

Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen

Autor(en): **Prášil, Franz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **45/46 (1905)**

Heft 7

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-25384>

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.

INHALT: Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen. — L'architecture contemporaine dans la Suisse romande, Lausanne II. — Zur Urabstimmung der G. e. P. über die Reorganisation des eidg. Polytechnikums. — Simplon-Tunnel. — Miscellanea: Ein neues Polizeigebäude in Bern. Ein Bau- und Verkehrsmuseum in Berlin. Ein Elektrizitätswerk an der Veveyse. Errichtung eines Franzius-Denkmal. Das Wawelschloss in Krakau. Eine Ausstellung religiöser Malerei. Ein neues Kunstaus-

stellungs-Gebäude in München. Internationale Simplon-Ausstellung in Mailand. Wasserversorgung in Prag. Bernina-Bahn Eidgen. Kunstkommission. — Konkurrenzen: Parlamentsgebäude in Montevideo. Post- und Telegraphengebäude in La Chaux-de-Fonds. — Nekrologie: † H. Juvet. † Johann Müller. — Korrespondenz. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. G. e. P.: XXXVI. Adressverzeichnis. Hiezu Tafel IV: Hôtel des Postes et des Télégraphes à Lausanne.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur unter der Bedingung genauester Quellenangabe gestattet.

Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen.¹⁾

Von Professor Dr. Franz Präšil in Zürich.

Nachdruck verboten.

Im Herbst 1903 hat der hohe schweizerische Schulrat den Kredit zum Ausbau der Niederdruckturbinen in der hydraulischen Abteilung des Maschinenlaboratoriums am eidgenössischen Polytechnikum auf Francisanordnung bewilligt; die Herstellung der betreffenden Bestandteile — das sind zwei Leiträder mit Finkschen Schaufeln und vier Laufräder nebst Zubehör — wurde der Erbauerin der Niederdruckturbinen, der Firma *Escher Wyss & Cie.* in Zürich übertragen. Die Firma brachte das bestellte Material im Frühling des Jahres 1904 zur Ablieferung; im vergangenen Sommersemester bildete die Untersuchung einer Garnitur den Gegenstand einer Schlussdiplomarbeit aus dem Gebiete des Turbinenbaues und nebst dem wurden seither mit derselben Garnitur Kursübungen abgehalten.

Im Laufe des vergangenen September und Oktober sind mit dem gesamten Material eingehende Versuche angestellt worden.

Die Beschreibung dieser Versuche und der bei denselben erzielten Resultate, die Vergleichung letzterer mit den Ergebnissen früherer Versuche, sowie einige auf diese

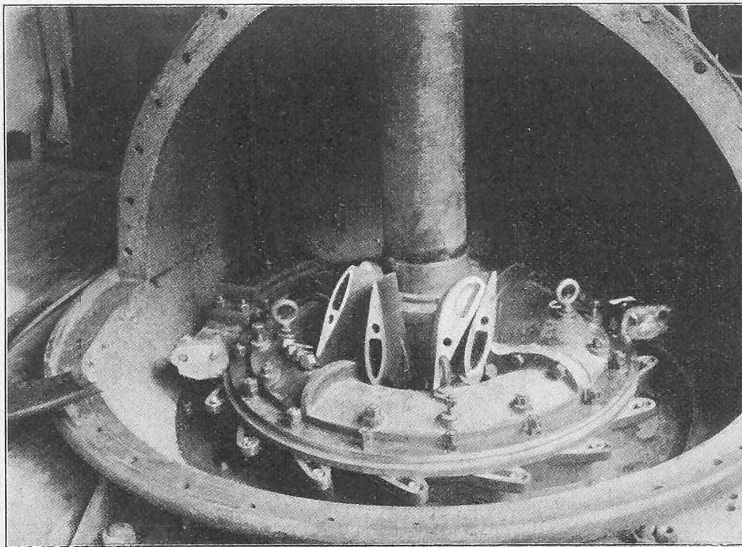


Abb. 1. Einbau der Versuchsturbinen.

A. Die Versuchsobjekte.

Die Konstruktion und Disposition der Niederdruckturbinen ist im Bericht über die Einrichtung des Maschinenlaboratoriums im Band XLII, Nr. 20 und 21 der Schweiz. Bauzeitung beschrieben; speziell die Anordnung als Francis-turbine ist daselbst in Abbildung 33 skizziert.

Die gelieferten Garnituren umfassen:

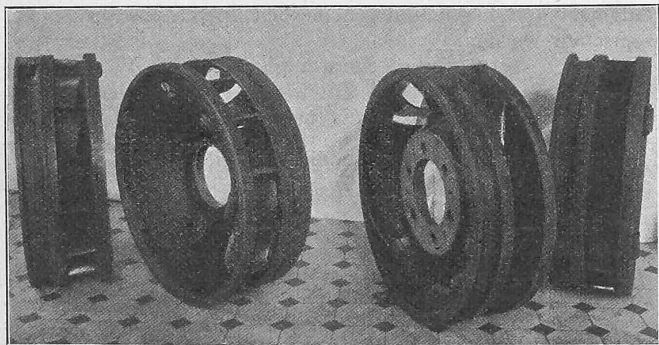
1. Ein Leiträder *A* mit 16 drehbaren Leitradschaufeln samt zwei Laufrädern (Nr. I und Nr. II) mit je 14 Schaufeln, jedes konstruiert für einen Wasserkonsum von $0,600 \text{ m}^3/\text{Sek.}$ bei 5 m Gefälle.

