

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79/80 (1922)
Heft: 21

Artikel: Die neue Wasserturbinen-Versuchsanstalt der A.-G. der Maschinenfabriken von Escher Wyss & Cie.
Autor: Dubs, Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38176>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 23.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Die neue Wasserturbinen-Versuchsanstalt der A.-G. der Maschinenfabriken von Escher Wyss & Cie. — Einfamilien-Reihenhäuser. — Korrespondenz. — Miscellanea: Eine eiserne Bogenbrücke mit Betonverkleidung. Nichtrostende Stahle. Ein neuartiger Einbau von Oelschaltern bei Hochspannungsanlagen. Ermittlung von Massendrücken in Lokomotiv-Steuerungstriebwerken. Eidgenössische Technische Hoch-

schule. — Konkurrenzen: Bemalung des Rathhausturmes in Luzern. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Maschineningenieur-Gruppe Zürich der G. E. P. Stellenvermittlung.

Tafeln 17 und 18: Wohnkolonie der Immobilien-Gesellschaft Favorite.

Band 80.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 21.

Die neue Wasserturbinen-Versuchsanstalt der A.-G. der Maschinenfabriken von Escher Wyss & Cie.

Von Oberingenieur Robert Dubs, Zürich.

Obwohl die theoretische Verfolgung der Strömungsvorgänge des Wassers in einer Turbine durch die Arbeiten von Prášil, Camerer, Lorenz u. a. eine wesentliche Bereicherung unserer Erkenntnisse auf diesem Gebiete gebracht haben, wird es nach wie vor Sache des Versuchs sein und bleiben, festzustellen, bis zu welchem Grade uns die Theorie Uebereinstimmung mit dem wirklichen Naturvorgange liefert. Im Interesse einer objektiven Feststellung der Tatsachen wird auch hier das Prinzip der Arbeitsteilung eingehalten werden müssen, und zwar wird es stets Aufgabe der Theorie sein, uns den qualitativen Verlauf des Naturvorganges zu beschreiben, und diejenige des Experimentes das quantitative festzustellen. Die Theorie liefert bis zu einem gewissen Grade die *Formel*, das Experiment die *Koeffizienten*.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, dass man unter Fallenlassen der früheren Annahmen unendlich grosser Schaufelzahlen bei Anwendung der zwei- und dreidimensionalen Strömungstheorie in Verbindung mit der Methode der konformen Abbildungen bis zu einem gewissen Grade, unter Vernachlässigung des Einflusses der Reibung, die Strömung des Wassers im Leit- und Laufrad sowie im Saugrohr einer Turbine verfolgen kann. Es hat sich aber auch ergeben, dass die theoretische Untersuchung unbedingt durch das Experiment ergänzt werden muss, wenn

man einen sichern Einblick in die Verhältnisse gewinnen und wirkliche Fortschritte erzielen will.

Auf Grund dieser Erkenntnisse haben deshalb auch die führenden Turbinenfirmen schon seit einer Reihe von Jahren ihren Werken Versuchsanstalten für Wasserturbinen angegliedert, in denen durch systematische Untersuchungen mit Hilfe bestimmter Methoden die obenerwähnten Aufgaben gelöst werden sollen.

Die Firma Escher Wyss & Cie besitzt schon seit 14 Jahren in ihrem Werk in Ravensburg (Württemberg) eine Versuchsanlage für Niederdruckturbinen, in der zwischen einem von 1,5 bis 2,4 m einstellbarem Gefälle und bei einer Wassermenge von max. 2,5 m³/sek. die verschiedensten Niederdruckturbinen untersucht werden können. Diese Anlage ist im Jahre 1915 von Prof. Dr. F. Prášil an dieser Stelle kurz beschrieben worden.¹⁾ Ausser jener Niederdruck-Versuchsanlage bauten E.W.C. einige Jahre später bei Käpfnach am Zürichsee eine neue Anlage zur Prüfung von Hochdruck-Freistrahlturbinen. In dieser können Freistrahlturbinen unter Gefällen von 40 bis 120 m und bis zu einer max. Wassermenge von 150 l/sek untersucht werden. Beide Anlagen haben sich sehr gut bewährt und es sind in ihnen eine grosse Anzahl für die Weiterentwicklung des Wasserturbinenbaues der Firma E.W.C. sehr bedeutungsvoller Ergebnisse gefunden worden.

Das, besonders in den letzten Jahren, immer mehr zu Tage tretende Bedürfnis nach spezifisch sehr rasch laufenden und mit sehr guten Wirkungsgraden arbeitenden Wasserturbinen, hat die Notwendigkeit ergeben, eine neue, grössere Versuchsanstalt in möglichster Nähe des Hauptsitzes der Firma zu erstellen. Die Aufgabe dieser mit den neuesten Fortschritten in der Messtechnik ausgerüsteten Anstalt sollte sein, durch systematische Untersuchung von Laufrädern, Leitapparaten, Saugrohren u. a. m. eine tunlichst grosse Steigerung der Wirkungsgrade zu erzielen bei möglichst hoher Schnellläufigkeit und einfacher Herstellungsweise der Turbinen.

Nach reiflicher Abwägung aller Vor- und Nachteile gelangte man dazu, einer Anlage mit künstlicher Wasserkraft den Vorzug zu geben, die auf dem Areal der Hauptfabrik in Zürich erstellt werden konnte. Der Bau wurde im Jahre 1920 beschlossen und die Anlage im Jahre 1922 vollständig fertig in Betrieb genommen. Es können in ihr Wasserturbinen bei einem zwischen 2 und 4 m beliebig einstellbaren Nettogefälle und für beide Gefälle bei einer Wassermenge bis zu 1300 l/sek untersucht werden. Im folgenden sollen die Einrichtungen dieser Versuchsanstalt besprochen und die in ihr erzielten Ergebnisse kurz diskutiert werden. In Abbildung 1 ist die Versuchsanlage im Längsschnitt, in Abbildung 2 im Grundriss und in Abbildung 3 im Querschnitt dargestellt. Der Aufriss zeigt rechts unten die *Pumpe*, die bei einer maximalen manometrischen Förderhöhe von 5,5 m eine Wassermenge von 1,3 m³/sek zu fördern vermag; sie wird direkt angetrieben von einem 140 PS-Dreiphasenwechselstrommotor (H in Abb. 4 nebenan), der von der Kommandobrücke aus angelassen und abgestellt werden kann. Da die Periodenzahl des Motors konstant ist, bleibt auch bei konstanter Förderhöhe die Fördermenge der Pumpe konstant, sodass sich bei konstantem Wasserkonsum der zu untersuchenden Turbine rasch ein sehr guter Beharrungszustand einstellt. Ändert sich der Wasserdurchlass der Turbine, so tritt bei nicht zu grossen Schwankungen automatisch eine Selbstregulierung ein, indem bei Minderkonsum der Turbine der

