

Der Turbinenbau
auf der
Weltausstellung in Paris 1900.

Von

E. Reichel

Professor an der Technischen Hochschule in Charlottenburg.

Mit 146 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1902.

Der Turbinenbau

auf der

Weltausstellung in Paris 1900.

Von

E. Reichel

Professor an der Technischen Hochschule in Charlottenburg.

Mit 146 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH
1902.

Sonderabdruck
aus der
Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1900 u. 1901.
Nachdruck nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet.

Der Turbinenbau

auf der

Weltausstellung in Paris 1900.

Von
E. Reichel.

Als nach den Versuchen auf den elektrotechnischen Ausstellungen in München 1882 und Frankfurt 1891 die Fernleitung mechanischer Energie auf elektrischem Wege als möglich und gelöst betrachtet werden konnte, haben sich der Ausnutzung von Wasserkräften neue außerordentlich günstige Aussichten eröffnet.

Man war mit der Lage der Stellen des Verbrauches an mechanischer Energie nicht mehr an die Lage der Kraftquellen gebunden und konnte nun daran denken, Wasserkräfte auszunutzen, deren Bedeutung man bisher wohl gekannt, bei denen man bislang aber keine geeigneten Mittel gehabt hatte, die Energie entfernteren Verbrauchstellen zuzuführen und sie dort in entsprechender Weise zu verteilen.

Mit der nun folgenden großen Zahl von Entwürfen und Ausführungen an Wasserbauten sind aber nicht nur für die Ausnutzung der Wasserkräfte selbst neue Gesichtspunkte geschaffen worden, sondern auch für die Mittel dazu, die Turbinen, haben sich neue Anforderungen ergeben, denen ihre Konstruktionen zu genügen hatten.

Seit dieser Zeit haben sich daher das Aussehen und der Charakter der Turbinen stetig geändert. Aeltere typische Konstruktionen werden durch neue verdrängt, aber auch längst bekannte Bauarten sind neu hervorgeholt, ihre Vorzüge besser gewürdigt und ihnen ein größeres Verbreitungsgebiet erschlossen. Es lohnt sich, in kurzen Zügen diese Entwicklung zu verfolgen, weil dadurch das Bild, das sich dem Besucher der Weltausstellung im Turbinenbau bietet, erklärt, die nachfolgend beschriebenen Anlagen durchsichtiger und ihre Ziele leichter verständlich werden.

Man kann in der Entwicklung des Turbinenbaues zwei Richtungen verfolgen, die unabhängig von einander lange Zeit ganz verschiedene Wege gegangen sind, die aber durch die elektrische Kraftfernleitung nunmehr gleichen Zielen zustreben, sich daher einander nähern und Einfluss auf einander ausüben müssen.

Der europäische Turbinenbau, auf den hervorragenden hydraulischen Arbeiten namentlich der französischen Hydrauliker älterer Schule begründet, hatte stets streng wissenschaftlichen Charakter. Die verschiedenen Bauarten aller Erfinder bezeugen eine gründliche Beherrschung der Gesetze der Hydraulik und Mechanik. Die ausgeführten Konstruktionen sind selten Versuchsgegenstände, sie bewähren sich in den ersten Ausführungen schon und geben zumteil überraschend günstige Wirkungsgrade. Die Zahl der verschiedenen Ausführungsformen ist sehr groß. Alle theoretischen Möglichkeiten für die Beaufschlagung von Turbinen werden versucht, und bei der großen Zahl an Konstrukteuren und Maschinenfabriken und der verhältnismäßig geringen der Wasserkräfte, die man

nach älteren Anschauungen für wirtschaftlich ausnutzbar halten musste, ist es erklärlich, dass fast keine Turbine der andern gleicht. Beinahe für jede Anlage wird eine neue Konstruktion entworfen, werden neue Modelle gemacht, mindestens aber die Schaufelung geändert und den örtlichen Verhältnissen angepasst. Das führt zu einer großen Vielseitigkeit und Gewandtheit auf dem Gebiete des Turbinenbaues, zu einer Beherrschung aller Ausführungsformen. Keine Aufgabe wird als zu schwierig oder unlösbar angesehen, und zur Lösung neuer Aufgaben werden stets neue Mittel gefunden. Eine fabrikmäßige Herstellung der Turbinen konnte sich aber hieraus nicht entwickeln, die Turbinen blieben Einzelgegenstände, ihre Anfertigung wurde umständlich, zeitraubend und teuer, und da der Wettbewerb dennoch zur Herstellung möglichst billiger Ausführungen drängte, musste man zu Bauarten greifen, die mit geringen Mitteln vonseiten der Maschinenfabriken herstellbar waren. Die Turbinen verloren den Charakter einer geschlossenen Maschine. Zu- und Ableitung wurden in die Baulichkeiten verlegt und die Wellen auf verschiedenen Einzelträgern gelagert.

Die älteren radialen Turbinensysteme, die in ihren ersten Ausführungen vielfach vollständige und ganz geschlossene Maschinen darstellen, wurden mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt und räumten den sich billiger stellenden axialen Turbinen, die überdies auch durch ihre Neuheit und Einfachheit bestechen mussten, eine Zeit lang vollständig das Feld. Eine große Zahl zumteil recht sinnreicher Konstruktionen wurde ausgedacht, um die geringe Regulirfähigkeit dieses Systems auszugleichen und den immer höher gestellten Anforderungen an Regulirfähigkeit und große Umlaufzahl zu entsprechen. Langsam aber sicher bricht sich jedoch die Erkenntnis Bahn, dass man hierin an die Grenze gekommen ist und weitere Vorteile nur in einem abermaligen Wechsel des Maschinensystems gelegen sein können. Eine kleine Zahl von Konstrukteuren hält auch in dieser Uebergangszeit hartnäckig an den Radialturbinen fest, sieht in ihren Vorzügen mit Recht die Zukunft, bringt sie unter großen Schwierigkeiten zu neuen und modernen Ausführungsformen und tritt so wohl gerüstet und führend an die Spitze der neuesten Bewegung. Hierin haben sich die rühmlich bekannten älteren Schweizer Turbinenbauanstalten: Bell & Co., Escher, Wyss & Co., Piccard & Pictet, J. J. Rieter & Co., und in Deutschland namentlich die Firma J. M. Voith in Heidenheim hervorgethan. Die Ausführungen der letzten Firma sind in vielen Beziehungen vorbildlich geworden und haben wesentlich zu dem modernen Gepräge im Turbinenbau beigetragen¹⁾.

¹⁾ s. a. Pfarr: Neuere Turbinenanlagen, Z. 1897 S. 792.

In diesem letzten Teile des Entwicklungsganges hat sich aber auch fremder, namentlich amerikanischer Einfluss geltend gemacht. Europäische Konstrukteure haben sich lange Zeit gesträubt und sträuben sich noch, dem amerikanischen Turbinenbau irgend welche Anerkennung zu zollen. Die Angaben über besonders hohe Wirkungsgrade werden äußerst misstrauisch aufgenommen, und die Art, Turbinen lediglich durch Ausprobirung der Schaufelung und nicht durch konstruktive Voraussicht zur höchsten Vollendung zu bringen, wird sogar verspottet. Amerikanische Turbinen konnten sich lange in Europa keinen Eingang verschaffen. Erst in neuester Zeit, als an Regulirfähigkeit und Gröfse der Umdrehungszahl immer höhere Ansprüche gestellt wurden, ist man den amerikanischen Konstruktionen, wenn auch zögernd und vorsichtig, näher getreten. Man findet, dass der praktische Sinn der Amerikaner im Turbinenbau Erfolge erzielt hat, an denen man nicht mehr vorüber gehen kann, dass mehrere gute Seiten vorhanden sind, die sich auf europäische Konstruktionen mit Vorteil übertragen lassen, und dass namentlich mit Rücksicht auf die Fabrikation und den Einbau der Turbinen manches zu lernen ist.