2. Ein Leiträder *B* mit ebenfalls 16 drehbaren Leitradschaufeln samt zwei Laufrädern (Nr. III und IV) mit je 12 Schaufeln, jedes für einen Wasserkonsum von $0,600 \text{ m}^3/\text{Sek.}$ bei 5 m Gefälle konstruiert.

Die zu einem Leiträder gehörenden Laufräder sind bei sonst gleichen Dimensionen nur insoweit verschieden, dass deren Eintrittsschaufelkanten in verschiedenen Abständen von der Achse angeordnet sind, sodass das eine Laufräder mit grösserem, das andere mit kleinerem Schaufel-

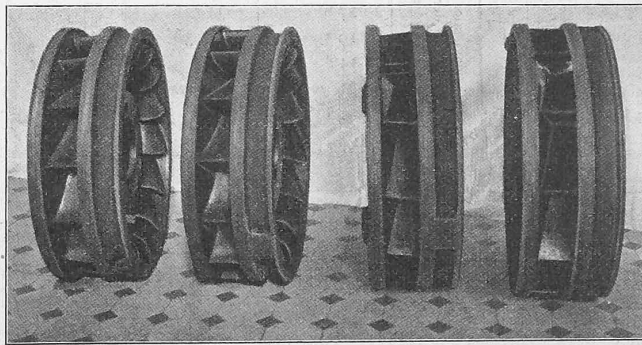
spalt arbeitet; ausserdem unterscheiden sich die beiden Gruppen von einander durch den Reaktionsgrad, für welchen sie konstruiert sind, wie aus der nachstehenden Dimensionstabelle gefolgert werden kann.

Die Dimensionen der Leiträder *A* und *B*, sowie der zugehörigen Laufräder sind aus der Tabelle auf Seite 82 zu



I II III IV

Abb. 3 und 4. Die vier Laufräder.



I II III IV

Vergleichungen basierende Schlussfolgerungen bilden den Gegenstand des nachfolgenden Berichtes.

¹⁾ In einem am 23. November 1904 vor dem Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein gehaltenen Vortrag hat Herr Prof. Dr. Präšil über die Ergebnisse dieser Untersuchungen in kurzer Weise berichtet und die erweiterte Veröffentlichung seines Berichtes in der Schweizerischen Bauzeitung in Aussicht gestellt.
Die Red.

ersehen; Abbildung Nr. 1 zeigt den Einbau einer Garnitur im Turbinengehäuse, Abbildung 2 (S. 82) gibt den Konstruktionsplan der Turbinen, die Abbildungen Nr. 3 und 4 stellen die vier Laufräder dar.

In den Abbildungen 5 und 6 (S. 83) ist die Stellung der Leitradschaufeln gegen die Laufradschaufeln für die verschiedenen Garnituren dargestellt.

Die Verstellung der Leitradschaufeln behufs Regulie-

nung von Hand erfolgt mittelst des aus den Abbildungen 1 und 2 ersichtlichen Regulierendes mit Zahnrädergetriebe. Das Saugrohr taucht frei ins Unterwasser ein.

B. Zweck und Programm der Versuche.

Wie schon aus der Beschreibung der Räder zu entnehmen ist, war in erster Linie beabsichtigt, durch vergleichende Untersuchungen an Rädern von sonst gleicher Konstruktion und Ausführung den Einfluss der Grösse des Schaufelpaltes und weiter die Wirkungsweise von Rädern gleicher Konsumsfähigkeit aber von verschiedenem Reaktionsgrad zu bestimmen; ausserdem sollten auch an sich die Grundlagen vermehrt werden, deren Kenntnis zur Bestimmung der verschiedenen Verluste in Turbinen im Allgemeinen nötig ist.

Demgemäss war auch das Programm ein sehr breites: Bremsung der einzelnen Systeme bei verschiedenen Eröffnungen des Leitradquerschnittes, bei verschiedenen Gefällen, vom Stillstand bis zum Leerlauf; möglichst kontrollierte Gefälls- und Wassermessungen für jeden Bewegungszustand der einzelnen Systeme; Bestimmung der Aussenverstände durch Spezialversuche. Während der Versuche fand das ursprüngliche Programm eine wesentliche Erweiterung dadurch, dass es bei der Art der weiter unten beschrie-

benen Beschaffung des Aufschlagwassers durch die grosse Sulzersche Zentrifugalpumpe (S. Abb. 24 und 30 des oben erwähnten Berichtes betreffend das Maschinenlaboratorium Bd. XLII, S. 231 und 240) möglich wurde, Versuche bei konstanter Beaufschlagung, variabler Tourenzahl, zugemessener Wassermenge und dementsprechend veränderlichem Gefälle anzustellen, im Gegensatz zu der bisher gebräuchlichen Methode, die Untersuchungen bei konstantem Gefälle durchzuführen; es wird sich aus dem Spätern ergeben, dass sich diese Versuchsmethode gerade für die Bestimmung der Einzelwiderstände gut eignet.