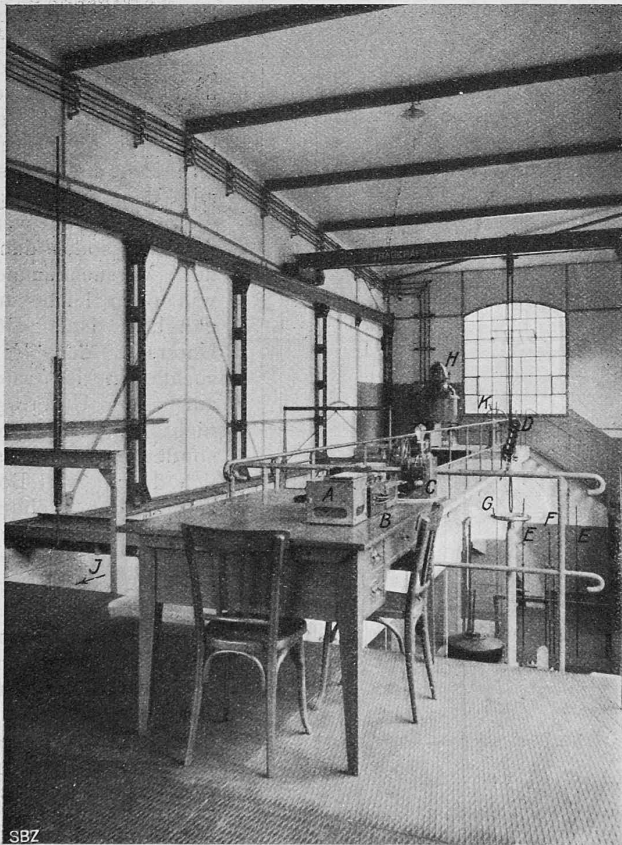


Abb. 4. Blick vom Beobachterstand mit den Messinstrumenten gegen das Pumpen-Aggregat (H) zur Speisung des Oberwasserkanals (J).

¹⁾ Siehe «S. B. Z.», Band LXVI, Seite 287, vom 18. Dez. 1915.

Wasserspiegel im Oberwasserkanal (J in Abbildung 4) steigt und damit die Förderhöhe der Pumpe, was eine Abnahme der Fördermenge zur Folge hat. Das Umgekehrte tritt ein, wenn der Wasserkonsum der Turbine zunimmt. Nach Einbau einiger Beruhigungsrechen im Pumpenschacht wurde im Oberwasserkanal bei allen Turbinenbelastungen ein sehr ruhiger Wasserspiegel erzielt; die Spiegelschwankungen bleiben während der Versuche innerhalb ± 2 mm, d. h. 0,5 bis $1 \frac{0}{100}$ des Gefälles.

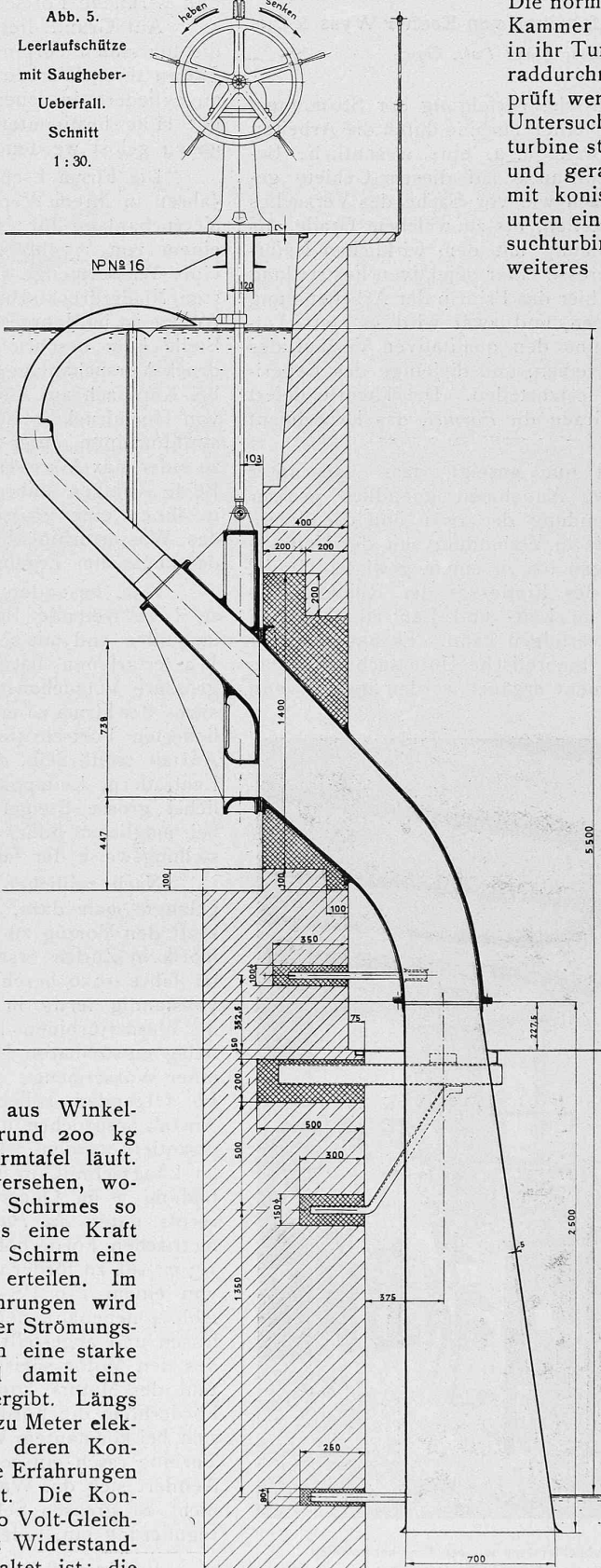
Zur Regulierung der Wassermenge dient die in Abbildung 5 dargestellte *Leerlaufschütze*, die mit einem *Saugheber* so verbunden ist, dass bei der grössten Öffnung der Schütze die Kante des Saughebers am höchsten steht und umgekehrt. Dieser Saugheber ist lediglich ein Sicherheitsorgan, das bei Störungen ein Ueberfließen des Oberwasserkanales verhüten soll. Sowohl der Saugheber, als auch die Leerlaufschütze sind so bemessen, dass sie die gesamte Maximalwassermenge von 1300 l/sek abzuführen vermögen. Wenn die Turbine vollständig geschlossen und die Leerlaufschütze (mittels des Handrades K in Abbildung 4) ganz geöffnet wird, stellt sich der Wasserspiegel im Oberwasserkanal auf einer gewissen Höhe vollständig ruhig ein, und dann lassen sich die Oberwasserschwimmer leicht kontrollieren, welche Kontrolle jeweils vor und nach jeder Versuchserie durchgeführt wird.