Die Erfindung und große Verbreitung des Pelton-Rades, über das viel geschrieben und gestritten worden ist¹⁾, hat die Aufmerksamkeit neuerdings auf den amerikanischen Turbinenbau gelenkt, dem europäischen Turbinenbau aber neue Anregungen gegeben und dadurch zur Erhöhung seiner Vielgestalt beigetragen. Man hat gefunden, dass mit dem einfachen Pelton-Rade und seinen Abarten, wie man sie jetzt in Europa konstruirt, Wirkungsgrade erzielt werden, die auch bei vorurteilsfreier Prüfung als überraschend bezeichnet werden müssen. In der Form der Schaufelung nähert man sich bei uns bei den Francis-Turbinen immer mehr der amerikanischen, und einzelne Firmen haben ihre Fabrikation ganz auf amerikanische Modelle begründet. Um diesen Einfluss zu würdigen, ist es nötig, auch die Entwicklung des amerikanischen Turbinenbaues zu verfolgen.

Der amerikanische Turbinenbau ist ganz andere Wege gegangen als der europäische. Seine Begründung ist ausschließlich auf Francis zurückzuführen. Dieser ausgezeichnete Hydrauliker hat durch seine bekannten Versuche die Grundlagen für die Ausnutzung der amerikanischen Wasserkräfte geschaffen, welche noch heute fast unverändert und mit Recht maßgebend sind. Er hat die ersten Turbinen, deren System seinen Namen trägt, konstruirt und hat im Sinne der europäischen Konstrukteure den Turbinenbau auf wissenschaftlicher Grundlage in Amerika eingeführt. Es ist hochinteressant und lehrreich, die nachgelassenen Schriften und Zeichnungen Francis', die von seinem Sohne pietätvoll aufbewahrt werden, durchzusehen und zu bemerken, wie Francis schon damals konstruktive Ideen entwickelte, die man jetzt als modern bezeichnen würde. Aber Francis hat keine Schule gemacht, und so ist es gekommen, dass man bei dem einen von ihm eingeführten und sich bewährenden Turbinensystem blieb. Seine Nachfolger und Nachahmer haben den Gegenstand nicht genügend wissenschaftlich beherrscht und daher seine Konstruktionen im Laufe der Zeit nur nach praktischen Gesichtspunkten und durch Ausprobiren zu vervollkommen und auszugestalten versucht. Sollte aber der Turbinenbau in Amerika in Aufnahme kommen, so musste es möglich werden, nicht nach europäischem Muster für jede Anlage und Oertlichkeit andere Konstruktionen zu schaffen, sondern Turbinen als ganze, geschlossene und marktfähige Maschinen nach feststehenden Modellen zu bauen, nach welchen sich umgekehrt im Einbau die Anlage und Oertlichkeit zu richten hatte. Da man nur die eine Bauart mit radialer Beaufschlagung kannte, musste man, um billig und wettbewerbfähig zu bleiben, möglichst kleinen Durchmesser, große Umlaufzahl und damit große Radhöhen wählen. Man ist so fast unwillkürlich zu typischen Konstruktionen gelangt, die sich nun aber der neuesten Richtung viel leichter anschließen, weil sie Vorteile besitzen, die man in Europa oft nur mühsam und mit großem konstruktivem Aufwand erzielt hat. Man hat auch frühzeitig die Vorteile des Saugrohres, der damit verknüpften höheren Lage der Turbinen und der geringeren Grundarbeiten erfasst und fast ausnahmslos durchgeführt.

¹⁾ s. Z. 1892 S. 1181, 1351; 1893 S. 172.

Francis selbst ist dem Gedanken einer radial von außen beaufschlagten Partialturbine sicher näher getreten, eine Ausführung ist jedoch nicht bekannt und von seinen Nachfolgern wahrscheinlich aus Mangel an wissenschaftlicher Beherrschung des Stoffes garnicht versucht worden. Daher kommt es, dass Partialturbine in unserm Sinne den Amerikanern fast unbekannt geblieben sind. Erst das Pelton-Rad hat hierin Wandel geschaffen. In einfachster Weise ist hier dem gefühlten Bedürfnisse abgeholfen und eine klaffende Lücke geschlossen. Es ist aber auch bemerkenswert, dass in gewisser Beziehung das Pelton-Rad als eine Fortsetzung des konstruktiven Gedankens der Francis-Turbine aufgefasst werden kann. Es hat sich der eigenartigen amerikanischen Fabrikationsweise von Turbinen vollständig eingefügt. Während aber in Europa eine solche Neuerung von sämtlichen Turbinenbauanstalten aufgegriffen worden wäre und zur Vermehrung der schon bestehenden Modelle beigetragen hätte, haben sich die amerikanischen Turbinenbauanstalten nur wenig beeinflussen lassen. Das Pelton-Rad ist dort Spezialität weniger Firmen geworden und wird von ihnen ebenso als Massenartikel angefertigt, wie bisher die übrigen Turbinen.

In jeder Fabrik ist eine größere Anzahl von ausprobirten Turbinenmodellen vorhanden, die unverändert auch in der Schaufelung als Massenartikel hergestellt und nun den jeweiligen Wassermengen und Gefällen, so gut als es eben geht, angepasst werden. Liegen die Verhältnisse günstig, dann ist auch der Wirkungsgrad gut und kommt dem günstigsten mit den ausprobirten Modellen erzielten gleich. Die Angaben hierüber sind vielfach übertrieben, aber durchaus nicht so völlig ungläublich, wie einzelne europäische Konstrukteure meinen. Man ist neuerdings auch bei uns mit Turbinen, deren Bauarten amerikanischen Einfluss nicht verkennen lassen, zu Wirkungsgraden gekommen, die man früher für kaum erreichbar gehalten hätte.

Freilich treffen sich die Verhältnisse nicht immer so günstig, und dann werden die Wirkungsgrade niedrig, ja es giebt Fälle, in denen mit den feststehenden amerikanischen Modellen eine Wasserkraft überhaupt nicht rationell auszunutzen ist. Solchen Fällen standen die amerikanischen Konstrukteure bislang machtlos gegenüber, da sie sich namentlich bei größeren Aufträgen zu Neukonstruktionen, zu deren vorheriger Erprobung man keine Gelegenheit hatte, nur schwer entschließen konnten.

Wir sehen daher, dass die größte und ungewöhnlichste Aufgabe, auf deren Lösung die gesamte technische Welt mit Spannung geblickt hat: die Ausnutzung der Niagarafälle durch Turbinen, nach Zeichnungen europäischer Konstrukteure (Faesch & Piccard in Genf) ausgeführt wird²⁾. Amerikanische Turbinenbauer haben es als unwahrscheinlich erklärt, dass Turbinen von vornherein, ohne vorher ausprobirt zu sein, befriedigende Wirkungsgrade ergeben könnten, und es wurden bei dem Wettbewerb um die erwähnten Turbinen von amerikanischen Firmen keine befriedigenden und neuen Lösungen der Aufgabe zustande gebracht. Nach eingezogenen Erkundigungen bei der Firma Piccard, Pictet & Co. in Genf haben sich aber schon die ersten 5000 pferdigen Turbinen gut bewährt, und es sind im Krafthaus I der Niagara falls Power Co. 10 Turbinen derselben Konstruktion mit nur geringen Aenderungen aufgestellt und im Gange. Für das Krafthaus II derselben Gesellschaft sind die Turbinen von gleicher Gröfse nach Zeichnungen von Escher, Wyss & Co. in Zürich ausgeführt und in Z. 1901 S. 1239 ausführlich beschrieben.

Auch die Firma Riva, Monneret & Co. in Mailand ist neuerdings mit dem Auftrage betraut worden, Turbinen von 3000 PS für ein auf der kanadischen Seite der Niagarafälle gebautes Krafthaus zu liefern³⁾, für das die Turbinen amerikanischer Firmen nicht genügt haben.

Im neuen Wasserwerk von East-Jersey sind die Turbinen zum Betrieb der Pumpen nach Zeichnungen vom Verfasser³⁾ von der Dickson Mfg. Co. in Scranton, Pa., ausgeführt worden.

Die Amerikaner haben diesen Mangel bereits erkannt und sind eifrig bemüht, ihm zumteil mit Hilfe europäischer Konstrukteure abzuwehren.

¹⁾ Vergl. Z. 1892 S. 1219; 1893 S. 332.

²⁾ s. Z. 1901 S. 1095.

³⁾ s. Riedler: Schnellbetrieb, Wasserwerkspumpen für städtische Wasserversorgung S. 67.