C. Der Betrieb.

Die Wasserbeschaffung erfolgte, wie schon mitgeteilt, durch die grosse Sulzersche Zentrifugalpumpe, welche von der Dreifachexpansions-Dampfmaschine der kalorischen Abteilung im Maschinenlaboratorium angetrieben wird. Die Lieferungsfähigkeit der Pumpe wurde durch Einstellen der Tourenzahl am Regulator der Dampfmaschine den Bedürfnissen angepasst; bei denjenigen Versuchsserien, bei welchen die Erhaltung möglichst konstanten Gefälles angestrebt war, wurde der Ueberschuss der gehobenen über

die von der Turbine jeweiligen konsumierte Wassermenge, über den Ueberfall des Oberwasserkastens der Turbine abgeführt, dessen Ueberfallskante auf eine dem gewünschten Gefälle entsprechende Höhe eingestellt war; bei den oben erwähnten, nachträglich eingeschalteten Versuchsserien wurde der Ueberfall ausgeschaltet, die Lieferungsfähigkeit der Pumpe so eingestellt, dass das Oberwasserniveau in möglichst tiefe Lage kam und auf diese Art alles von der Pumpe gelieferte Wasser der Turbine zugeführt. Die hierbei aufgetretenen Erscheinungen werden später ausführlich beschrieben werden.

Die sachgemässe Anordnung betreffs Verwendung des Betriebsmaterials und Zuteilung des Betriebspersonals sei hiemit der Betriebsleitung bestens verdankt.

D. Die Messeinrichtungen.

a. Gefällsmessung.

Für diese waren am Oberwasserkasten und am Gehäuse offene Piezometer angeschlossen, durch welche einerseits der Stand des Oberwasserspiegels im Oberwasserkasten, andererseits derjenige Wasserstand beobachtet werden konnte, der dem Druck im Gehäuse entsprach; es wurde hiedurch ein Mass für die Beurteilung des Gefällsverlustes vom Wasserkasten bis ins Gehäuse und gleichzeitig in der Stetigkeit der Veränderungen in beiden Piezometern eine geeignete Kontrolle für die Ablesungen erhalten; an der Beobachtungsskala der Piezometer wurden Meereshöhen abgelesen. Die Höhe des Unterwasserspiegels an der Turbine wurde mittels Schiebepiegels (Siehe Abb. 15 in Bd. XXXIV, S. 207 der Schweiz. Bauzeitung) ebenfalls in Meereshöhen abgelesen. Die Einstellung der Skalen, und zwar sowohl jene der bereits genannten, als auch die der im nächsten Absatz aufgeführten, geschah durch ein, an einen städtischen Fixpunkt angeschlossenes Nivellement.

Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen.

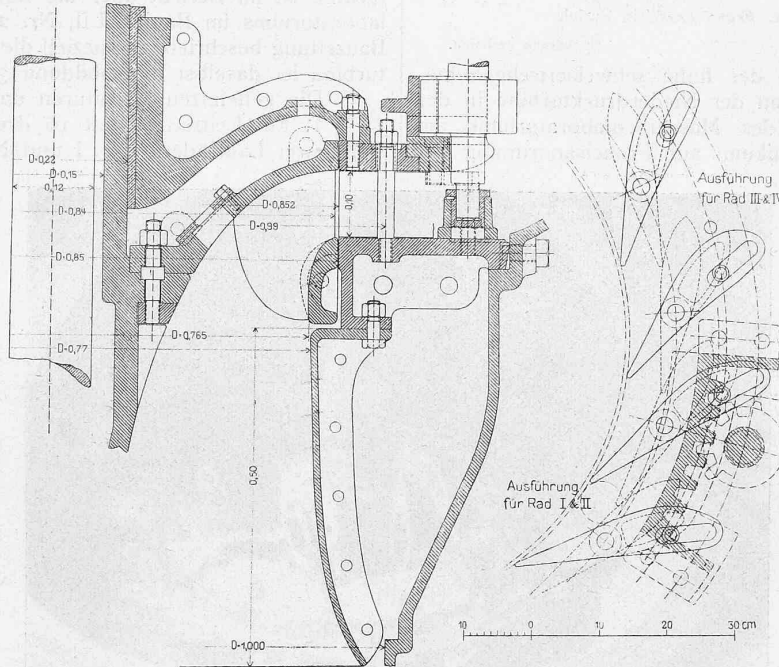


Abb. 2. Konstruktionsplan der von Escher Wyss & Cie. gelieferten Versuchsturbinen. Masstab 1:10.

Dimensionstabelle.

Leitrad	A	B	Bemerkungen
Lichte Weite	61 mm	70 mm	Siehe hiezu Abbildungen 5 und 6.
Breite B	100 »	100 »	
Grösster	27°	31°	
Mittlerer	19°	22° 30'	
Kleinster	11°	14°	
Austrittsdurchmesser	868 mm	866 mm	Bei maximaler Öffnung der Leitschaufeln
Schaufelzahl	16	16	