Nachdem das Wasser den Pumpenschacht verlassen hat, gelangt es in den rund 16 m langen, 2 m breiten und 1,750 m tiefen *Oberwasserkanal*, der als Schirm-Messgerinne ausgebildet ist (J in Abbildung 4). Die Wandungen dieses, aus armiertem Beton hergestellten Kanales wurden mit grosser Sorgfalt ausgeführt; die grössten Querschnittsdifferenzen gegenüber dem mittleren Kanalquerschnitt bleiben unter $\pm 1 \frac{0}{100}$, und der Spalt zwischen Schirmtafel und Kanalwandung beträgt auf dem ganzen Umfange nur 5 mm. Die Kanalwandungen tragen oben Schienen aus Winkel-eisen, auf denen der vierrädrige, rund 200 kg schwere Schirmwagen mit der Schirmtafel läuft. Seine Räder sind mit Kugellagern versehen, wodurch der Reibungswiderstand des Schirmes so klein gehalten werden konnte, dass eine Kraft von etwa 0,5 kg genügt, um dem Schirm eine Geschwindigkeit von 1,0 m/sek zu erteilen. Im Gegensatz zu den bisherigen Ausführungen wird die Schirmtafel von oben, im Sinne der Strömungsrichtung eingeschwenkt, woraus sich eine starke Verkürzung der Anlaufstrecke und damit eine bessere Ausnützung der Kanallänge ergibt. Längs der Führungsschiene sind von Meter zu Meter elektrische Schleifkontakte angebracht, deren Konstruktion mit Rücksicht auf gemachte Erfahrungen besonders sorgfältig durchgeführt ist. Die Kontakte schliessen jeweils einen 110 Volt-Gleichstromkreis, in dem ein Lätwerk mit Widerstandslampe (C in Abbildung 4) eingeschaltet ist; die

Zeiten zwischen den einzelnen Glockensignalen werden an einer Stoppuhr mit Doppelzeiger abgelesen. Die ganze Schirm-Messeinrichtung gestattet ein rasches und genaues Arbeiten und hat sich bis heute sehr gut bewährt.

Vom Schirm-Messgerinne gelangt dann das Betriebswasser in die gusseiserne *Turbinenkammer*, die eine Länge

von 3,5 m, eine Breite von 2,5 m und eine Tiefe von 2,75 m besitzt. Die normale Wassertiefe in dieser Kammer ist 2,5 m und es können in ihr Turbinen bis zu einem Laufraddurchmesser von 1000 mm geprüft werden. Für reine Laufrad-Untersuchungen wird die Versuchsturbine stets mit senkrechter Welle und geradem runden Saugrohr mit konischer Erweiterung nach unten eingebaut. Die gleiche Versuchsturbine kann aber auch ohne weiteres in der Turbinenkammer mit wagrechter Welle und zwar mit der Wellenaxe senkrecht und parallel zur Richtung des zuströmenden Wassers aufgestellt werden. Durch entsprechende Untersätze ist es auch möglich, die Turbine in beliebiger Höhenlage einzubauen. Die Montage der Versuchsturbine erfolgt normalerweise von oben und es ist zur Vereinfachung des Ein- und Ausbaues der Versuchsräder der die Bremse tragende Bock (Abbildung 6) so angeordnet, dass er nach Lösen von zwei Schrauben und der Kupplung ohne weiteres samt der Bremse mit dem Kran auf die Seite gestellt werden kann, sodass dann die Versuchskammer von oben leicht zugänglich ist. Der Untersatz der Versuchsturbine ist ferner auf seiner Unterlage nicht festgeschraubt, sondern er wird lediglich durch zwei Bolzen an der Drehung und durch eine Versatzung an der Verschiebung verhindert. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass an der Versuchsturbine nach Entfernung des Bremsbockes und Aushängung der Regulierstangen keine weiteren Schrauben zu lösen sind, sodass die Turbine sofort mit dem Kran gehoben werden kann.



Die neue Wasserturbinen-Versuchsanstalt von Escher Wyss & Cie. in Zürich.

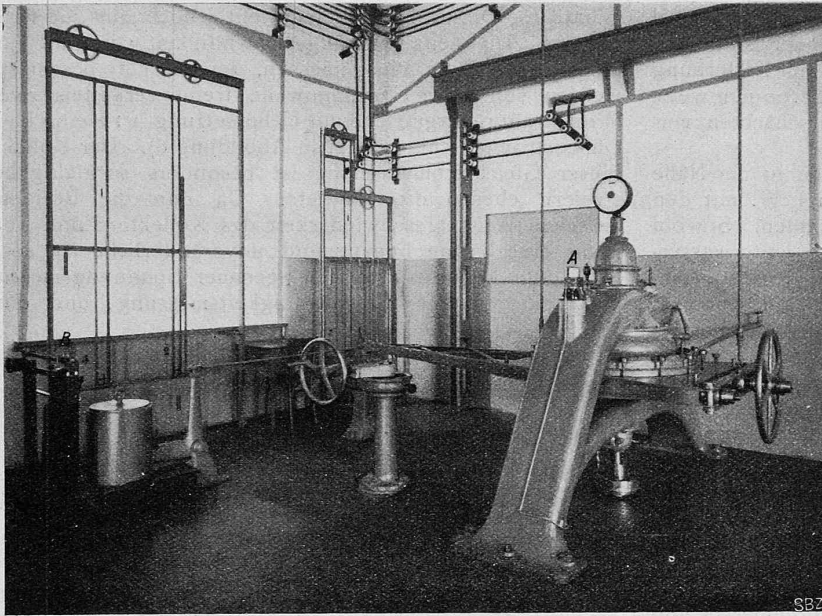


Abb. 6. Blick vom Beobachterstand auf Bremse, Wage und Schwimmerpegel.

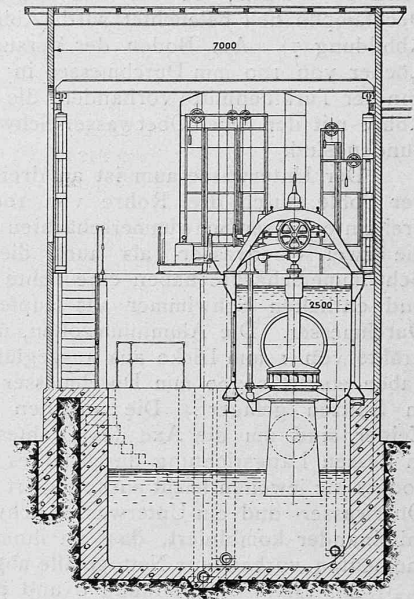


Abb. 3. Schnitt durch die Turbinenkammer.