Während sich so europäischer Einfluss in nächster Zeit schon im amerikanischen Turbinenbau (vielleicht mit Einführung der Partialturbinen, insbesondere jener mit Saugrohr) geltend machen muss und wird, ist andererseits amerikanischer Einfluss bei uns unverkennbar und wird sich jedem Beschauer aufdrängen, der vorurteilsfrei die Wandlungen der Neuzeit verfolgt und aufmerksam die in Paris ausgestellten Gegenstände und die nachfolgend aufgeführten Konstruktionen betrachtet. Man wird finden, dass sich die Amerikaner mit ihren Turbineneinheiten außerordentlich gewandt der Neuzeit angepasst haben. Die vielseitige Verwendungsart immer derselben Einheiten, ihre Verkopplung und der sehr einfache Einbau sind geradezu mustergültig und bei uns immer noch viel zu wenig gewürdigt. Aber auch hier ist Besserung zu bemerken. In der Ausstellung sind Reihen geschlossener Motoren verschiedener Größe mit Regulatoren gedrängt zusammengebaut zu sehen, die zeigen, dass man auch bei uns zur mehr fabrikmässigen Herstellung von Turbinen schreitet. Einzelne Firmen führen Turbinen unmittelbar nach amerikanischen Modellen aus. Auch im Einbau und der Verwendungsart nähert man sich amerikanischem Muster, und so ist zu erwarten, dass durch die gegenseitige Beeinflussung neue Fortschritte und Erfolge im Bau und der Anpassungsfähigkeit und in den Anlagen von Wassermotoren gezeitigt werden, die zu einer immer weiteren Verwendung derselben führen müssen.

Freilich geben die in der Ausstellung vorhandenen Maschinen allein kein klares Bild von der Leistungsfähigkeit der einzelnen Firmen, noch weniger von der eines ganzen Landes. Sie können auch über die Bedeutung und Güte der ausgeführten Anlagen keinen Aufschluss geben. Dazu ist es nötig, diese als Ganzes einschliesslich der Wasserbauten zu betrachten, und dies ist der Grund, warum in dem nachfolgenden Bericht Wert darauf gelegt wird, die Ausstellungsgegenstände thunlichst in ihrem Zusammenhange mit den ganzen Anlagen vorzuführen und auch Maschinenanlagen in den Bericht aufzunehmen, die mit der Ausstellung nicht in unmittelbarem Zusammenhange stehen, aber zur Vervollständigung des Bildes und zur Kennzeichnung der gegenwärtigen Stellung des Turbinenbaues in den einzelnen Ländern wesentlich beitragen.

Für eine günstige Entwicklung des Turbinenbaues in einem Lande ist es neben einer grösseren Zahl von vorhandenen Wasserkraften nötig, dass die Industrie auf einer gewissen Höhe steht, sodass ständige Nachfrage nach mechanischer Energie vorhanden ist, oder dass die örtlichen Verhältnisse sich so vorteilhaft erweisen, dass sich in nicht allzugrosser Entfernung von den Wasserkraften demnächst Industriemittelpunkte bilden können. In dieser Beziehung steht die Schweiz obenan. Wie günstig die Verhältnisse dort liegen, braucht bei der reich entwickelten Industrie, dem ausgedehnten Fremdenverkehr und dem gänzlichen Mangel an Kohlen hier nicht weiter erörtert zu werden. Der schweizerische Turbinenbau steht daher seit jeher auf erster Stufe, hat sich in der letzten Zeit besonders stark entwickelt und ist auf der Pariser Ausstellung hervorragend durch die bereits genannten Firmen mit Ausführungen vertreten, die nicht nur ein vollständiges Bild des modernen Turbinenbaues bieten, sondern auch von der Vielseitigkeit und der Beherrschung des Stoffes durch die Konstrukteure und von der Vorzüglichkeit der Ausführung, insbesondere der Gusstechnik, Zeugnis geben.

Eine grosse Zahl hochbedeutsamer Turbinenanlagen ist in den letzten Jahren in der Schweiz entstanden oder von Schweizer Firmen in allen Weltteilen ausgeführt worden. Im Salon d'honneur ist eine Anzahl von Zeichnungen ausgestellt, welche kennzeichnende Anlagen wiedergeben. Auf einer grossen Karte der Schweiz hat Professor Wyssling in Zürich die bisher ausgebauten Wasserkraften eingetragen und so ersichtlich gemacht, welche Energiemengen den Wasserläufen bereits abgerungen werden. Aber neue Werke sind geplant oder in Arbeit, und immer kühner und grösser werden die Ausführungen, immer höher geht man in einsamen Thälern und Schluchten hinauf und zwingt Ströme und wilde Bergwässer zu nützlicher Arbeit. Durch Tunnel, in Kanälen

und Stahlrohren von beträchtlicher Länge (bis 2500 m) werden die Wässer den Turbinen zugeführt und Gefälle von über 600 m in einer Stufe ausgenutzt. Turbineneinheiten bis zu 1500 PS und darüber sind normale Grössen. Ihre unmittelbare Verbindung mit selbstthätigen Regulirvorrichtungen, die selbst bei bedeutenden Energieschwankungen die Umlaufzahlen bis auf wenige Prozente unverändert halten, ist die Regel.

Nach der grossen Zahl bedeutender Hydrauliker, die französischen Ursprungs sind, aus dem Umstande, dass die ersten Radialturbinen von dem Franzosen Fourneyron konstruiert wurden, und nach den günstigen Verhältnissen im Süden Frankreichs sollte man schliessen, dass der Turbinenbau dort eine hervorragende Stellung einnehmen müsste. Dem ist jedoch nicht so, es scheint vielmehr, dass die nahe Schweiz den Markt und die konstruktive Durchbildung beherrscht und sich in Frankreich keine Turbinenbauanstalten entwickelt haben, die an Bedeutung denen der Schweiz gleichkommen. In der französischen Ausstellung sind vorherrschend amerikanische Bauarten vertreten. Einige Achsialturbinen mit senkrechter Achse und wenige Radialturbinen geben Zeugnis von einheimischen Konstruktionen. Eigentlich moderne Turbinen mit selbstthätigen Regulirvorrichtungen sind nicht ausgestellt.

In Deutschland ist der Turbinenbau von jeher mit grosser Gründlichkeit und Sachkenntnis betrieben worden. Eine Reihe glänzender Namen ist mit dem Turbinenbau auf das engste verknüpft. Vorbildliche Konstruktionen haben von hier ihren Ausgang genommen, und mustergültige Anlagen sind geschaffen worden. Gegenüber der Schweiz liegen die Verhältnisse aber besonders in Norddeutschland sehr ungünstig, und so kommt es, dass der Turbinenbau nicht jene herrschende Bedeutung gewinnen konnte wie dort. Jedoch sind einzelne Firmen, wie J. M. Voith in Heidenheim und andere, führend geblieben und haben auch den gesamten modernen Turbinenbau wesentlich beeinflusst. Es ist sehr zu beklagen, dass der deutsche Turbinenbau auf der Ausstellung nicht vertreten ist.

In Italien, namentlich Oberitalien, liegen die Verhältnisse für den Turbinenbau außerordentlich günstig. Trotzdem wird er erst seit kurzem, nun aber mit bedeutendem Erfolge gepflegt. Die Firma Riva, Monneret & Co. in Mailand ist führend und in letzter Zeit mit einigen ganz bedeutenden Anlagen bemerkenswert hervorgetreten. Auf eine Ausstellung ihrer Turbinen hat die Firma wegen höchst ungünstiger Lage des ihr zugewiesenen Platzes leider verzichtet.

Auch in Oesterreich-Ungarn steht dem Ausbau der reichen Wasserkraften namentlich in den Alpenländern eine grosse Zukunft bevor. Die älteren Turbinenbauanstalten Oesterreichs haben sich trotzdem zu keiner Bedeutung aufzuschwingen vermocht. Die Turbinen wurden vornehmlich aus der Schweiz und aus Deutschland bezogen, und erst nachdem die Firma Ganz & Co. in Budapest vor etwa 15 Jahren den Turbinenbau aufgenommen hatte, ist zugleich mit der Entwicklung der Elektrotechnik ein grosser Erfolg bemerkbar. Die Firma hat auch im Auslande neuerdings mehrere Anlagen grossen Stiles mit Turbinen ausgeführt, ist jedoch auf der Ausstellung nur mit einer Hochdruckturbine und einer kleineren Radialturbine vertreten. Ausserdem hat noch die Maschinenfabrik »Danubius« in Budapest ausgestellt.