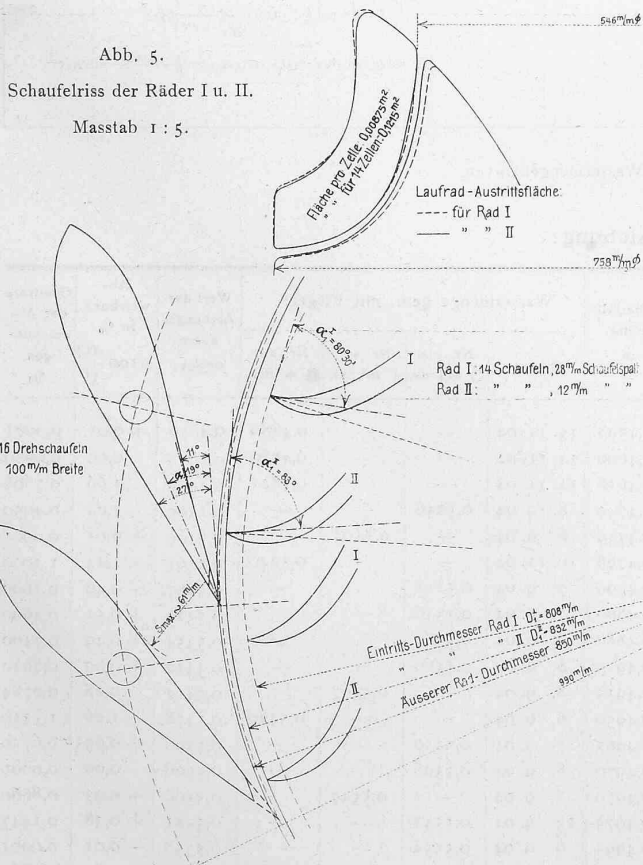
Lauftrad	I	II	III	IV	
Eintritts-Radius mm	404	416	404	416	über die Schaufel-Eintrittskante gemessen
Eintrittswinkel	80° 30'	83°	47°	51°	an der voreilen Fläche des Zellenraums gemessen
Schaufelzahl	14	14	12	12	
Wirksamer Austrittsradius r_2 in mm als Schwerpunktsradius:					
Der Austrittsfläche gerechnet .	322,8	322,8	317	317	hierüber s. Kap. F
Durch Versuch bestimmt . . .	323	323	317	317	
Austrittsfläche m ²	0,1215	0,1215	0,1034	0,1034	Diese Dimensionen geben wegen d. Krümmung d. Durchflussprofils nicht die wirkliche Austrittsfläche und den wirklichen Austrittswinkel
Schaufelwinkel am Austritt . . .	22° 30'	22° 30'	18° 34'	18° 34'	
Gewicht kg	252,2	250,5	268,5	263,5	
Massenträgheitsmoment kg m/Sek. ²	2,636	2,618	2,800	2,746	

b) Wassermessung.

Die Wassermessung erfolgte im Prinzip an dem in den Untergraben der Turbine, d. i. den Messkanal der hydraulischen Abteilung (siehe Abb. 23 im Bd. XLII, S. 230 der Schweiz. Bauzeitung) eingebauten vollkommenen Ueberfall, mittelst zweier Schwimmer, deren Skalen derart eingestellt waren, dass die mit dem Schwimmer verbundenen Zeiger bei gerade bis zur Ueberfallskante gefülltem Kanal auf Null standen, und durch einen in der Nähe der Schwimmer angebrachten Schiebepegel, dessen Nullstellung durch direktes Einmessen mittelst Wasserwaage von der Ueberfallskante aus bestimmt wurde; die Schwimmer sind behufs Vermeidung von Strömungsstörungen nicht im Kanal direkt sondern in zwei Seitenräumen aufgestellt, welche mit dem Kanal, der an der betreffenden Stelle in Holz ausgeführt ist, durch einige Löcher in der Kanalwand in Kommunikation stehen, sonst aber vollständig abgedichtet sind. Die Disposition derselben, sowie des Schiebepegels sind aus Abbildung 7 (S. 84) und der photographischen Aufnahme (Abb. 8, S. 85) ersichtlich.

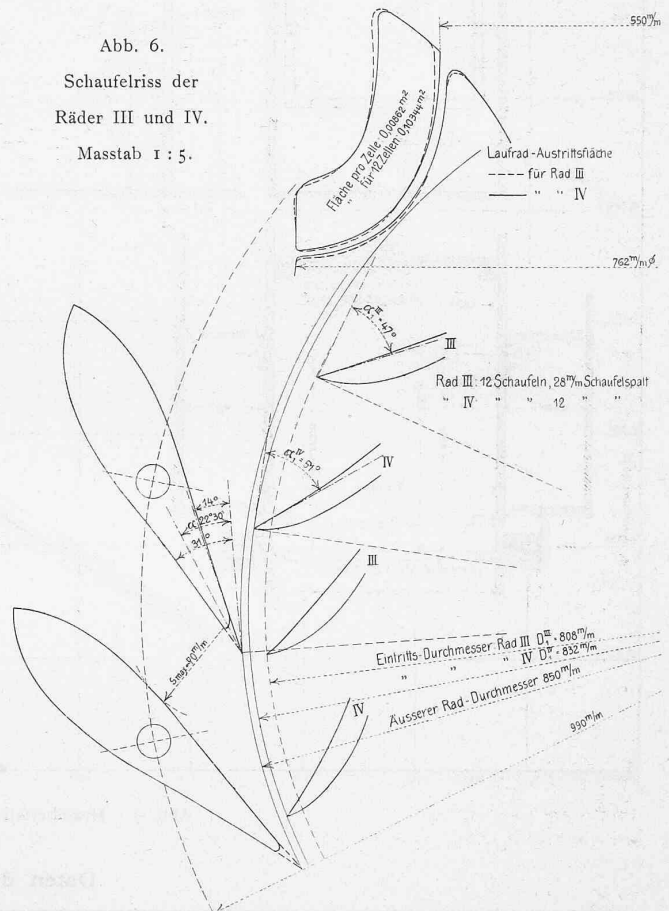
Die Ueberfallsbreite beträgt 0,800 m bei 1,000 m Kanalbreite. Die Ueberfallskante ist auf Höhenquote 455,133 m, die Kanalsohle direkt am Ueberfall auf Höhenquote 454,695 m gelegen; die Ebene der Schwimmerachsen liegt 0,88 m, der Schiebepegel 1,320 m oberhalb des Ueberfalls. Die Länge des Kanals von der Unterwasserkammer unterhalb der Turbine bis zum Ueberfall beträgt 13,2 m. Um das Wasser im Kanal zu beruhigen und ihm eine möglichst wellenfreie Strömung zu geben, sind am Kanaleingang drei Rechen (siehe oben erwähnte Abb. 23 des Messkanals Bd. XLII, S. 230) eingebaut; ausserdem konnte durch Einlegen von Staubrettern am oberen Rechen der Wasserspiegel im