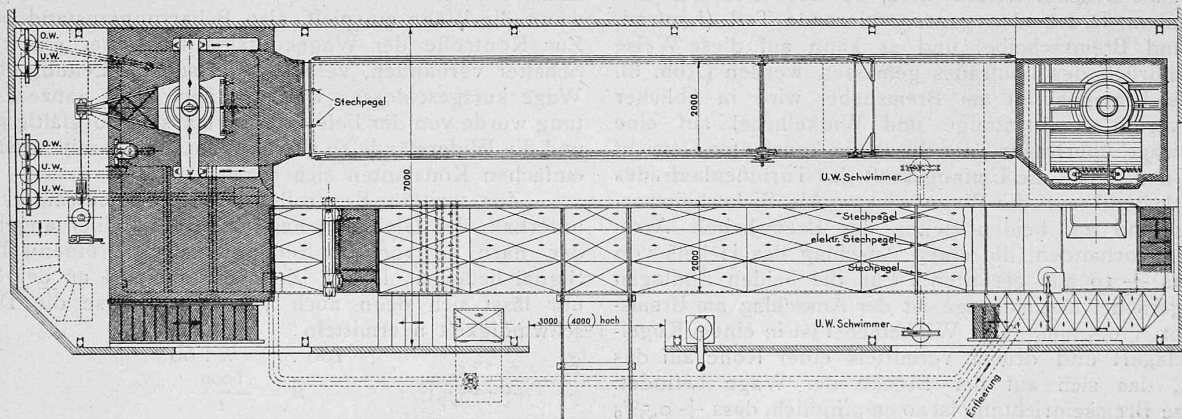
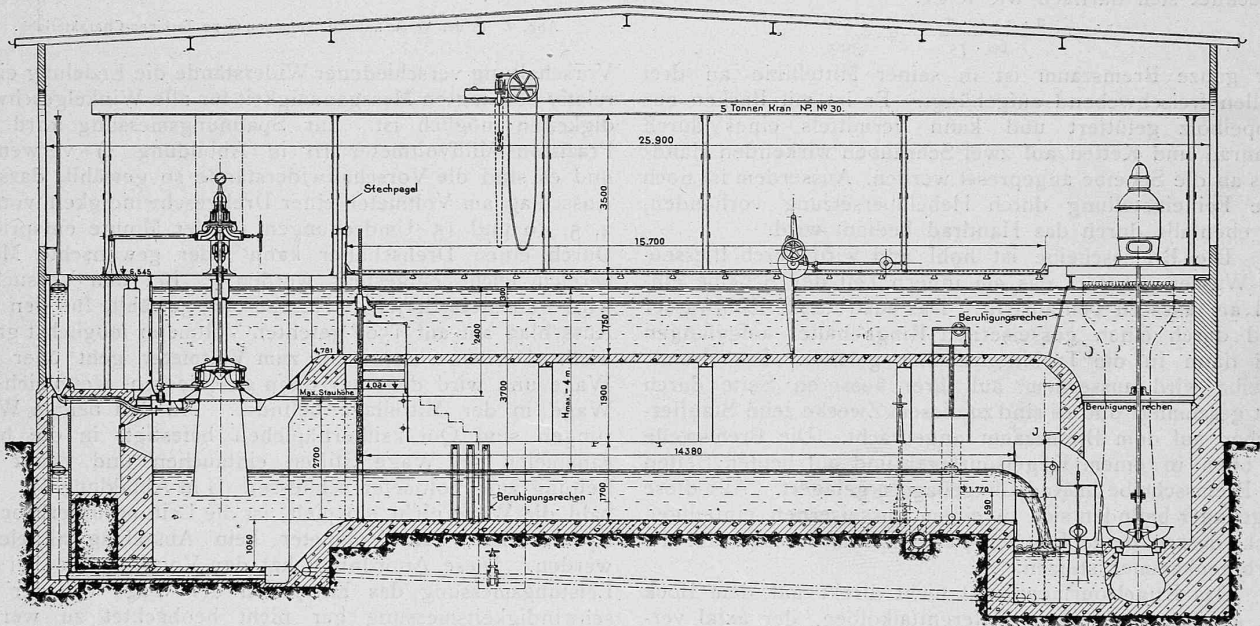


Abb. 1 und 2. Grundriss und Aufriss der Versuch-Anstalt. — Masstab 1 : 400. — Erläuterungen: Links Versuchsturbine mit Bremse und Beobachterstand; Rechts Speisepumpe des Oberwasser-Kanals, Draufsicht und Aufriss (strichpunktirt) des Saugheber-Ueberfalls (vergl. Abb. 5) mit gezackter Einlauf-Ueberdeckung.

Der Austritt des Wassers aus dem Saugrohr kann durch ein wasserdicht abschliessendes Fenster bequem beobachtet werden, da der Unterwasserraum durch zwei Decklampen hell beleuchtet wird (Abbildung 1, links, und Abbildung 7). Am Boden der Versuchskammer sind zwei Löcher von 100 mm Durchmesser in 1250 mm Entfernung von der Turbinenmitte vorhanden, die durch 100 mm weite Rohre mit den zwei Oberwasser-Schwimmerschächten verbunden sind.

Der Unterwasserraum ist an drei Stellen in der Nähe der Sohle durch drei Rohre von 100 mm l. W. mit den drei Unterwasser-Schwimmerschächten verbunden. Sowohl die zwei Oberwasser- als auch die drei Unterwasser-Schwimmerschächte haben eine lichte Weite von 400 mm und enthalten Schwimmer aus Kupferblech von 300 mm Durchmesser. Die Aluminiumrollen, über die Schwimmerdrähte von 1 mm Dicke aus ausgeglühtem Messing laufen, haben ebenfalls 300 mm Durchmesser und sind beidseitig in Spitzen gelagert. Die auf den Drähten befestigten Zeiger sind um die Axe des Drahtes leicht drehbar und in dessen Längsrichtung durch feines Gewinde verstellbar, sodass sie jeweiligen leicht auskorrigiert werden können. Ein Oberwasser- und ein Unterwasser-Schwimmerpegel sind so miteinander kombiniert, dass an ihnen ohne weiteres das momentan vorhandene Nettogefälle abgelesen werden kann.

Die Bremse (Abbildung 6 und 8) besteht aus einer gusseisernen Bremsscheibe von 1000 mm Durchmesser und 150 mm Breite, sowie einem aus Profileisen hergestellten Bremszaum von 2387 mm Hebellänge. Die Bremskonstante berechnet sich darnach wie folgt:

$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot n \cdot P}{60 \cdot 75} = \frac{P \cdot n}{300}$$

Der ganze Bremszaum ist in seiner Mittellinie an drei Stellen freischwebend aufgehängt. Er ist mit Backen aus Pappelholz gefüttert und kann mittels eines durch Zahnrad und Ketten auf zwei Schrauben wirkenden Handrads an die Scheibe angepresst werden. Ausserdem ist noch eine Feineinstellung durch Hebelübersetzung vorhanden, die ebenfalls durch das Handrad bedient wird.

