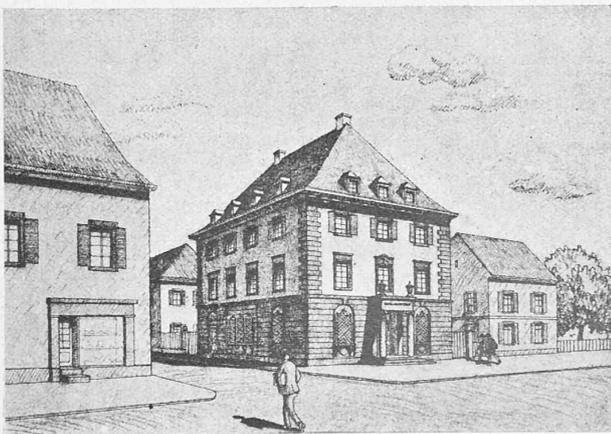
- I. Preis 1200 Fr. an Nr. 12
- II. Preis 700 Fr. an Nr. 5
- III. Preis 600 Fr. an Nr. 1

Bei Eröffnung der Couverts ergaben sich folgende Verfasser:  
 Nr. 12 Verfasser *Ed. Schmid*, Architekt, Liestal  
 Nr. 5 Verfasser *Arnold Meyer*, Architekt, Pratteln  
 Nr. 1 Verfasser *Wilhelm Brodtbeck*, Architekt, Liestal.

Das Preisgericht schlägt vor, die weitere Bearbeitung der Pläne dem Verfasser des erstprämierten Projektes zu überlassen.

**Schlussbemerkungen.**

Das Resultat des Wettbewerbes kann als ein gutes bezeichnet werden, da die letzten acht Projekte im allgemeinen brauchbare Lösungen darstellen. Wenn auch die Beleuchtung der gegen die Grenze gelegenen Räumlichkeiten nicht absolut befriedigend ist,



so ist dies lediglich dem Umstande zuzuschreiben, dass der Bauplatz eben zu schmal ist, wenn die im Programm vorgesehenen Räume in der angenommenen Grösse untergebracht werden sollen. Es wäre deshalb zu erwägen, ob nicht durch Erwerbung eines weitem Teils der Nachbarliegenschaft eine bessere Beleuchtung gesichert werden könnte. Der Wettbewerb hat ferner ergeben, dass die in Aussicht genommene Bausumme von etwa 140000 Fr. nicht ausreichen wird, wenn das Bauprogramm im vorliegenden Umfang durchgeführt werden soll. Doch wird bei Ausführung des erstprämierten Projektes am ehesten der Kostenbetrag in bescheidenem Masse gehalten werden können.“

**Experimentelle Untersuchung der Wasserströmung durch ein rotierendes Zellen-Kreisrad.**

Von Dr. sc. techn. *Heinrich Oertli*, Ingenieur, Tarbes<sup>1)</sup>

In einem als Zentrifugalpumpe arbeitenden Kreisrad kommt eine bedeutend kleinere Leistung zum Umsatz, als man nach der gewöhnlichen Stromfadentheorie erwartet. Diese macht die Annahme, dass die Flüssigkeit am ganzen Umfang mit gleicher Geschwindigkeit und relativ unter dem Winkel der arbeitenden Schaufelflanke austrite (Abb. 10). Fehlt ein Leitapparat vor dem Laufrad, so ist die absolute Richtung der zuströmenden Flüssigkeit meridional. Der Leistungsumsatz berechnet sich dann unter Voraussetzung der besprochenen Strömungsform zu:

$$L = \gamma \frac{Q}{g} u_2 (-w_{u2} + u_2)$$

worin  $L$  = Leistung,  $Q$  = sekundlich verarbeitete Flüssigkeitsmenge,  $\gamma$  = spezifisches Gewicht,  $g$  = Beschleunigung,  $u_2 = r_2 \cdot \omega$  = Umfangsgeschwindigkeit,  $w_{u2} = \frac{Q}{(2\pi r_2 - z a) B} \cot \beta$ , wenn hierin  $z$  = Schaufelzahl,  $d$  = Schaufeldicke am Austritt in Umfangsrichtung gemessen,  $B$  = Laufradaustrittsbreite und  $\beta$  = Schaufelaustrittswinkel. Der wirkliche Leistungsumsatz ist kleiner als der so berechnete Wert von  $L$ . Durch Einführung eines „wirksamen“ Austrittsradius  $R_2 < r_2$  und einer „wirksamen“ Austrittsfläche (die nicht auf den Kreise  $\Phi = 2 r_2$  zu liegen braucht) bzw. einer „wirksamen“ Austrittsgeschwindigkeit<sup>2)</sup> kann ein Leistungsumsatz  $L = \gamma \frac{Q}{g} U_2 (-W_{u2} + U_2)$  berechnet werden, der dem experimentell bestimmten Werte in befriedigender Weise nahe kommt. Eine Erkenntnis über die wirklichen Strömungsvorgänge und damit über die eigentliche Ursache des verminderten Leistungsumsatzes hat man aber dadurch nicht gewonnen. Der Verfasser stellte sich zur Aufgabe, diese durch geeignete Versuche zu ermitteln, die sichtbaren Aufschluss über die Strömungserscheinungen in einem rotierenden Kreisrad geben.<sup>3)</sup> Den Bemühungen von Herrn Prof. Präšil verdankt er, dass er in der Eigenschaft als Assistent und später als wissenschaftlicher Mitarbeiter eine zweckentsprechende Versuchseinrichtung im Laboratorium der Eidg. Techn. Hochschule schaffen und die nötigen Versuche durchführen konnte.

Die Versuchseinrichtung ist in den Abbildungen 1, 2 und 3 dargestellt. Das Kreisrad H ist ein reines Radialrad mit vertikaler Achse; Laufraddurchmesser = 400 mm; Laufradbreite = 40 mm; Drehzahl für stosslosen Eintritt für  $q = \frac{Q}{B} = 1 \text{ m}^2/\text{sek}$ :  $n = 148 \text{ Uml/min}$ . Der Zufluss

<sup>1)</sup> Kurzer Auszug aus der von der Eidg. Techn. Hochschule genehmigten Promotionsarbeit 1922: „Untersuchung der Wasserströmung durch ein rotierendes Zellen-Kreisrad“ (Verlag Rascher & Cie. Mit 6 Figurentafeln, 40 Abbildungen; Preis geb. Fr. 2.50). Auf eine Wiedergabe des (verhältnismässig umfangreichen) hydrodynamisch-theoretischen Teils wurde wegen Raumangel verzichtet.

<sup>2)</sup> Siehe «Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruck-Turbinen». Von Prof. Dr. F. Präšil. «S. B. Z.» 1905, Band 45 (auch als Sonderabdruck erhältlich).

<sup>3)</sup> Seither ist in der «Technique Moderne» Nr. 3 und 4, 1923 (Verlag Dunod, Paris) eine Veröffentlichung von Dr. A. Carrard, Ing. bei BBC Baden, über Versuche mit Pitotröhren an einem Luftkompressor erschienen.

des Wassers erfolgt senkrecht von unten aus der Hochdruck-(Turm)-Leitung des Maschinen-Laboratoriums. Der Leitapparat E ist schaufellos und von der selben Breite wie das Laufrad. Die durch den Spalt F gebildete Abflussöffnung ist axensymmetrisch. Durch diese Konstruktion sowie durch den vor dem Laufradeintritt befindlichen Siebring wurde die Strömung durch das Laufrad angenähert eben und zweidimensional<sup>1)</sup> gemacht (welcher Umstand eine theoretische Behandlung der Strömungserscheinungen wesentlich vereinfachte). Das Laufrad wurde am Zuleitungsrohr gelagert.