Benützung des hinter dem Ueberfall befindlichen Kanalteiles als Aichreservoir, direkte Ueberfallsprüfungen und Vergleichen mit bekannten Ueberfallsformeln vorgenommen werden; mit dem 0,800 m breiten Ueberfall wurden solche Vergleichen bei Ausarbeitung der Messungen mit dem hydrometrischen Flügel angestellt. In beiden Fällen stellte es sich aber heraus, dass bei den vorliegenden Verhältnissen



Unterwasserkasten auch bei kleinem Wasserkonsum immer so gehalten werden, dass das Saugrohr der Turbine zuverlässig tauchte.

Der so angeordnete Ueberfall und ein kleinerer von 500 mm Breite dienen schon seit Betriebsbeginn des Laboratoriums als Messtation für die Wassermessungen der Studierenden; mit dem kleinern Ueberfall konnten, unter



keine der für die Vergleichen herangezogenen vier Formeln, d. h. der Formeln von Frese (siehe Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1890, S. 1285 u. f.) von Wex (siehe Wex, Hydrodynamik, Entwicklung neuer Formeln zur Berechnung der Abflussmenge), von Braschmann (siehe Rühlmann, Hydromechanik), von Redtenbacher (siehe Redtenbacher, Resultate aus dem Maschinenbau) genau stimmte; namentlich zeigte es sich bei den Ausarbeitungen der Flügelmessungen, die zur Lösung der Eingangs erwähnten Diplomaufgabe aus dem Gebiete des Turbinenbaues im Sommersemester 1904 durchgeführt wurden, dass bei kleinern Wassermengen die Formel von Braschmann, bei grössern Wassermengen diejenige von Redtenbacher mit den Messungsergebnissen in besserer Uebereinstimmung waren. Diese Messungen wurden mit dem zum Inventar der hydraulischen Abteilung gehörenden Amslerschen hydrometrischen Flügel Nr. 219 vorgenommen, der zu Beobachtungen der Zeit für 50 Flügelumdrehungen mit dem bekannten elektrischen Läutwerk, ausserdem aber mit einem Telefon ausgerüstet ist, das jede Flügelumdrehung signalisiert und somit eine gute Beobachtungskontrolle ergibt. Es sei noch erwähnt, dass die Kontakteinrichtung für das Telefon (nach Konstruktion von Prof. Dr. J. Amsler-Laffon) derart getroffen ist, dass bei normaler Drehung des Flügels ein einfaches Signal, bei umgekehrter Flügeldrehung (in Wirbeln und rückströmendem Wasser) ein Doppelsignal hörbar wird. Im vorliegenden Fall kam diese Einrichtung nicht zum Gebrauch, da durchwegs positive Strömung vorhanden war.

Auf Grund der erwähnten Beobachtungen erschien es

Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen.