Die Bremsscheibe ist hohl und wird durch fließendes Wasser gekühlt, das am innern Teil der Scheibe ein- und am äussern Teil austritt. Das austretende Kühlwasser wird durch einen gusseisernen Ringbehälter aufgefangen und dann in die Turbinenkammer geleitet. Die Bremsscheibe wird ausserdem auf ihrer äusseren Seite durch Fett geschmiert und es sind zu diesem Zwecke zehn Stauffer-Becher auf dem Bremszaum angebracht. Die Bremswelle ist oben in einem Kugelspurlager und auf beiden Seiten der Bremsscheibe in Radialkugellagern gelagert. Alle diese Kugellager befinden sich in einem gusseisernen, einteiligen Bock, dessen beide Pratten sich links und rechts auf die Turbinenkammer stützen.

Das Kugelspurlager sitzt nicht direkt auf dem Bock auf, sondern auf einem Differentialkolben, der axial verschiebbar ist. Wenn nun der Zylinder, der den Kolben enthält, mit Drucköl gefüllt wird, so hebt sich bei entsprechendem Druck der ganze rotierende Teil (Lauf- rad, Welle und Bremsscheibe) und es kann auf diese Weise der Axialdruck des Laufrades gemessen werden (Abb. 8).

Die Umfangskraft am Bremshebel wird in üblicher Weise mittels Zugstange und Winkelhebel auf eine Dezimalwaage übertragen, die durch ein konstantes Gewicht belastet ist, sodass die Umfangskraft des Turbinenlauf- rades stets entlastend auf die Waage wirkt. Als Sicherheitsvorrichtung sind auf beiden Seiten des Bremshebels Arretierungen vorhanden, die einen Anschlag des Hebels von höchstens ± 10 mm gestatten. Für die beiden Endlagen des Zeigers der Dezimalwaage ist der Ausschlag am Bremshebel nur $\pm 0,5$ mm. Der Winkelhebel ist in einem Kugellager gelagert und drückt mittels einer Rolle auf das Gewicht, das sich auf der Brücke der Waage befindet. Die ganze Bremsanordnung ist so empfindlich, dass $\pm 0,5\%$ des kleinsten Bremsgewichtes bereits einen sichtbaren Ausschlag an der Waage hervorbringt.

Zur Messung der Umlaufzahl des Lauf- rades ist an der höchsten Stelle des Bremsbockes ein mit der Turbinen- Welle unmittelbar gekoppeltes Wirbelstrom-Tachometer angebracht. Dieses Tachometer dient jedoch nur zur Orientierung. Die genaue Drehgeschwindigkeit wird mit Hilfe eines neuen Apparates gemessen, der hier kurz beschrieben werden soll. Die Turbinenwelle treibt mittels zweier Winkelzahnrad-ergetriebe mit Uebersetzung 1 : 2 eine kleine Gleichstrommaschine an (A in Abbildung 6). Der Kollektor dieser Gleichstrommaschine ist besonders sorgfältig konstruiert, ebenso die Magnete. Da nun die Beziehung zwischen Winkelgeschwindigkeit des Kollektors und Spannung eine genau lineare und unveränderliche ist, so erhellt ohne weiteres, dass bei genauer Spannungsmessung auch eine genaue Geschwindigkeitsmessung, und durch

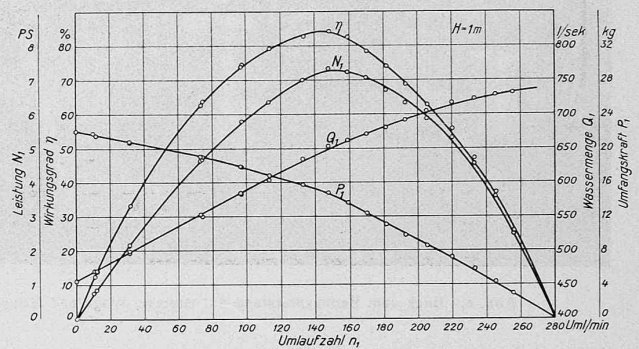


Abb. 9. In der Versuchsanstalt aufgenommene Turbinen-Charakteristik.

Vorschaltung verschiedener Widerstände die Erzielung einer relativ konstanten Messgenauigkeit für alle Winkelgeschwindigkeiten möglich ist. Zur Spannungsmessung wird ein Präzisions-Millivoltmeter (B in Abbildung 4) verwendet und es sind die Vorschaltwiderstände so gewählt, dass 10^9 Ausschlag am Voltmeter einer Drehgeschwindigkeit von 1, 2, 5, 10 und 15 Umdrehungen in der Minute entspricht. Durch einen Drehschalter kann jeder gewünschte Messbereich leicht eingestellt werden.¹⁾ Bei den Versuchen wird nun stets derjenige Messbereich gewählt, für den der Ausschlag am auf 150° geteilten Voltmeter möglichst gross wird. Die eine Zuleitung zum Voltmeter geht über die Waage und wird dort nur dann geschlossen, wenn sich die Waage in der Mittellage befindet. An den beiden Wagungen sind Quecksilbernäpfchen befestigt, in die beim Einspielen der Waage Stiften eintauchen und damit die Leitung zum Voltmeter schliessen (B in Abbildung 6). Sobald die Waage nicht einspielt, ist die Leitung unterbrochen und es kann am Voltmeter kein Ausschlag abgelesen werden. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass bei der Leistungsmessung das Einspielen der Waage bei der Geschwindigkeitsmessung gar nicht beobachtet zu werden braucht, da man nur dann die Geschwindigkeit messen kann, d. h. das Voltmeter nur dann einen Ausschlag zeigt, wenn die Waage einspielt, also Beharrungszustand besteht. Zur Kontrolle der Waagekontakte ist ferner ein weiterer Schalter vorhanden, mittels dessen die Leitung über die Waage kurzgeschlossen werden kann. Die ganze Einrichtung wurde von der liefernden Firma sehr sorgfältig geacht und die Widerstände so gewählt, dass die bereits erwähnten einfachen Konstanten sich ergaben.

Zur weitem Kontrolle der Drehgeschwindigkeit ist unterhalb der Gleichstrommaschine ein Zähler angebracht, der nach je 100 Umdrehungen der Turbinenwelle ein Signal betätigt. Durch Zeitablesungen (t) an der Stoppuhr lässt sich denn auch auf diese Weise die Drehgeschwindigkeit n ermitteln:

$$100 : t = n : 60$$

$$n = \frac{6000}{t}$$

¹⁾ Das Präzisions-Millivoltmeter ist von Siemens & Halske, die ganze übrige elektrische Einrichtung stammt von Trüb, Täuber & Cie. in Zürich.

Die neue
Wasserturbinen-Versuchsanstalt
der A.-G. der Maschinenfabriken
von Escher Wyss & Cie. in Zürich.