Dass in Norwegen und Schweden ein ungeheurer Reichtum an vorzüglichen Wasserkraften vorhanden ist, ist bekannt. In den industriereichen Bezirken beider Länder sind zahlreiche Wasserkraften bereits ausgenutzt. Alle grösseren Städte suchen sich für ihre Zwecke grössere Wasserkraften zu sichern, und selbst in einzelnen entfernt liegenden Fjorden sind grössere Kraftanlagen entstanden, um welche sich langsam Industrien, namentlich elektro-chemische, anzusiedeln beginnen. Bis vor kurzem sind alle Turbinen aus dem Auslande, namentlich aus der Schweiz und Deutschland, bezogen worden. Erst neuerdings haben auch einheimische Fabriken den Turbinenbau aufgenommen. Wenn man sich dabei auch vornehmlich noch an moderne Vorbilder anlehnt, so ist doch ein Ansatz zu selbständigem Schaffen unverkennbar, und weitere Fortschritte stehen in Aussicht. In der Ausstellung sind beide Länder nur durch je eine Firma vertreten-

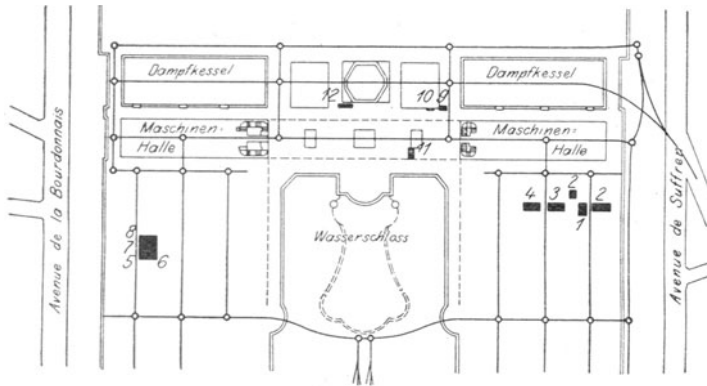
Die Turbinenbauanstalten der Vereinigten Staaten von Nordamerika haben die Ausstellung nicht besichtigt. Der amerikanische Turbinenbau kann sich mit dem begnügen, was in der französischen Abteilung zu sehen ist, und mit dem großen Einfluss, den er auf die Konstruktion der modernen europäischen Turbinen gewonnen hat.

Die ausgestellten Turbinen sind in der Maschinenhalle in den Maschinengruppen der einzelnen Länder leicht aufzufinden.

Verzeichnis der Aussteller, vergl. Fig. 1.

Schweiz	1. Th. Bell & Co., Kriens-Luzern
	2. Escher, Wyfs & Co., Zürich
	3. Piccard, Pictet & Co., Genf
	4. J. J. Rieter, Winterthur
Frankreich	5. Darbley père & fils, Essonne-Paris.
	6. Royer & Joly, Epinal
	7. Singrün frères, Epinal
	8. Teisset, Brault & Chapron, Chartres
Ungarn	9. Ganz & Co., Budapest
	10. »Danubius«, Neupest
Norwegen	11. Drammens Jernstøberi, Drammen
Schweden	12. Qvist & Gjers, Arboga

Fig. 1.



Ehe auf die ausgestellten Turbinen selbst eingegangen wird, sollen einige allgemeine Gesichtspunkte über deren Regulierung vorausgeschickt werden.

Weil bei einem Wassermotor, dem die Arbeit in Form einer bestimmten pro Sekunde von einer gegebenen Höhe herabfallenden Wassermenge geboten wird, das Gefälle möglichst unverändert zu erhalten ist, kann eine Regulierung nur dadurch eingeleitet werden, dass die dem Motor zugeführte Wassermenge veränderlich gemacht wird. Da die Wassermengen aber je nach der Stärke des Motors und dem Gefälle außerordentlich verschieden sein können, so ist ersichtlich, dass eine sehr große Mannigfaltigkeit in den Mitteln vorhanden sein wird, mit welchen die Wassermengen unmittelbar an der Turbine veränderlich gemacht werden. Aber auch hier kann man, wie bei den Dampfmaschinen, bestimmte Gruppen unterscheiden, und auch da ist der dort aufgestellte Satz richtig, dass sich eine Regulierung um so besser bewährt, je einfacher sie ist und je weniger Gelenke und bewegte Teile sie besitzt. Es haben sich daher auch hier gewisse Konstruktionen als typisch herausgestellt und finden immer allgemeinere Verbreitung.

Ebenso wie bei den Dampfmaschinen ist ein Zentrifugalregulator der Ausgangspunkt für die Regulierung; während es aber bei den Dampfmaschinen durch besonders empfindliche Konstruktionen möglich ist, den Zentrifugalregulator unmittelbar auf die Dampfverteilung bestimmend einwirken zu lassen, hat man bei den Turbinen Zwischenglieder nötig; denn die Arbeitsfähigkeit eines Zentrifugalregulators reicht nicht aus, um die meist bedeutenden Widerstände zu überwinden, welche mit der Veränderung der Wasserzufuhr zur Turbine verbunden sind. Das wird auf den ersten Blick klar, wenn

man sich eine Turbine vorstellt, die bei verhältnismäßig geringem Gefälle und großen Wassermengen für starke Arbeitsschwankungen eingerichtet werden soll.

Der Zentrifugalregulator fasst daher nicht unmittelbar die Regulierung der Turbine an, sondern wird dazu benutzt, eine Art Steuerung für eine weitere Vorrichtung zu bethätigen, durch welche eine motorische Kraft ausgelöst wird, die nun erst die Regulierung an der Turbine in Bewegung setzt. Diese Vorrichtung wird Servomotor genannt, und man wird je nach der Energieform, durch welche sie wirksam wird, mechanische, hydraulische, elektrische und dergl. Servomotoren zu unterscheiden haben. Es werden sich also bei den selbstthätigen Regulierungsvorrichtungen für Turbinen ganz allgemein vorfinden:

- 1) der Zentrifugalregulator *C*,
- 2) die von diesem beeinflusste Steuerung des Servomotors *S*,
- 3) der Servomotor *M* selbst und
- 4) die vom Servomotor bewegte Regulierungsvorrichtung *R* unmittelbar an der Turbine (s. Fig. 2 und 3).

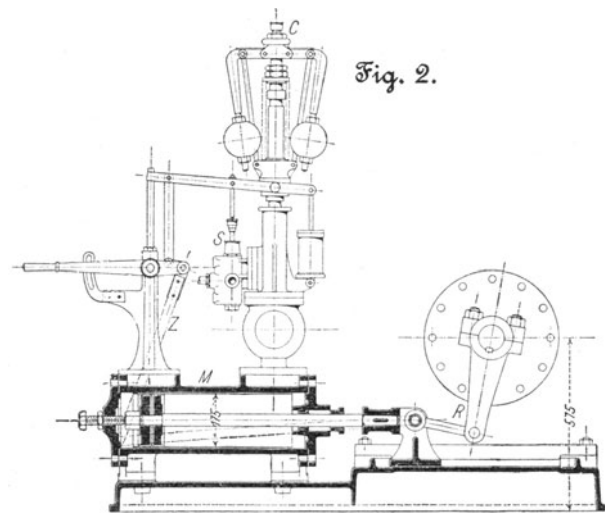


Fig. 2.

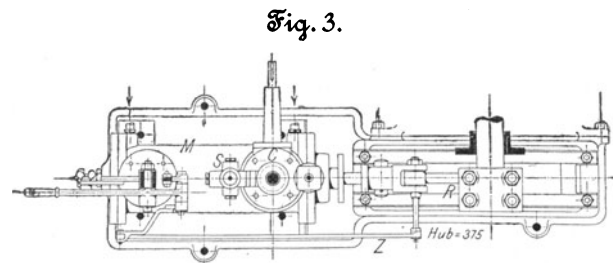


Fig. 3.

Drammens Jernstøberi & mekaniske Vaerksted. 1:25.

Mit der Anordnung dieser vier Konstruktionsglieder wäre aber noch keine Regulierung zu erzielen, die den praktischen Bedürfnissen genügt. Jede Einwirkung des Zentrifugalregulators hätte zwar eine Bethätigung des Servomotors zur Folge, aber so lange, dass ein »Ueberreguliren« eintreten müsste, welches im nächsten Augenblick die entgegengesetzte Bewegung verlangen würde, wodurch ein lästiges Schwanken entstünde. Man leitet daher von der durch den Servomotor eingeleiteten Bewegung eine Teilbewegung ab und auf die Steuerung des Servomotors so zurück, dass diese wieder auf ihre ursprüngliche Stellung zurückgeschoben und der Servomotor wirkungslos wird. Jeder Stellung des Zentrifugalregulators entspricht somit eine bestimmte Stellung des Servomotors, also auch eine bestimmte Beaufschlagung der Turbine.