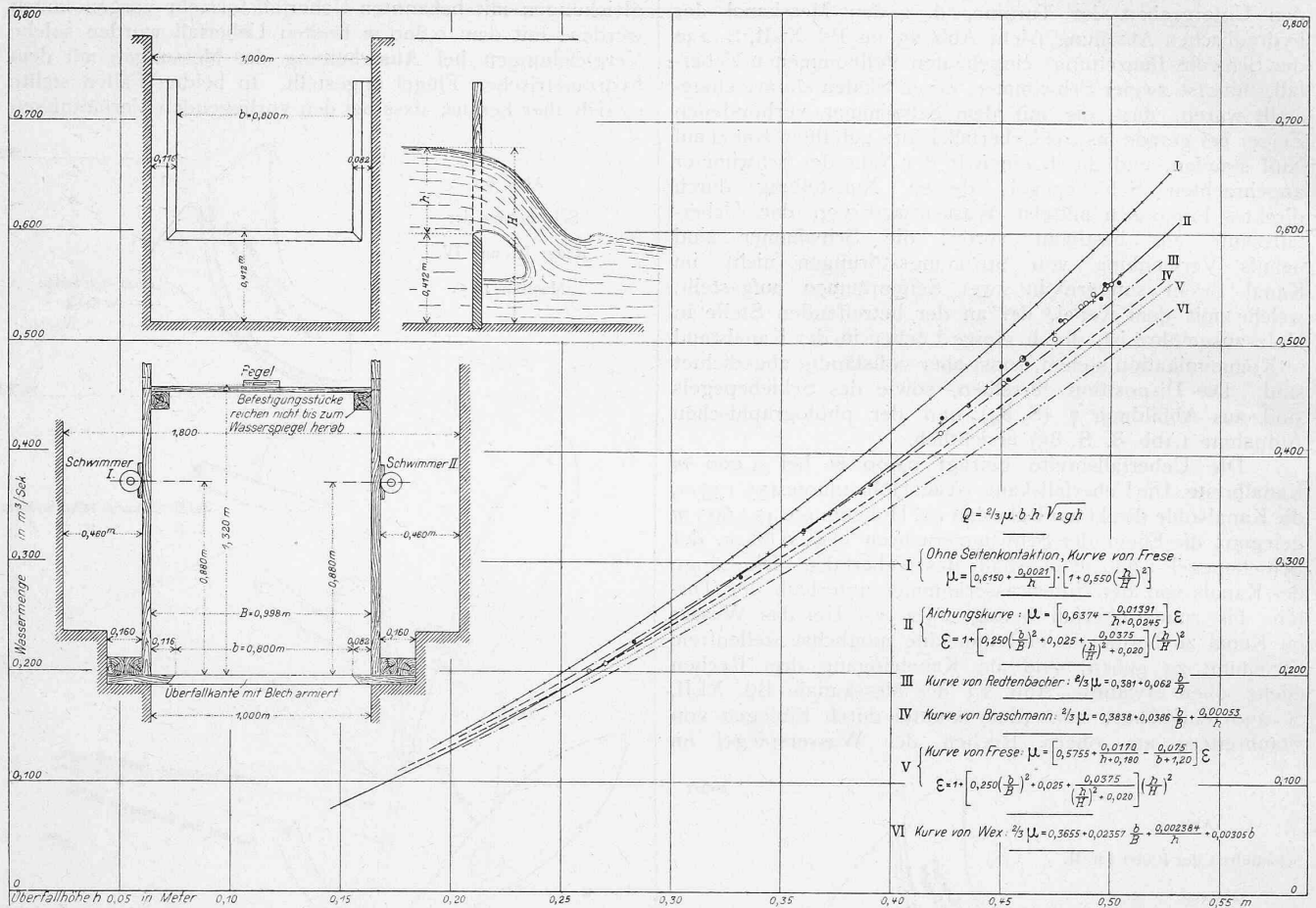


Abb. 7. Messüberfall und Wassermengencurven.

Daten der Aichung:

Ueberfall- höhe m	Wassermenge gem. mit Flügel:				Wert der Aichungs- kurve m³/Sek.	Ab- weichung in % $= 100 \frac{\Delta Q}{Q}$	Quadrate der Ab- weichun- gen %	Ueberfall- höhe m	Wassermenge gem. mit Flügel:				Wert der Aichungs- kurve m³/Sek.	Ab- weichung in % $= 100 \frac{\Delta Q}{Q}$	Quadrate der Ab- weichun- gen %
	Datum	Nr. 599 ○ m³/Sek.	Nr. 471 + m³/Sek.	Nr. 219 ● m³/Sek.					Datum	Nr. 599 ○ m³/Sek.	Nr. 471 + m³/Sek.	Nr. 219 ● m³/Sek.			
0,263	9. 9. 04	0,2010	—	—	0,1991	+ 0,95	0,9020	0,4598	15. II. 04	—	—	0,4880	0,4876	+ 0,01	0,0001
0,270	9. 9. 04	0,2087	—	—	0,2080	+ 0,34	0,1155	0,4600	14. II. 04	—	—	0,4880	0,4878	0,00	0,0000
0,270	9. 9. 04	—	0,2078	—	0,2080	+ 0,09	0,0081	0,4618	11. II. 04	—	—	0,4825	0,4908	- 1,66	0,7605
0,283	24. 5. 04	—	—	0,2280	0,2248	+ 1,42	2,0170	0,4740	8. 9. 04	0,5056	—	—	0,5109	- 1,04	0,4050
0,3314	21. II. 04	—	—	0,2868	0,2886	- 0,62	0,3845	0,4740	8. 9. 04	—	0,5104	—	0,5109	+ 0,01	0,0001
0,344	8. 9. 04	—	0,3087	—	0,3068	+ 0,62	0,3845	0,4768	10. II. 04	—	—	0,5220	0,5161	+ 1,14	1,3000
0,3515	8. 9. 04	—	0,3170	—	0,3177	- 0,22	0,0424	0,4790	7. 9. 04	0,5218	—	—	0,5197	+ 0,40	0,1600
0,3600	8. 9. 04	—	0,3280	—	0,3298	- 0,54	0,2918	0,4860	7. 9. 04	0,5346	—	—	0,5319	+ 0,51	0,2600
0,3604	22. II. 04	—	—	0,3300	0,3304	- 0,01	0,0001	0,4880	9. 9. 04	0,5380	—	—	0,5354	+ 0,49	0,2400
0,3720	20. 5. 04	—	—	0,3460	0,3480	- 0,57	0,3250	0,4915	8. 9. 04	0,5460	—	—	0,5412	+ 0,89	0,7920
0,3860	19. 5. 04	—	—	0,3660	0,3687	- 0,73	0,5335	0,4915	8. 9. 04	—	0,5397	—	0,5412	- 0,28	0,0784
0,3910	20. 5. 04	—	—	0,3723	0,3764	- 1,09	1,0940	0,4950	6. 6. 04	—	—	0,5420	0,5478	- 1,06	1,1250
0,4225	13. 9. 04	0,4193	—	—	0,4257	- 1,50	2,2500	0,4965	7. 9. 04	0,5550	—	—	0,5500	+ 0,635	0,6730
0,4225	13. 9. 04	—	0,4290	—	0,4257	+ 0,77	0,5935	0,4970	8. 9. 04	0,5508	—	—	0,5506	0,00	0,0000
0,4232	17. II. 04	—	—	0,4335	0,4268	+ 1,57	2,4650	0,4970	8. 9. 04	—	0,5537	—	0,5506	+ 0,93	0,8660
0,4350	27. 5. 04	—	—	0,4450	0,4461	- 0,22	0,0484	0,4975	13. 9. 04	0,5542	—	—	0,5521	+ 0,38	0,1447
0,4435	13. 9. 04	—	0,4620	—	0,4595	+ 0,54	0,2920	0,4995	9. 9. 04	0,5554	—	—	0,5558	- 0,01	0,0001
0,4500	27. 5. 04	—	—	0,4800	0,4710	+ 1,91	3,6500	0,5030	4. 6. 04	—	—	0,5570	0,5619	- 0,87	0,7580
0,451	14. 9. 04	0,4650	—	—	0,4723	- 1,55	2,4005	0,5040	9. 9. 04	—	0,5640	—	0,5639	0,00	0,0000
0,453	27. 5. 04	—	—	0,4680	0,4762	- 1,72	2,9558								