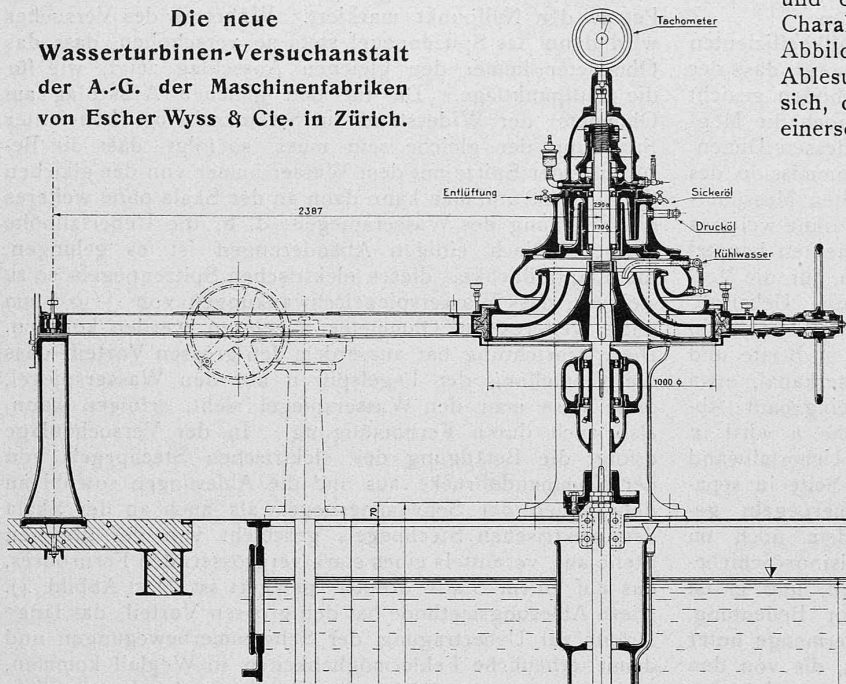


Abb. 8. Vertikalschnitt der Bremse, Masstab 1:30. — Nutzbares Maximalgefälle 4,00 m.

Und mit der Bremsgleichung kombiniert:

$$N = \frac{P \cdot 6000}{300 \cdot t} = 20 \cdot \frac{P}{t}$$

Die ganze Einrichtung zur Bestimmung der effektiven Turbinenleistung hat sich, nach den bis heute durchgeführten Versuchen, sehr gut bewährt. Sie ermöglicht ein rasches und genaues Arbeiten sowie eine leichte Nachprüfung der Ablesungen, womit Fehlermöglichkeiten so gut wie ausgeschlossen werden. Wie Abbildung 9 zeigt, ist es mit der oben beschriebenen Bremse möglich, bis auf sehr kleine Drehgeschwindigkeiten hinunter zu bremsen

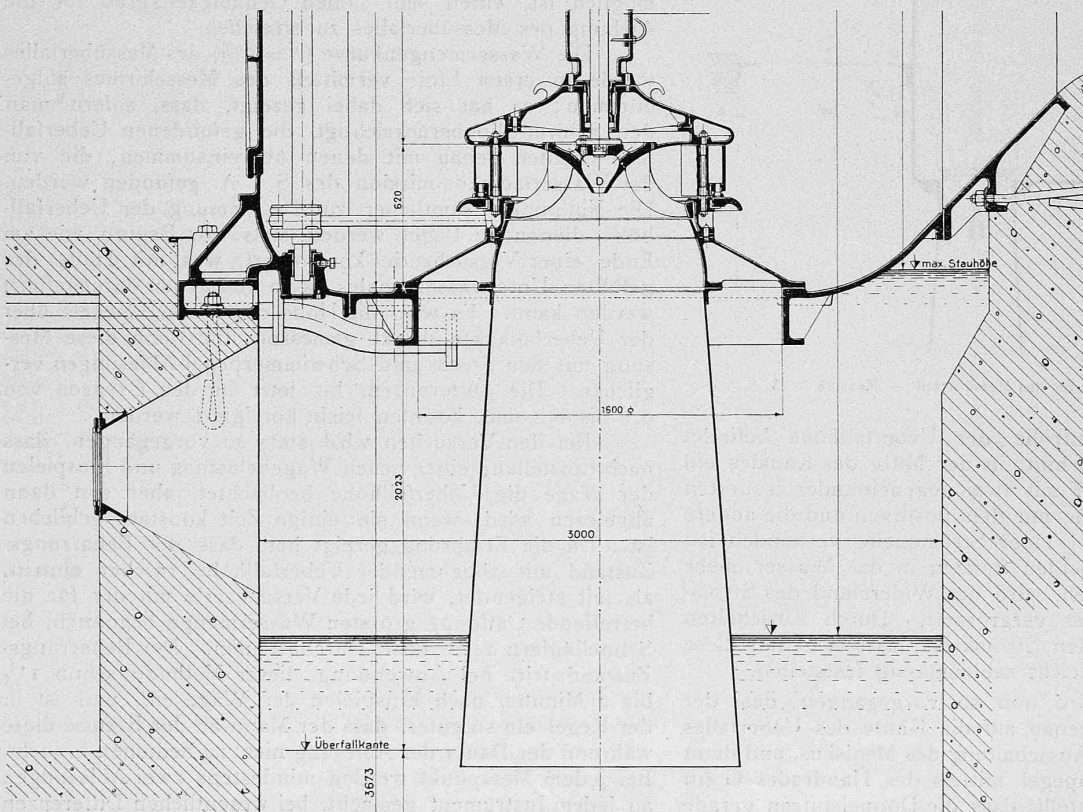


Abb. 7. Einbau der Versuch-Turbine; links Beobachtungsgang mit Fenster. — Masstab 1:30.

und eine vollkommene Aufnahme der Turbinen-Charakteristik durchzuführen. Die Messpunkte in Abbildung 9 sind Mittelwerte aus mindestens zwei Ablesungen an allen Instrumenten und es zeigt sich, dass die Punkte sehr regelmässig liegen, was einerseits auf einen guten Beharrungszustand, anderseits auf genaue Messmöglichkeiten schliessen lässt.

Nachdem das Wasser die Turbine und das Saugrohr durchflossen hat, gelangt es in die Unterwasserkammer, die durch eine Schütze gegenüber dem Unterwasserkanal abgeschlossen werden kann. Wenn die Versuchsturbine mit dem höchsten Gefälle (4 m) untersucht werden soll, wird im Oberwasserkanal der Leerlauf ganz geschlossen und die Unterwasserschütze vollständig gehoben, sodass das Wasser frei in den Unterwasserkanal eintreten kann. Bei Versuchen mit kleinstem Gefälle (2 m) wird umgekehrt der Oberwasserleerlauf ganz oder teilweise geöffnet und die Unterwasserschütze vollständig geschlossen. Auch diese Einrichtung hat sich sehr gut bewährt, und es stellt sich nach jeder Aenderung der durch die Turbine strömenden Wassermenge in längstens 2 Minuten der Beharrungszustand ein.

Durch den Unterwasserkanal, in dem einige Beruhigungsrechen eingebaut sind, gelangt dann das Wasser über den Messüberfall ohne Seitenkontraktion in den Pumpensumpf, aus dem die Pumpe das Triebwasser wieder in den Oberwasserkanal fördert, worauf der Kreislauf von neuem beginnt.