Diese Rückführung bildet den fünften wesentlichen Teil *Z*, Fig. 2, jeder selbstthätigen Turbinenregulierung.

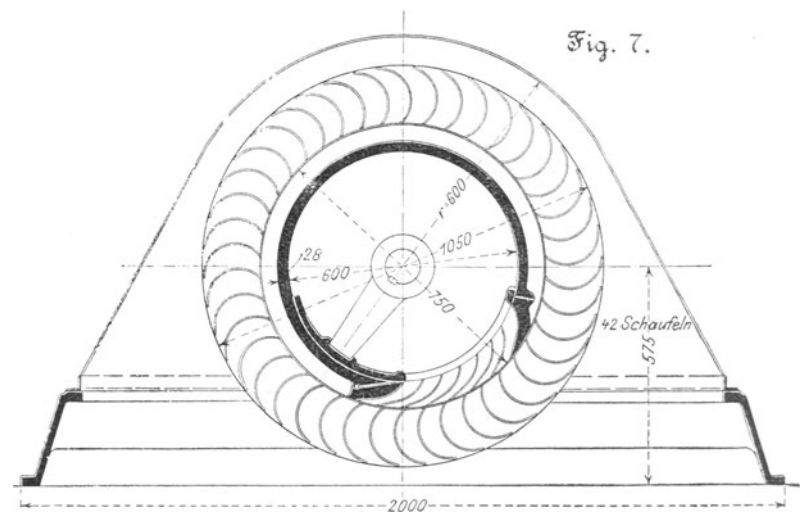
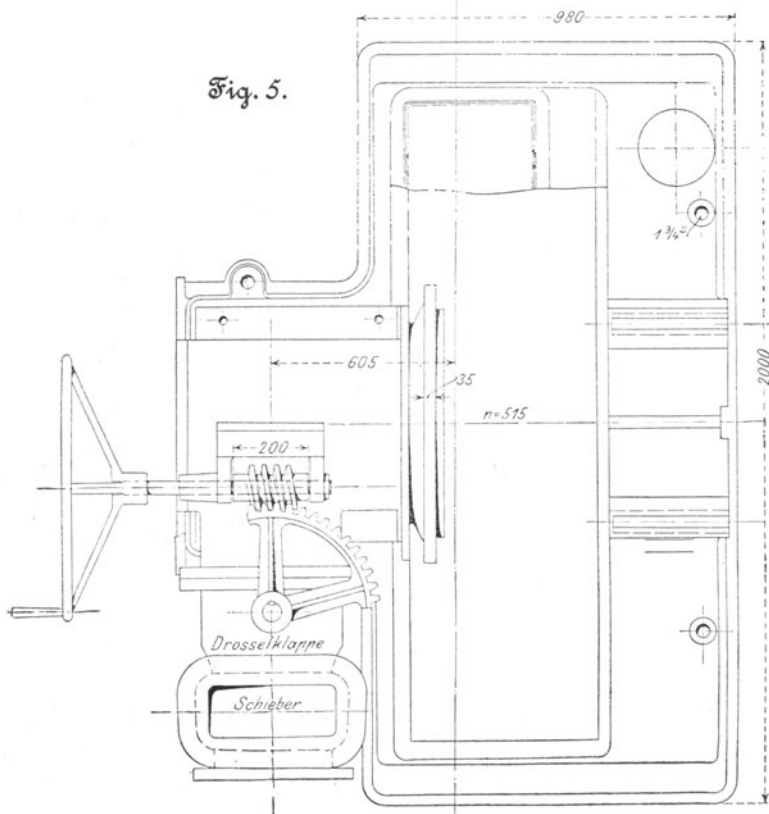
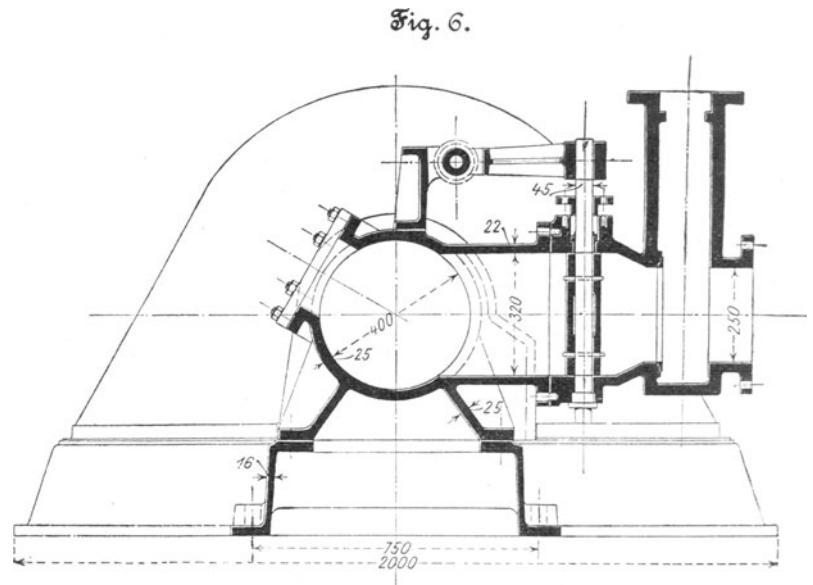
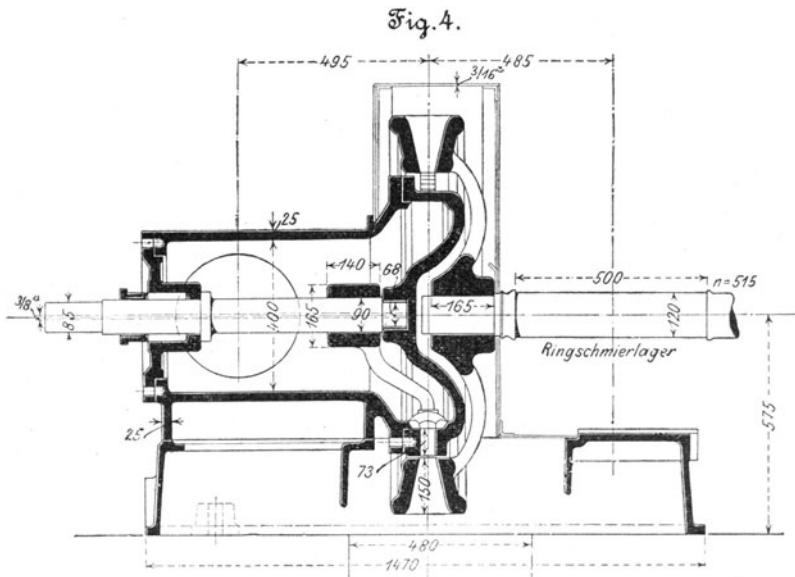
Im Folgenden sollen diese fünf wesentlichen Teile jeder Regulierung bei allen Figuren mit den angeführten Buchstaben

bezeichnet werden, wodurch eine nähere Beschreibung der Wirkungsweise entfallen kann.

Für die Bethätigung des Servomotors wird man jene Energieform wählen, welche am einfachsten zu haben ist. Bei größerem Gefälle steht Druckwasser zur Verfügung, man wird also einen hydraulisch wirkenden Servomotor verwenden, der überdies die leicht herstellbare und einfache Form eines Cylinders mit Kolben erhalten kann. Nun ist

Erzeugung des Druckwassers, oder man benutzt auch Oel als Regulirflüssigkeit, welches (wie das filtrirte Wasser unter Umständen auch) nach dem Gebrauch den Pumpen immer wieder zugeführt wird.