Die mittlere Abweichung in % = $\sqrt{\frac{\sum \left\{ 100 \frac{\Delta Q}{Q} \right\}^2}{a}} = 0,863 \%$; $a = 39$ = Zahl der Messungen.

geboten, durch eine Reihe von eingeschalteten Flügelmessungen die Prüfung des Ueberfalls zu erweitern; hiefür wurde folgendes Programm in Aussicht genommen:

In einer Anzahl von Versuchsserien verschiedenen Wasserkonsums werden Dauerversuche mit gleichzeitigen Flügelmessungen und Ueberfallsbeobachtungen eingeschaltet. Es werden für die Messung zwei andere Flügel und zwar in einem Messprofil 3,6 m vor dem Ueberfall der Ottische Flügel Nr. 599 mit ovaler Stange, in einem zweiten Messprofil 5,4 m vor dem Ueberfall der Ottische Flügel Nr. 471 verwendet. Die Messungen finden mit beiden Flügeln gleichzeitig und mit möglichst gleicher Punktverteilung in den Profilen statt.

Beide Flügel sind mit elektrischem Lätwerk und Epperscher Aufhelfung ausgerüstet und gehören ebenfalls zum Inventar der hydraulischen Abteilung; deren Konstanten wurden ebenso wie diejenigen des Flügels Nr. 219 vom eidgenössischen hydrometrischen Bureau auf dessen Flügelprüfungsstation in Worblauen bestimmt. Ausserdem wurden später, nach Abschluss der Versuche gelegentlich des Unterrichtsbetriebes mit Flügel Nr. 219 an der Messtelle des Flügels Nr. 599 noch weitere Messungen vorgenommen. Die drei Flügel sind auf Abbildung 9 mit ihren Ausrüstungen ersichtlich.

Nach Ausreihung derjenigen Versuche, bei denen durch Versagen des Lätwerkskontaktes Störungen und damit Unsicherheiten eingetreten sind, und solcher Resultate, die weit über die deutlich ausgeprägte Kurve hinausfielen, die durch das Diagramm in Abbildung 7 bestimmt ist, in welchem als Abszissen die jeweiligen Ueberfallshöhen, als Ordinaten die gemessenen und in bekannter Weise berechneten Wassermengen eingetragen sind, ergab sich, dass für den vorliegenden Fall eine Spezialformel zu bestimmen sei, für deren Aufstellung folgende Erwägungen in Betracht kamen: Der Ueberfall zählt nach den Erörterungen Freses in seinem Berichte über die Herrnhäuser Versuche (siehe Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrg. 1890 S. 1310) zwar zu denjenigen mit Seitenkontraktion, wobei diese je-

Versuche von Castel und Lesbros angedeutet, dass bei kleinen Ueberfallsbreiten und wachsendem Verhältnis $\frac{b}{B}$, (wobei B die totale Kanalbreite bedeutet) sich der Ueberfallskoeffizient mit wachsendem h demjenigen Wert nähert, der dem Ueberfall ohne Seitenkontraktion, also dem Fall $\frac{b}{B} = 1$ entspricht. Dies stimmt nun mit den Versuchsergebnissen gut überein und es wurde daher die Formel