Es soll nun noch auf die *Wassermessungs-Einrichtungen* näher eingetreten werden. Wie jeder mit der Durchführung von solchen Messungen beauftragte Ingenieur weiss, ist die genaue Bestimmung der in der Zeiteinheit durch ein Gerinne fliessenden Wassermenge stets mit den grössten Schwierigkeiten verknüpft, sofern diese Wassermenge so gross ist, dass Behältermessungen nicht mehr in Frage kommen können. Die einfachste, und für Versuch-Anstalten infolge ihrer raschen Durchführungs-Möglichkeit wohl zweckmässigste Wassermessmethode, wird wohl stets die Ueberfallmessung sein und bleiben. Von allen möglichen Messüberfällen gebührt wohl dem Ueberfall ohne Seitenkontraktion mit scharfer Ueberfallkante der Vorzug, da bei diesem die Strömung nur zweidimensional ist und über die Ueberfallkante mit weniger Störung vor sich geht, als bei einem Ueber-

fall mit Seitenkontraktion, die dreidimensional verläuft und bei der leicht Labilitätserscheinungen auftreten.

Die Frage nach den richtigen Ueberfallkoeffizienten wird sofort ausgeschaltet, wenn man dafür sorgt, dass der gewählte Messüberfall vermittle genauer Methoden geacht werden kann. In unserm Fall lag ferner noch die Möglichkeit vor, einen Messüberfall zu wählen, dessen Dimensionen innerhalb der von der Wassermesskommission des Schweiz. Ing.- und Arch.-Vereins untersuchten Messüberfälle lagen. Es konnten somit zum Vergleich ohne weiteres die von der Kommission gefundenen Koeffizienten benutzt werden. Diese Ueberlegungen führten dazu, für die Versuchsanstalt als Hauptwassermessmethode die Ueberfallmessung zu wählen und es wurde zu diesem Zweck ein Ueberfall ohne Seitenkontraktion von $b = 2$ m Breite und einer Wehrhöhe $s = 590$ mm im Unterwasserkanal, etwa 18 m vom Saugrohr der Turbine entfernt, eingebaut (Abbildung 1, rechts unten). Die Ueberfallhöhe h wird in einem Querschnitt der 2 m oberhalb der Ueberfallwand liegt, in erster Linie durch zwei auf jeder Seite in separaten Schächten untergebrachten Schwimmerpegeln gemessen. Die Ueberfallhöhe kann ausserdem noch im gleichen Querschnitt vermittle zwei Präzisions-Schiebepegel (E in Abbildung 4) festgestellt werden, und es ist diese Messmethode insbesondere dann von Bedeutung, wenn es sich um die Berechnung der Wassermenge unter Benützung von Ueberfallkoeffizienten handelt, die von den betreffenden Experimentatoren ebenfalls durch Schiebepegel-Messungen gefunden wurden. Die beiden Schiebepegel sind jeweils 500 mm von der Kanalwand entfernt, ihre Entfernung von einander beträgt somit 1 m.

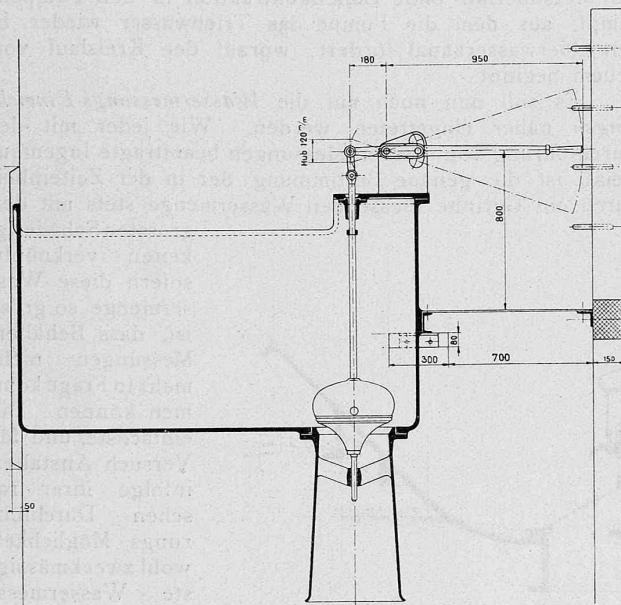


Abb. 10. Aichbehälter für den Messüberfall. — Masstab 1:35.

Zur weitem Kontrolle der Ueberfallhöhe befindet sich im gleichen Querschnitt in der Mitte des Kanales ein weiterer Schiebepegel F mit zwei gegeneinander isolierten Spitzen, wovon die eine mit dem positiven und die andere mit dem negativen Pol einer Stromquelle verbunden ist. Je nachdem nun die beiden Spitzen in das Wasser mehr oder weniger eintauchen, wird der Widerstand des Stromkreises verkleinert oder vergrössert. Durch Einschalten eines Ohmmeters in den Stromkreis lässt sich nun diese Widerstandsänderung leicht zahlenmässig feststellen.

Beim Versuch wird nun so vorgegangen, dass der Wasserspiegel zuerst genau auf die Kante des Ueberfalles abgesenkt wird, unter Ausschaltung des Meniskus, und dann das elektrische Spitzenpegel mittels des Handrades G (in Abbildung 4) so eingestellt, dass die Doppelspitzen gerade das Wasser berühren. Am Ohmmeter A (in Abbildung 4)

wird dann der Ausschlag abgelesen und an der Skala des Pegels der Nullpunkt markiert. Während des Versuches wird dann das Spitzenpegel stets so verschoben, dass das Ohmmeter immer den gleichen Ausschlag zeigt, wie für die Nullpunktlage. Da für den gleichen Ausschlag am Ohmmeter der Widerstand im Stromkreis bei konstanter Spannung der gleiche sein muss, so folgt, dass die Berührung der Spitze mit dem Wasser immer von der gleichen Ordnung ist, und man kann dann an der Skala ohne weiteres die Erhöhung des Wasserspiegels, d. h. die Ueberfallhöhe ablesen. Nach einigen Abänderungen ist es gelungen, die Empfindlichkeit dieses elektrischen Spitzenpegels so zu steigern, dass Wasserspiegelschwankungen von $\pm 0,1$ mm ohne weiteres am Ohmmeter abgelesen werden konnten. Diese Einrichtung hat ausserdem den grossen Vorteil, dass die Einstellung der Pegelspitzen auf den Wasserspiegel, ohne dass man den Wasserspiegel sieht, erfolgen kann, also auch durch Fernbetätigung. In der Versuchsanlage erfolgt die Betätigung des elektrischen Stechpegels von der Kommandobrücke aus und die Ablesungen sowohl an den Skalen der Schwimmerpegel, als auch an der Skala des elektrischen Stechpegels geschieht von der gleichen Stelle aus, vermittle eines stark vergrössernden Fernrohres, das auf einem Stativ drehbar gelagert ist (D in Abbild. 4). Diese Ablesungsmethode hat den grossen Vorteil, dass lange Drähte zur Uebertragung der Schwimmerbewegungen und damit erhebliche Fehlermöglichkeiten in Wegfall kommen, und gestattet ausserdem eine Erhöhung der Empfindlichkeit der Schwimmerpegel.