Mechanisch wirkende Servomotoren verwendet man meistens in Form von Wellen, auf die durch die Turbinen eine gewisse Energiemenge übertragen werden kann. Der Zentrifugalregulator bedient als Steuerung eine Riemengabel,



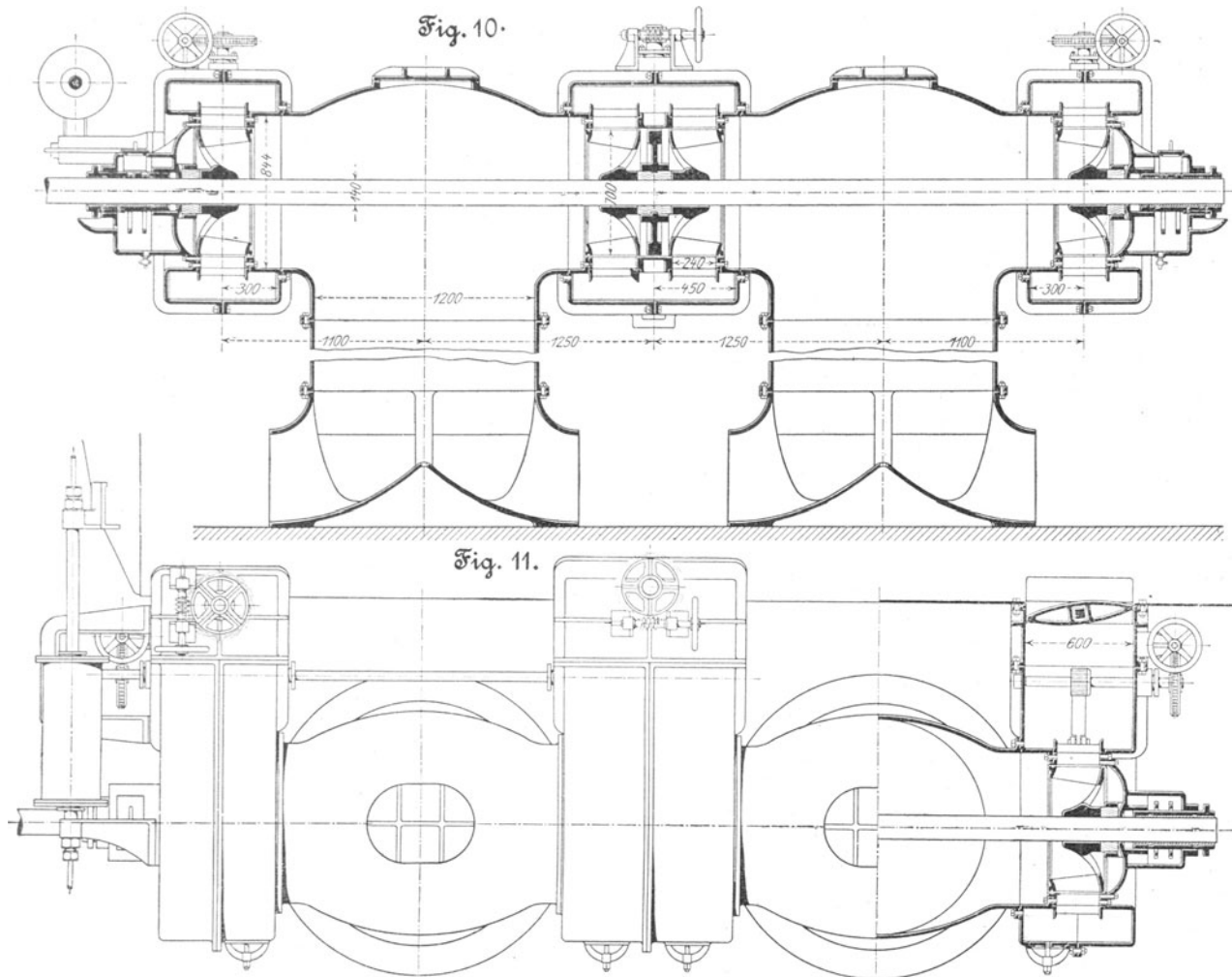
Drammens Jernstoberi & mekaniske Vaerksted. 1: 25.

das der Turbine zuffießende Wasser häufig sehr unrein. Die Steuerteile des Servomotors sind jedoch sehr klein und empfindlich, und es macht sich daher als weitere Zugabe zur Regulirung die Anlage eines Filters zur Reinigung des Regulirwassers notwendig. Sind die Gefälle gering, dann würden die Cylinder der Servomotoren zu große Abmessungen erhalten, die ganze Konstruktion würde schwer und schwerfällig wirksam. In solchen Fällen wählt man als weitere Zugabe ein eigenes kleines Pumpwerk mit Akkumulator zur

Klinkvorrichtung und dergl., durch welche die erwähnte Welle zur Bethätigung der Regulirvorrichtung veranlasst, also ein- oder ausgerückt wird. Im allgemeinen gestaltet sich diese Art von Regulirung mit der Rückführung etwas verwickelter als die früheren. Infolge vieler Gestänge und Gelenke kann leicht schädlicher Totgang eintreten und dadurch die Wirkung der Regulirung sehr beeinträchtigt werden.

Elektrisch betriebene Servomotoren gehören noch zu den Seltenheiten; ihnen ist vielleicht noch eine größere Zukunft beschieden.

Läuft den Turbinen das Wasser im offenen Kanal mit geringer Geschwindigkeit zu, und wird das Wasser durch die Regulirvorrichtung plötzlich daran gehindert, in die Turbine einzutreten, eine gewisse Wassermenge also plötzlich verzögert, so werden sich Stöße einstellen, die im Obergraben eine Rückstauwelle erzeugen, sonst aber an den starken Bauteilen wirkungslos oder unmerklich verlaufen. Anders

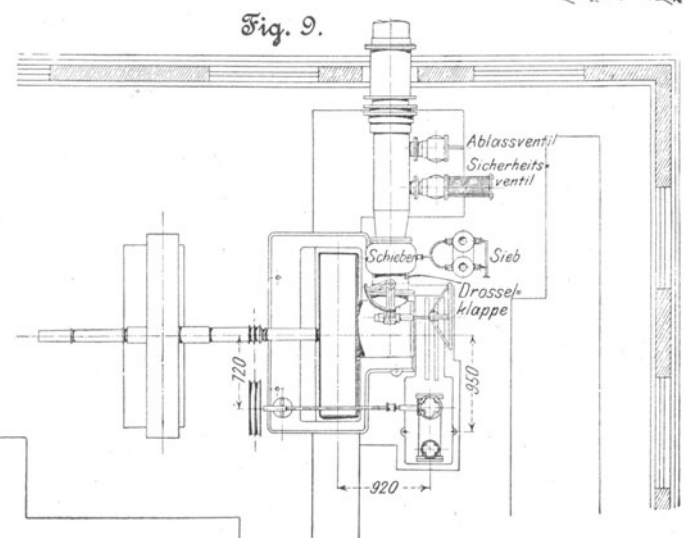
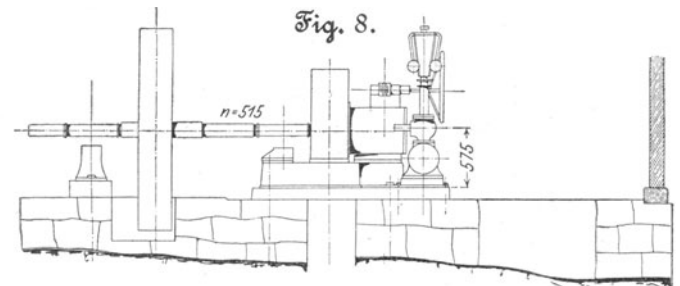


aber gestaltet sich die Sache, wenn das Wasser den Turbinen in längeren geschlossenen Rohrleitungen mit großer Geschwindigkeit zugeführt wird. Bei plötzlicher Unterbrechung des Wasserlaufes oder bei bedeutenden Verzögerungen werden in den Rohrleitungen Wasserschläge von gewaltiger Größe entstehen, die zum Bruch der Rohrleitung führen können, jedenfalls aber Beschleunigungen der Turbinenlaufräder veranlassen und daher in empfindlichster Weise auf die Regulierung zurückwirken können. Diese Massenwirkungen für den regelmäßigen Gang der Turbinen unschädlich zu machen, war daher von jeher das Bestreben der Turbinenkonstruktoren.

Im Anfange ist man diesen Stosswirkungen in ähnlicher Weise begegnet wie in den Druckrohrleitungen bei Pumpen u. dergl. Man hat Steigrohre und Windkessel¹⁾ von bedeutender Größe in die Rohrleitungen eingebaut und damit gute Erfolge erzielt, sich jedenfalls damit helfen können, wenn die Turbinenanlagen schon fertiggestellt waren und die Wasserschläge sich erst nachher empfindlich geltend gemacht haben.