Je zwei Quadranten des Leitapparates und des Laufrades erhielten eine Glasdecke, um eine Beobachtung und Photographie der Strömung zu ermöglichen. Zum Sichtbarmachen der Strömung wurden sowohl der Leitapparat als auch das Laufrad mit einer grössern Anzahl von feinen, senkrecht zur Strömungsebene gestellten Messingdüsen versehen, durch die der Farbstoff (Kalipermanganatlösung) gepresst werden konnte. Zur Erzeugung des nötigen Druckes wurde das Farbstoffreservoir M (Abb. 2) mit dem Windkessel der Hochdruck-Kolbenpumpe des Maschinenlaboratoriums in Verbindung gesetzt. — Eine Reihe von Versuchen wurden (bei bedeutend verminderter Geschwindigkeit) mit freier Oberfläche durchgeführt; der Deckel des Leitapparates sowie die Glasdecken des Laufrades wurden dann weggelassen (Abb. 3). Auf die Ober-

<sup>1)</sup> Eine ebene Strömung senkrecht zur z-Axe ist zweidimensional, wenn  $\partial v : \partial z = 0$ .

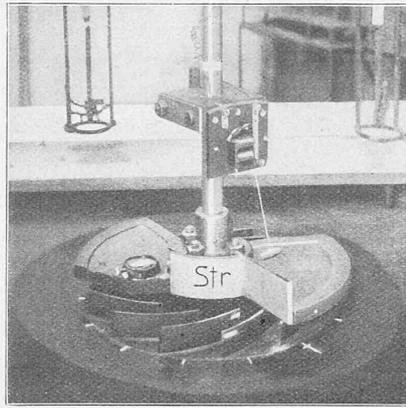


Abb. 3 (oben)

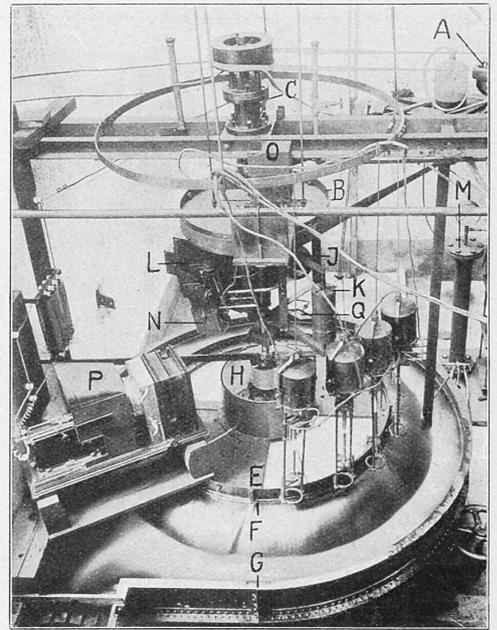


Abb. 2 (rechts)

fläche des Wassers wurde Aluminiumbronzepulver gestreut; das auf dem Laufrad befestigte Streugefäss ist in Abb. 3 und 4 mit Str bezeichnet. Ein durch einen Elektromagneten betätigter Klopper liess das Aluminiumpulver durch feine Löcher auf die Oberfläche des durchströmenden Wassers niederrieseln.

Die photographische Aufnahme der Relativströmung erfolgte mit der kinematographischen Aufnahmekamera L (Abbildung 2), die auf der Welle befestigt war. Für die