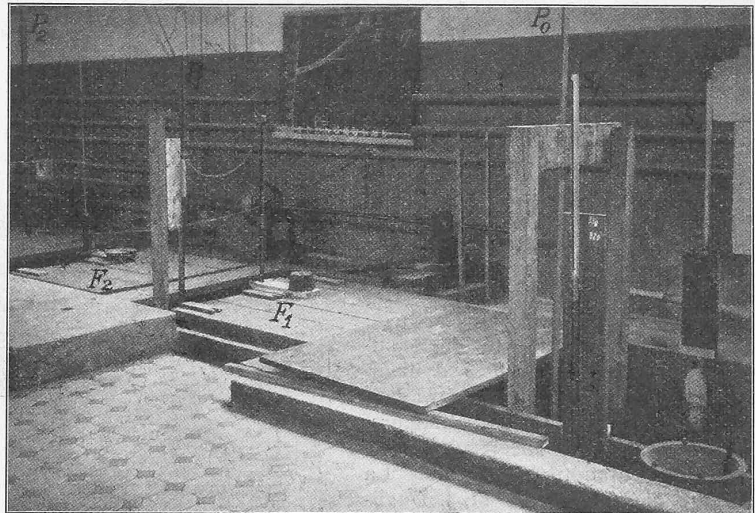


Abb. 8. Wassermessstation im Maschinenlaboratorium am eidg. Polytechnikum.
S₁ S₂ Schwimmer, P₀ Schiebepiegel für den Ueberfall, F₁ F₂ hydr. Flügel, P₁ P₂ Schiebepiegel für die Flügelmessung.

für den Ueberfallskoeffizienten μ auf Grundlage der Freseschen Entwicklungen bestimmt.

Frese setzt $\mu = \mu_0 \cdot \epsilon$, wobei μ_0 den Koeffizienten für unendlich grossen Kanalquerschnitt, ϵ den Korrekturkoeffizienten für endlichen Querschnitt bezeichnet. Es wurde nun letzterer ganz der Form nach und mit denselben Konstantenwerten beibehalten, wie er sich in der Herrnhäuser Formel vorfindet, und mit zweimaliger Ausgleichung durch die Methode der kleinsten Quadrate die Konstanten von μ_0 bestimmt, wobei mit Rücksicht darauf, dass im gegebenen Fall $\frac{b}{B} = \text{konstant} = 0,80$ m ist, die beiden Endglieder in μ_0 zusammengezogen wurden. Es ergab sich hiemit für den Ueberfall in seiner bestehenden Disposition und für die angewandten Messeinrichtungen folgende Formel für den Ueberfallskoeffizienten:

$$\mu = \left\{ 0,6374 - \frac{0,01391}{h + 0,0245} \right\} \epsilon$$

$$\epsilon = 1 + \left\{ 0,250 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 0,025 + \frac{0,9375}{\left(\frac{h}{H} \right)^2 + 0,020} \right\} \left(\frac{h}{H} \right)^2$$

wobei H die jeweilige zu h gehörige Wassertiefe an der Messtelle bedeutet.

Es wäre vielleicht mit Rücksicht auf die Bedeutung der Faktoren μ_0 und ϵ sachlicher gewesen, die Konstanten von ϵ und nicht diejenigen von μ_0 den gegebenen Verhältnissen anzupassen; bei dem empirischen Charakter dieser Grössen und dem speziellen Zwecke einerseits, andererseits da sich die Rechnung hiedurch vereinfachte, erscheint die durchgeführte Konstantenbestimmung aber doch genügend genau, was durch das Diagramm und die

berechnete Grösse des mittlern wahrscheinlichen Fehlers, der $\pm 0,863\%$ beträgt, bestätigt sein dürfte. Im Diagramm ist die mit wachsendem h eintretende Annäherung an die Formel für Ueberfälle ohne Seitenkontraktion ersichtlich.

Für die Ausarbeitung der Versuche, bzw. die Berechnung der Wassermenge aus der gemessenen Ueberfallshöhe mittelst der Formel $Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h \sqrt{2 g h}$ wurde die oben gefundene Formel für μ benützt. (Forts. folgt.)

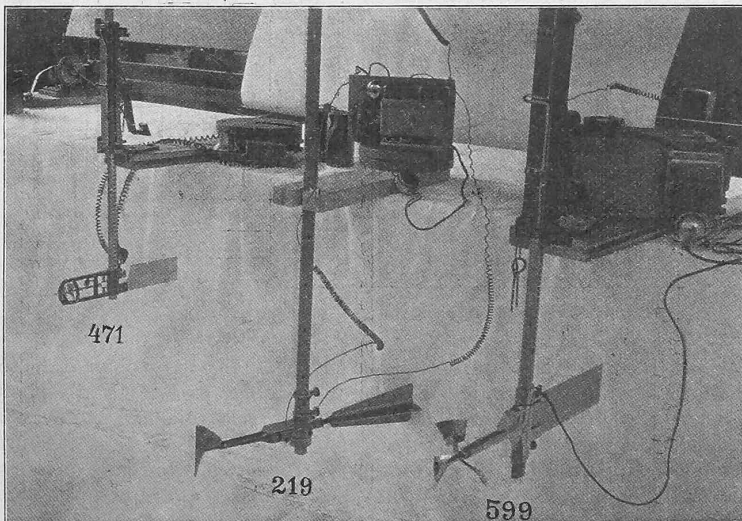


Abb. 9. Die hydraulischen Flügel.

doch wegen der kleinen Breite von 0,8 m als unvollkommen ausgebildet zu betrachten ist. An der angegebenen Stelle konstatiert Frese, dass dies der Fall ist, wenn mit h die Ueberfallshöhe, mit b die Ueberfallsbreite bezeichnet wird,

$$\text{bei } h = \begin{matrix} 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 \text{ m} \\ b < \begin{matrix} 1,5 & 2,0 & 2,5 & 3,0 \text{ m} \end{matrix} \text{ ist.} \end{matrix}$$

Auf Seite 1341 desselben Berichtes wird dieser Umstand noch näher beleuchtet und speziell unter Hinweis auf