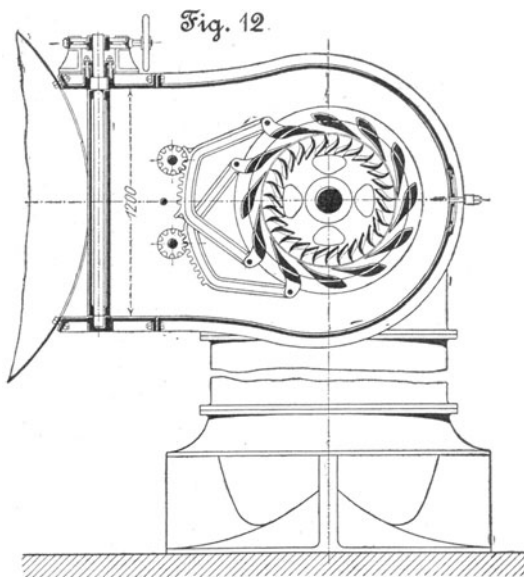
Neuerdings versucht man, diesen Massenwirkungen unmittelbar an den Turbinen selbst zu begegnen. Die Regulirvorrichtungen daran sind so eingerichtet, dass man bei veränderlicher Wasserzufuhr nicht die Wassergeschwindigkeit in der Rohrleitung ändert, sondern das nicht gebrauchte Aufschlagwasser an der Turbine vorbeiströmen lässt. In diesem Falle ist also der Wasserverbrauch bei jeder Leistung der Turbine und damit die Wassergeschwindigkeit in der Rohrleitung unveränderlich, Stöße sind völlig vermieden, aber auf Kosten der Aufschlagwassermenge. Wo nun das Druckwasser in gleichmäßiger Menge vorhanden ist, die bei Nichtverwendung nicht aufgespeichert oder etwa andern Turbinen zugeführt werden kann, ist solche Regulierung vollständig am Platze; wo man aber mit der vorhandenen Aufschlagwassermenge sparsam umgehen muss, macht sich das Bedürfnis geltend, das nicht verbrauchte Wasser zu gewinnen, und dies hat zu den neuesten Konstruktionen geführt, bei denen man zwar auch das überflüssige Wasser unmittelbar nach Einwirkung der Regulierung durch Nebenausflüsse an

¹⁾ A. Stodola: Ueber die Regulierung der Turbinen, Schweiz. Bauzeitung 1898.



Drammens Jernstoberi & mekaniske Vaerksted. 1:75

der Turbine vorbeilaufen lässt, aber nur auf kurze Zeit. Durch besondere sehr sinnreiche Konstruktionen werden diese Nebenausflüsse wieder langsam — meist durch Kataraktwirkung — geschlossen und so das Wasser in der Rohrleitung entsprechend ohne bemerkbare Stöße verzögert.



Qvist & Gjers, Arboja. 1 : 40.

Durch diese besondere Einrichtung werden aber natürlich die Turbinenkonstruktionen abermals verwickelter gemacht, sodass der eigentliche Motor schliesslich von einer ganzen Reihe von Beiwerk umgeben und verdeckt wird.

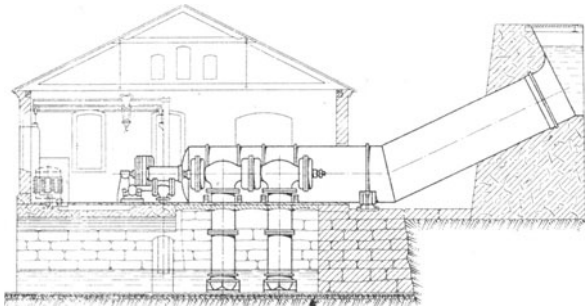
Besonders in der Schweiz haben sich beim Betriebe elektrischer Bergbahnen alle diese Schwierigkeiten in voller Höhe gezeigt und sind durch die erwähnten Konstruktionen in oft überraschender Weise gelöst worden.

Ueber die ausgestellten Turbinen soll in derselben Reihenfolge und Ausführlichkeit Mitteilung gemacht werden, in welcher dem Berichtersteller das Material von den einzelnen Firmen zugegangen ist.

**Drammens Jernstøberi & mekaniske Værksted
(Norwegen)**

hat eine Partialturbine mit innerer radialer Beaufschlagung,

Fig. 13.



Qvist & Gjers, Arboja. 1 : 333,3.

wagerechter Achse und selbstthätiger Regulierung ausgestellt, Fig. 2 bis 7. Die Turbine ist für ein Gesamtgefälle von 106 m bei 0,142 cbm grösster Wassermenge gebaut und macht bei 750 mm innerem und 1050 mm äusserem Laufraddurchmesser 515 Min.-Umdr. Das Laufrad ist fliegend auf die Welle gesetzt und ihm gegenüber zentrisch gelagert der vom Servomotor bediente Regulierschieber angeordnet.

Bestimmt ist die Turbine für die Norwegische Schamottfabrik in Flekke-Fjord, Fig. 8 und 9. Das Stauwehr liegt rd. 400 m vom Turbinenhaus entfernt. Die Rohrleitungen sind aus Schmiedeeisenblech mit 500 mm l. W. ausgeführt und in der Werkstätte zu Längen von 6 m zusammengenietet. Zwei Expansionsmuffen sind ausserhalb und eine von besonderer Konstruktion innerhalb im Turbinenhaus angebracht, letztere, um die Demontirung der Turbinen zu ermöglichen, ohne dass die lange Rohrleitung zuvor entleert werden müsste. In der Nähe des Turbinenhauses ist der Rohrstrang durch

kräftige Verankerungen festgehalten, sodass die Längenänderungen bei wechselnder Temperatur in den oberhalb angebrachten beiden Expansionsmuffen aufgenommen werden. Um die Drucksteigerung im Rohr bei plötzlicher Absperrung des Zufusses auszugleichen, ist im Turbinenhaus ein Sicherheitsventil angeordnet. Mittels elastischer Lederkupplung ist die Turbine unmittelbar mit einer Dynamomaschine gekuppelt. Die an der Turbinenwelle befestigte Hälfte der Kupplung besitzt eine solche Form, dass der Abstand zwischen den beiden Wellenenden rd. 200 mm beträgt. Ausserdem ist die Nabe zweiteilig, damit man bei Entfernung der Kupplung die Welle mit Schwungrad und Lager in achsialer Richtung verschieben und das Turbinenlaufrad herausnehmen kann.

Das Schwungrad wiegt 2500 kg und hat 2 m Dmr. Die Verbindung zwischen Nabe und Kranz ist der hohen Umfangsgeschwindigkeit wegen durch zwei schwach konische volle Blechböden von 10 mm Stärke und durch kräftige Verriegelung hergestellt.

Die Umlaufzahl soll bei allmählicher Steigerung und Verminderung der Beaufschlagung um höchstens 2 vH schwanken, bei plötzlicher vollständiger Ausschaltung der Kraft um rd. 10 vH.

Der Servomotor, Fig. 2 und 3, arbeitet mit Druckwasser aus der Turbinenzuleitung, das durch ein Filter von dichtem Wollstoff auf eingelegtem Messingdrahtgeflecht gereinigt wird.