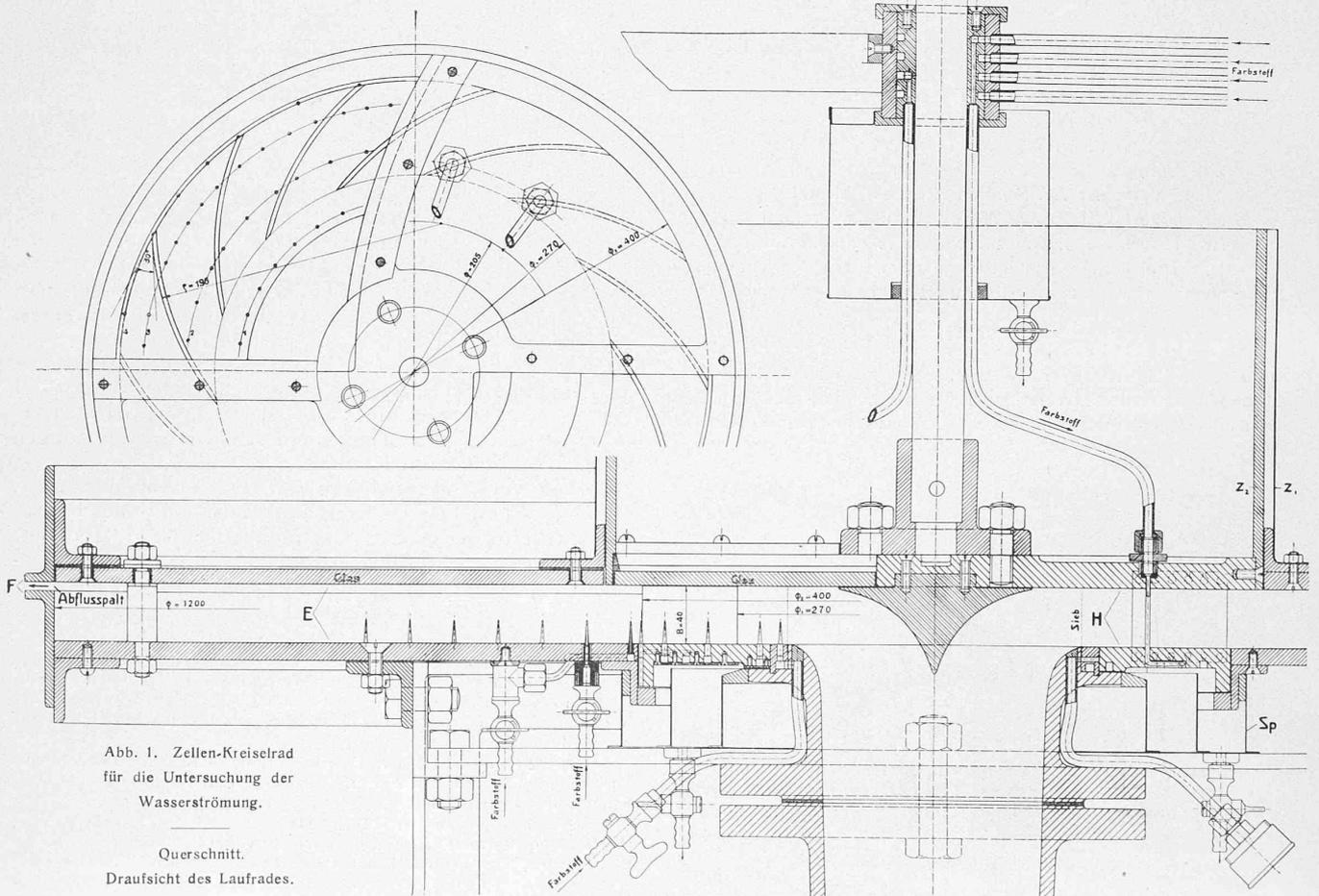


Abb. 1. Zellen-Kreisrad für die Untersuchung der Wasserströmung.

Querschnitt.  
Draufsicht des Laufrades.

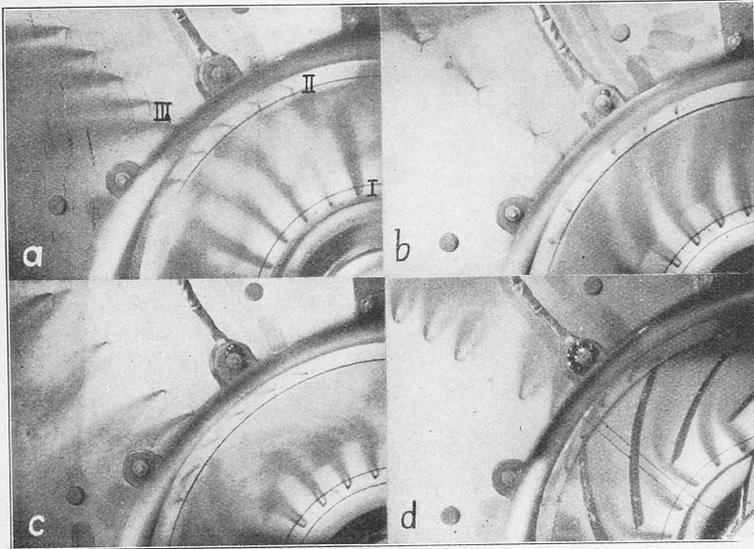


Abbildung 5.