Für die Aichung des Messüberfalles ist nach dem Ueberfall ein Aichbehälter von 3 m³ Fassungsvermögen eingebaut (Abbildung 10), mit dem Wassermengen bis zu 150 l/sek gemessen werden können. Da ausserdem bei Beharrungszustand die gleiche Wassermenge durch den Oberwasserkanal fliesst, ist diese Wassermenge dort auch vermittle Schirmmessung feststellbar. Am Boden der Turbinenkammer kann ferner ein Deckel mit auswechselbaren Düsen von verschiedenen Oeffnungsweiten eingebaut werden, sodass dort noch eine Wassermessung durch Düsen möglich ist. Es bestehen so eine Reihe von Mess-Einrichtungen nebeneinander, mit deren Kombination es möglich ist, einen sehr hohen Genauigkeitsgrad für die Aichung des Messüberfalles zu erreichen.

Die Wassermengenkurve $Q = f(h)$ des Messüberfalles wurde in erster Linie vermittle des Messschirmes aufgenommen; es hat sich dabei gezeigt, dass, sofern man den Schirm-Slip berücksichtigt, die gefundenen Ueberfall-Koeffizienten genau mit denen übereinstimmen, die von der Wassermesskommission des S. I. A. gefunden wurden. Die Nullpunkte sämtlicher zur Bestimmung der Ueberfallhöhe dienenden Pegel werden stets vor Beginn wie am Ende einer Versuchserie kontrolliert, was mit Hülfe des gefüllten Unterwasserkanales rasch und genau durchgeführt werden kann. Es wird die Höhe des Wasserspiegels über der Ueberfallkante direkt gemessen und dann diese Messung mit den Stech- und Schwimmerpegel-Ablesungen verglichen. Die Differenzen, bis jetzt in den Grenzen von 0,1 bis 0,2 mm, konnten leicht korrigiert werden.

Bei den Versuchen wird stets so vorgegangen, dass nach Einstellung einer neuen Wagebelastung und Einspielen der Wage die Ueberfallhöhe beobachtet, aber erst dann abgelesen wird, wenn sie einige Zeit konstant geblieben ist. Da die Erfahrung gezeigt hat, dass der Beharrungszustand mit abnehmender Ueberfallhöhe rascher eintritt, als mit steigender, wird jede Versuchserie mit der für die betreffende Oeffnung grössten Wassermenge begonnen, bei Schnellläufern z. B. beim Durchbrennen. Der Beharrungszustand tritt bei Anwendung dieser Methode schon 1½ bis 2 Minuten nach Einspielen der Wage ein, und ist in der Regel ein so guter, dass der Mann an der Bremse diese während der Dauer der Ablesung nicht zu bedienen braucht. Bei jedem Messpunkt werden mindestens zwei Ablesungen an jedem Instrument gemacht, bei wesentlichen Differenzen wird der Versuch wiederholt.

Parallel zum Unterwasserkanal läuft ein zweiter Kanal, der an seinem hinteren Ende geschlossen ist, und an seinem vorderen Ende mit dem Pumpensumpf in Verbindung steht. Dieser Kanal dient in Verbindung mit dem Unterwasserkanal zur Aufnahme des Wasservorrats, der beim Versuchsbetrieb in Pumpenschacht, Oberwasserkanal und Turbinenkammer vorhanden ist. Um keine unnötigen Kosten zu verursachen, wurden die Volumina genau berechnet, die bei Betrieb mit Wasser gefüllt sind, und dementsprechend

Einfamilien-Reihenhäuser

erbaut von den Arch. *Kündig & Oetiker* in Zürich.

(Schluss von Seite 231, mit Tafeln 17 und 18).

II. Wohnkolonie an der Uetlibergstrasse.

Nach Vollendung der Einfamilienhaus-Kolonie an der Zepelinstrasse unternahm die Immobilien-Genossenschaft „Favorite“ Zürich im Jahre 1919 die Ueberbauung ihres



Abb. 9. Blick aus N.-W. in den zwischen den Häusern der I. (links) und der II. Bauperiode (rechts) einspringenden Gartenhof.

die Abmessungen des Nebenkanals gewählt; die Erfahrungen ergaben, dass die Abmessungen sehr gut getroffen worden sind. Das Füllen des Unterwasser- und des Nebenkanals erfolgt mittels einer in einem benachbarten Versuchraum untergebrachten Niederdruckpumpe, deren Saugleitung in einen Grundwasserbrunnen eintaucht. Bei vollständig geleerten Unterwasserkanälen dauert es etwa eine halbe Stunde, bis die Füllung beendigt ist und mit den Versuchen begonnen werden kann.

Wie bereits eingangs erwähnt, soll die Versuchsanlage in erster Linie der wissenschaftlich-experimentellen Erforschung der Strömungsvorgänge in einer Wasserturbine dienen. Sie ist aber so ausgebaut, dass in ihr auch komplette Modellturbinen verschiedenster Abmessungen und Systeme genau untersucht werden können, und es wird Aufgabe einer hoffentlich nicht zu fernem Zukunft sein, der Erkenntnis zum Durchbruch zu verhelfen, dass ein zuverlässiges Bild über das Arbeiten einer Wasserturbine nur in einer mit genauen Messmöglichkeiten ausgerüsteten Versuchsanlage erhalten werden kann. Die Versuche mit der gelieferten Turbine an Ort und Stelle sollten dann lediglich nur noch den Zweck von „Stichproben“ erfüllen, und dementsprechend, schon mit Rücksicht auf die meist hohen Kosten, auf ein Minimum vermindert werden.

Geländes an der Uetlibergstrasse (Abb. 8). Wie dort, so sollten auch hier nur Einfamilienhäuser erbaut und diese verkauft werden. Beim Bau der ersten Häuser an der Zepelinstrasse (1912) mussten anfängliche Widerstände gegen das Reihenhaus durch weitgehende malerische Betonung des Einzelhauses überwunden werden. Im weiteren Verlauf der Ueberbauung jenes Geländes zwischen Hofwiesen-, Zepelin- und Rotstrasse konnten dann die Architekten Kündig & Oetiker ihrem Streben nach schlichterer und grosszügigerer Gestaltung der Gesamtanlage Raum geben, und bei der Kolonie an der Uetlibergstrasse war der bisher — im Gegensatz z. B. zu Basel — in Zürich für Wohn-

Abb. 10.
Eckhaus B
(vergl. Abb. 11).

Abb. 8.
Lageplan
1:2500.