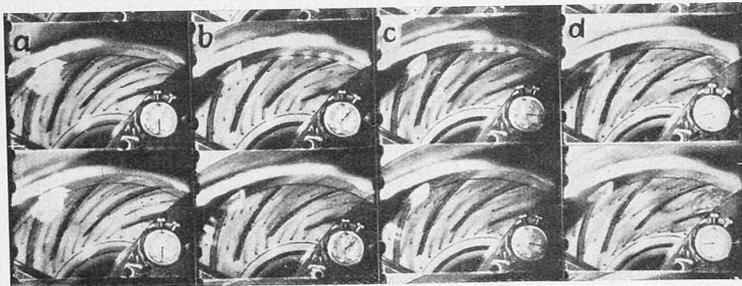


Abbildung 6.

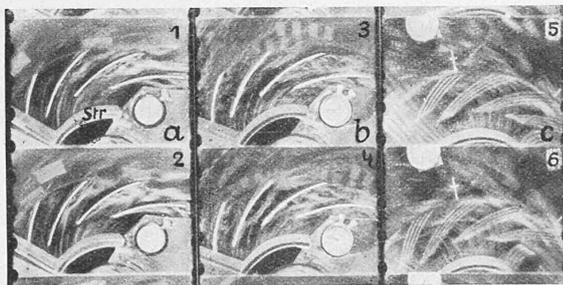


Abbildung 4.

Aufnahme der Absolutströmung war die langbrennweitige Spezialkamera (9x12) O gebaut worden, für die ein Ausschnitt der auf der Riemenscheibe B gelagerten Blendscheibe in der gewünschten Laufradstellung die Belichtung vermittelte. Eine Reihe von feststehenden Bogenlampen, eine rotierende Bogenlampe N, sowie der Projektionsapparat P in Verbindung mit dem rotierenden Spiegel Q sorgten für die Beleuchtung.



Relativströmung nach Versuch vom 10. IV. 22.  $\frac{Q_n}{n_n}$   
Abb. 7.

Relativströmung nach Versuch vom 10. (-20.) IV. 22.  $\frac{Q_n}{n_n}$   
Abb. 8.

Relativströmung nach Versuch vom 10. IV. 22.  $\frac{Q_n}{n_n}$   
Abb. 9.

Die Abbildungen 4a und b stellen Relativströmungen bei freier Oberfläche dar; Drehgeschwindigkeit des Laufrades  $n \sim 10$  bzw.  $15$  Uml/min. Abb. 4c zeigt zwei Bilder einer mit feststehender Kamera aufgenommenen kinematographischen Photographie der Absolutströmung; jedes dieser Bildchen enthält, wie auch Abb. 4b, vier Belichtungen, daher die vierfach gezeichneten Schaufeln (Abb. 4c) bzw. die vierfach abgebildeten Marken des feststehenden Leitapparates (Abb. 4b). Diese Aufnahmen bei freier Oberfläche zeigen qualitativ dieselben Erscheinungen, die im folgenden bei den Versuchen mit dem „betriebstüchtigen“ Kreisrad (Laufrad und Leitapparat gedeckt) bei grösserer Wassermenge und Drehgeschwindigkeit festgestellt werden können.

Die Abb. 5 gibt eine Auswahl von Aufnahmen der Absolutströmung wieder. Dabei stellt Bild a die Absolutströmung für den Normalgang  $\frac{Q_n}{n_n}$  dar, b für  $\sim \frac{Q_n}{n_n/2}$ , c für  $\sim \frac{Q_n/2}{n_n}$  d für  $n = 0$ . Die Laufradschaufeln sind bei den Aufnahmen des bewegten Rades nur schwach sichtbar. Bei den Aufnahmen b und c fehlte das oben erwähnte Sieb vor dem Laufradeintritt.

Abb. 6 zeigt Bruchstücke aus den kinematographischen Aufnahmen der Relativströmung für  $\sim \frac{Q_n}{n_n}$ ,  $\frac{Q_n}{n_n/2}$ ,  $\frac{Q_n/2}{n_n/2}$ ,  $\frac{Q_n/2}{n_n}$ .

Die Platten und Kinofilms wurden mit Hilfe des Projektionsapparates so vergrössert, dass die Strömung in natürlicher Grösse erschien. Die zeichnerische Vergrösserung einer Kinofilm-Aufnahme stellt die Zusammenlegung einer ganzen Bilderserie dar; die Abb. 7, 8 und 9 zeigen davon verkleinerte Wiedergaben. Es entsprechen:

Abb. 6a, 8 (5a): Versuch bei  $q = \frac{Q}{B} = 0,608 \text{ m}^2/\text{sek}$ ,  $n = 89,4$  Uml/min (aus dem Film bestimmt). Umgerechnet auf  $q' = 1 \text{ m}^2/\text{sek}$ ,  $n' = 147,0$  Uml/min  $\sim$  Drehzahl des Normalganges.

Abb. 6b und 7:  $q = 0,611 \text{ m}^2/\text{sek}$ ,  $n = 43,7$  Uml/min,  $n' = 71,5$  Uml/min  $\sim 1/2$  Drehzahl des Normalganges.

Abb. 6c:  $q = 0,301 \text{ m}^2/\text{sek}$ ,  $n = 44,3$  Uml/min,  $n' = 147,0$  Uml/min  $\sim 1/1$  Drehzahl des Normalganges.

Abb. 6d und 9:  $q = 0,304 \text{ m}^2/\text{sek}$ ,  $n = 91,5$  Uml/min,  $n' = 301,5$  Uml/min  $\sim 2 \cdot$  Drehzahl des Normalganges.

Aus den photographischen Strömungsaufnahmen lässt sich folgendes über die Relativ- und Absolutströmung feststellen:

1. *Relativströmung.* Die experimentell festgestellte Drehzahl des „stosslosen“ Eintrittes stimmt mit der nach der Stromfadentheorie berechneten Drehzahl überein. Selbst beim Normalgang, d. h. bei stosslosem Eintritt, treten an der konkaven Schaufelrückseite Ablösungen auf, was zur Folge hat, dass die relative Austrittsrichtung gegenüber dem Schaufelwinkel verflacht (vergleiche Abb. 8 und 10), mithin der Leistungsumsatz vermindert wird. Die Relativströmung ist nicht stationär (die Relativströmung einer reibungsfreien Strömung wäre stationär); die Schwankungen in der Strömungsrichtung lassen aber keine deutliche Frequenz erkennen; sie haben ihre Ursache in erster Linie in der Reibung und ihren Folgeerscheinungen (Wirbelbildungen). Der Vergleich der zwei Aufnahmen bei Normalgang aber verschiedenen Werten von  $q$  und  $n$  zeigt, dass die mittlern Strömungsrichtungen dieselben sind, was für

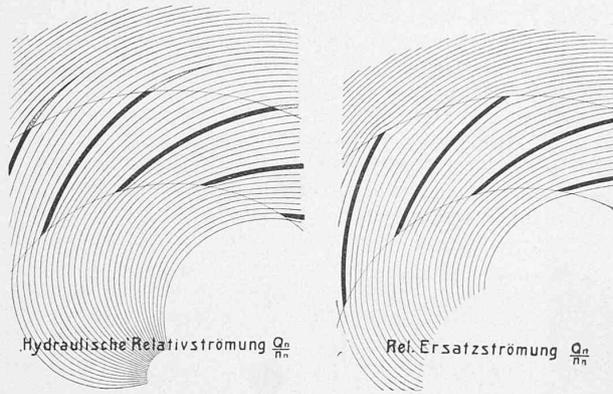


Abb. 10.

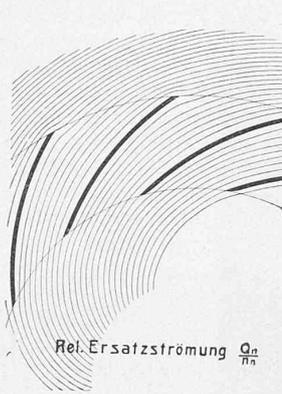


Abb. 11.

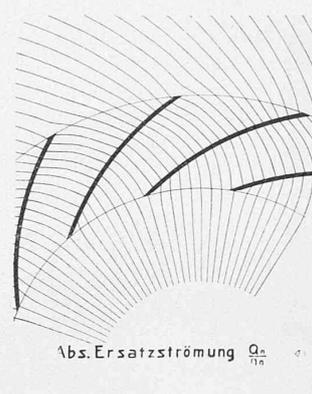


Abb. 12.



Abb. 13.

die Richtigkeit des Affinitätsgesetzes (Gesetz der Hauptcharakteristik) spricht. Bei der kleineren Wassermenge ist die Strömung am Austritt unruhiger als bei der grösseren, weil sich bei der kleineren Durchflussgeschwindigkeit grössere Ablösungswirbel ausbilden können.

2) Vergleich der Absolutströmungen untereinander. Die Zuströmungsrichtung ist radial, unabhängig von der Grösse des Wertes  $\frac{Q}{n}$ . Der absolute Austrittswinkel wird mit wachsendem Werte von  $\frac{Q}{n}$  grösser.

Bei einer weiteren Versuchserie wurde das zylindrische Sieb beim Zulauf weggelassen; die Aufnahmen der Relativströmung zeigten dann auffallende Richtungsschwankungen am Eintritt (siehe die gestrichelten Linien in Abbildung 8). Die Frequenz der Schwankungen ist gleich der Drehzahl des Laufrades. Mit dem Weglassen des Siebringes fällt also die Axensymmetrie der Zuströmung dahin. Trotz der fast 3 m langen geraden Rohrleitung und trotz des in diese eingebauten horizontalen Siebs machen sich noch die Störungen durch die Krümmer und den Schieber geltend. Bei den üblichen Bauarten der Zentrifugalpumpen hat das Saugrohr bzw. Zuleitungsrohr einen Krümmer dicht vor dem Laufradeintritt; infolgedessen wird auch beim „Normalgang“ nie auf dem ganzen Umfang ein „stossloser“ Eintritt stattfinden können.

Der Leistungsumsatz lässt sich aus den gemessenen absoluten Strömungsrichtungen berechnen, und zwar wird bei absolut radialer Zuströmung zum Laufrade:

$$L = \omega \frac{\gamma Q^2}{g \cdot 2\pi B} \cot \delta$$

$\delta$  ist der Winkel, den die absolute Strömungsrichtung, gemessen auf einem Kreise  $\Phi > 2r_2$ , wo sich der nichtstationäre Einfluss der Laufradschaufeln nicht mehr bemerkbar macht, mit der Umfangsrichtung einschliesst.

Aus einer Reihe von Versuchen an neun Zentrifugalpumpen (wo die Leistung gemessen wurde), konnte der Verfasser ableiten:

$$A) L = \frac{\gamma Q u_2}{g} \left( -1,06 \cot \beta_E \frac{Q}{(2\pi r_2 - z d) B_2} + 0,843 u_2 \right)$$

$\beta_E$  ist der Neigungswinkel der logarithmischen Ersatzspirale, die die Neigung des Schaufelrades charakterisiert. Dieses wirksame Schaufelende ist ungefähr  $\frac{2}{3}$  des Stückes, das die orthogonale Trajektorie abschneidet, die durch das nächstfolgende Schaufelende gelegt wird.

Den am Versuchsreisrad gemessenen Strömungsrichtungen würde entsprechen:

$$B) L = \frac{\gamma Q u_2}{g} \left( -0,681 \cot \beta_E \frac{Q}{(2\pi r_2 - z d) B_2} + 0,567 u_2 \right)$$

Diese Unstimmigkeit zwischen A und B entspricht der grossen Differenz der Versuchsgeschwindigkeiten ( $\sim 90$  Uml/min bei unserm Versuchsrad, 650 bis 1500 Uml/min bei den erwähnten Untersuchungen an Pumpen von nicht wesentlich verschieden grossen Durchmessern). Schon der Vergleich der Strömungsaufnahmen des betriebstüchtigen Kreisrades (Abb. 6) und derjenigen bei freier Oberfläche

(Abb. 4) lässt den Einfluss verschieden grosser Geschwindigkeiten auf die Strömungsform erkennen. (Bei den zwei Strömungsaufnahmen für Normalgang aber verschiedene Drehzahlen,  $\sim 90$  und 45 Uml/min (siehe Seite 233) entzog sich der Unterschied in der mittlern Strömungsrichtung der Beobachtung). Als praktisch brauchbare Formel zur Bestimmung des Leistungsumsatzes einer Zentrifugalpumpe (bzw. zur Bestimmung des Winkels  $\beta_E$  bei der Konstruktion eines Rades) kommt nur A in Betracht.

Die nach Methoden der theoretischen Hydrodynamik der reibungsfreien Flüssigkeit — unter Benutzung experimenteller und graphischer Methoden — bestimmten Strömungsbilder sind für den Normalgang durch Abb. 11 (Relativströmung) und Abb. 12 (Absolutströmung) dargestellt. In Abb. 13 wird diese „Ersatzströmung“ mit der wirklichen, experimentell aufgenommenen Strömung verglichen. Die Übereinstimmung kann wohl als technisch befriedigend bezeichnet werden; die grössten Abweichungen sind in der Nähe der Schaufelenden zu konstatieren. Die wirkliche Strömung löst sich von der konkaven Schaufelrückseite ab; das theoretische Strombild der reibungsfreien Flüssigkeit zeigt keine Ablösungserscheinungen.

### „Nationalismus“ und Eidg. Technische Hochschule.

Unter diesem modernen Fremdwort sind Strömungen zu verstehen, die in der bald 70jährigen Entwicklung der Eidg. Technischen Hochschule bisher in der Tat fremd waren, die wohl auch heute als eine vorübergehende Nachwirkung der so vielgestaltigen Kriegspsychose, eines übertriebenen Nationalgefühls zu werten sind. Wir meinen die unverhältnismässige und Allen, die das Wesen unseres „Poly“ aus eigener Erfahrung näher kennen, unverständliche Aufregung, die darob entstanden ist, einmal, dass als Nachfolger unseres hervorragenden Geographen Professor Dr. J. Früh mangels im ganzen Umfang der gestellten Anforderungen geeigneter Schweizer ein ausländischer Fachgelehrter berufen worden ist, sodann, dass man die Kriegsmassnahme der Verdopplung des Schulgeldes für Ausländer wieder aufgehoben hat. Beides sind, wie gesagt, für „Ehemalige“ der E. T. H. so selbstverständliche Dinge, dass wir sie kaum registriert hätten, wären sie nicht zu Kardinalfragen aufgebauscht worden, von denen jene bezüglich der Professur sogar bis in den Nationalratsaal gedrungen ist. Wir beginnen mit dieser Frage der Professur und geben zunächst die offizielle Antwort des Bundesrates<sup>1)</sup> im Auszug wieder.

Grundsätzlich machen es sich Bundesrat wie Schulrat heute mehr denn je zur selbstverständlichen Pflicht, an der E. T. H., wenn immer möglich, qualifizierten Bewerbern schweizerischer Nationalität den Vorzug zu geben. Es wird auch nicht bestritten, dass im vorliegenden Falle „sich unter den schweizerischen Bewerbern einige Gelehrte befanden, die in einzelnen der zur Professur gehörenden Gebieten gut ausgewiesen waren; für die Lehrtätigkeit auf dem Gesamtgebiet der Geographie aber, in der bisherigen Umschreibung der Professur, umfassend die allgemeine Geographie (physikalische Geographie mit Einschluss der Meteorologie und Klimatologie, Anthro-

<sup>1)</sup> Vollinhaltlich in „N. Z. Z.“ vom 18. April 1924 (Nr. 576).