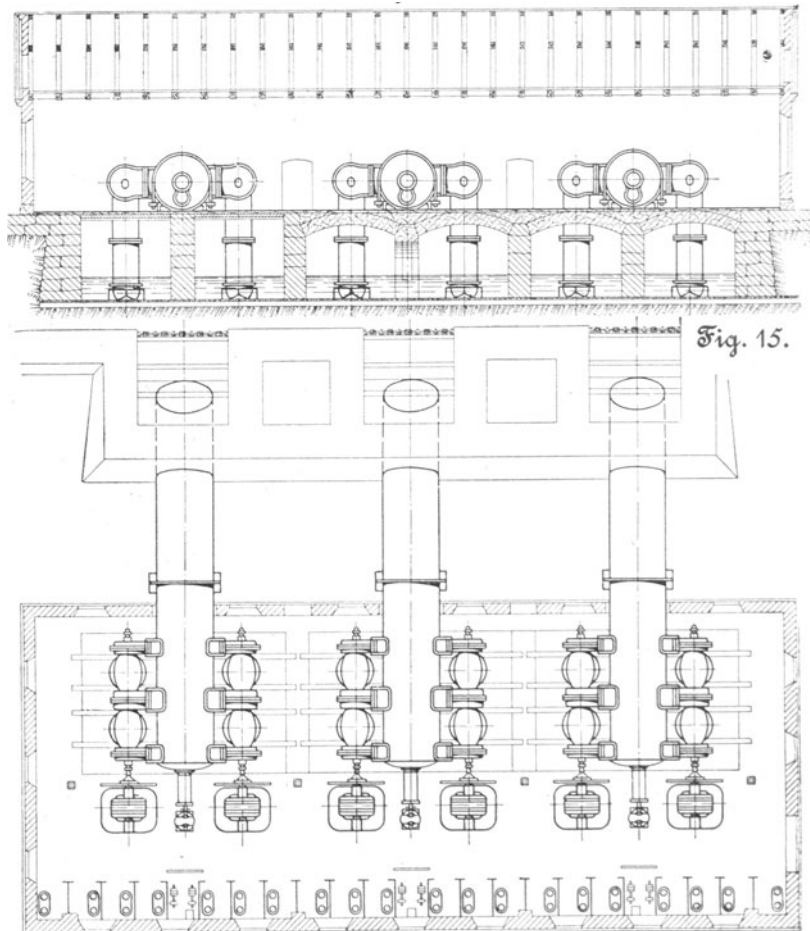
Von

**Qvist & Gjers Konstruktionsbyrå in Arboga
(Schweden)**

ist eine vierfache Vollturbine in geschlossenem Gehäuse mit Saugrohr, äusserer radialer Beaufschlagung und wagerechter Achse zur Ausstellung gebracht, s. Fig. 10 bis 12. Sie ist gebaut für eine Leistung von 300 PS bei einem effektiven Gefälle von 10 m und hat 700 mm äusseren Laufraddurchmesser und 240 mm Radbreite; die Umdrehungszahl beträgt 250 pro min.

Das Leitrad besteht aus zwei konzentrischen Ringen mit verdickten Schaufeln. Der äussere Ring trägt ein Zahnseg-

Fig. 14.



ment und kann mittels eingreifenden Rädchens verdreht werden, Fig. 12. Jeder Leitapparat ist einzeln verstellbar.

Die ausgestellte Turbine ist bestimmt für das von der Trångfors Kraftaktiebolag errichtete Elektrizitätswerk an den Trångfällan des Kolbäckflusses in Vestmanland, welches die

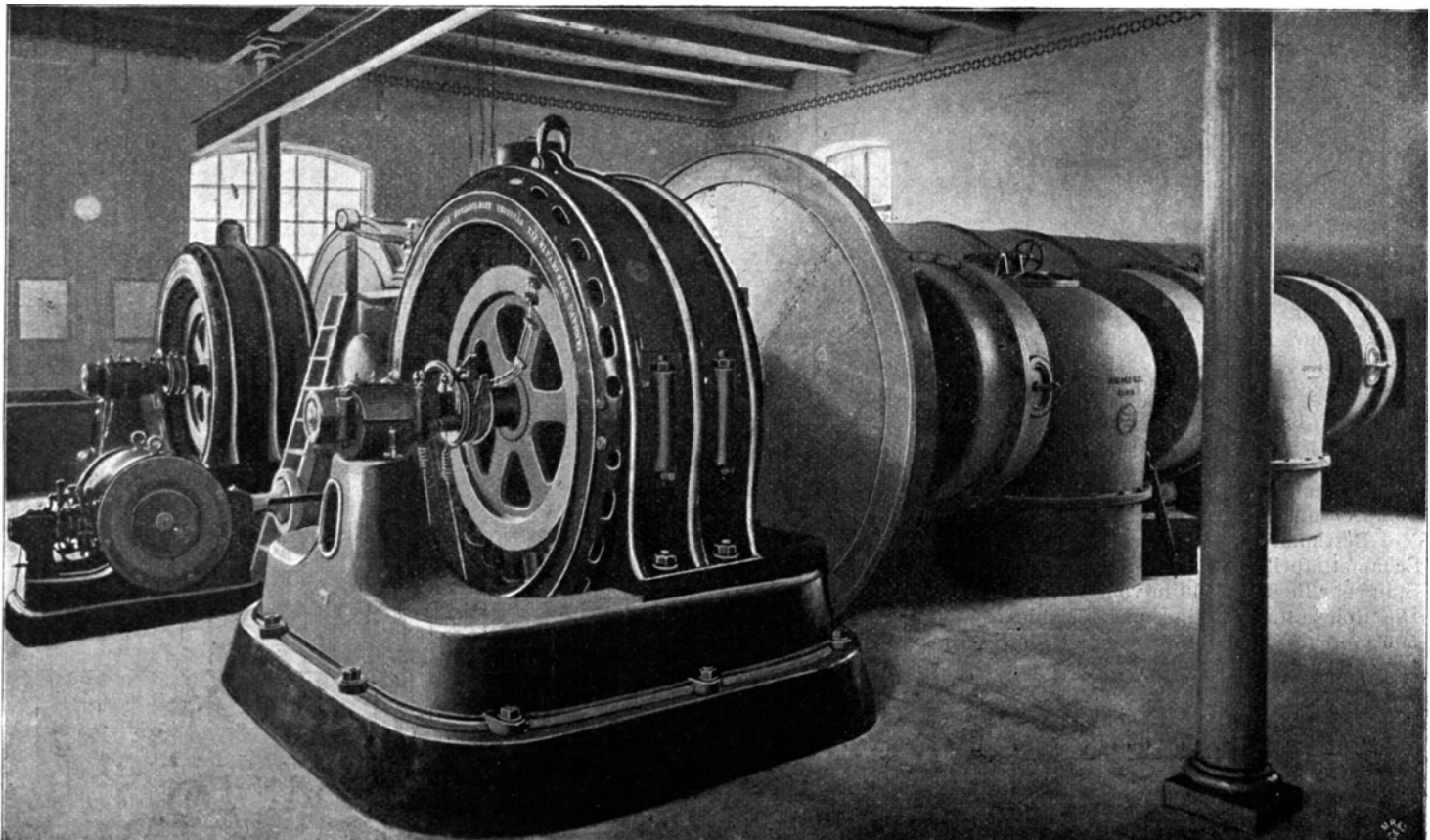
Stadt Vesterås mit elektrischer Energie zu versorgen hat und in Fig. 13 bis 17 dargestellt ist. Das Wasser wird dem Kraft Hause durch einen 340 m langen Oberwasserkanal von 7 m Breite und 2,5 m Tiefe mit ansteigenden Seitenwänden und 26,415 qm Querschnitt zugeführt.

Qvist & Gjers, Arboga.

Fig. 16.



Fig. 17.



Je zwei Turbinen der ausgestellten Konstruktion sind an ein gemeinsames Druckrohr von 2,5 m Dmr. angeschlossen. Die Zuleitung zu jeder einzelnen Turbine ist mit Drosselklappe absperrbar, während der Rohreinlauf mit Schützen versehen ist. Vier Turbinen sind bereits im Betrieb, zwei sollen noch aufgestellt werden.

Jede Turbine ist gekuppelt mit einem Dreiphasen-Generator, Bauart Wenström (Allm. Sv. Elektr. Aktiebolaget), mit 50 Phasenwechseln pro min und 800 V Spannung. Der elektrische Strom wird von allen Generatoren einer gemeinsamen Schalttafel und von dort 18 einphasigen Transformatoren zugeführt, durch welche die Spannung auf 14000 V hinaufgesetzt wird.

Die Fernleitungen nach der 22 km entfernten Stadt Vesterås bestehen aus 3 Kupferdrähten von 6,75 mm Dmr. An der Stadtgrenze wird die Spannung durch gleiche Transformatoren wie in dem Kraftthause wieder entsprechend herabgesetzt und der elektrische Strom zum größten Teil für Kraftzwecke verwendet.

Die Erregermaschinen werden von kleinen Doppeltur-

binen angetrieben, die wie die großen gebaut sind und das Aufschlagwasser vom Stirnende jeder Rohrleitung abgezweigt erhalten. Die Turbinenräder haben 300 mm Laufraddurchmesser, 90 mm lichte Breite und leisten bei 560 Min.-Umdr. 25 PS.

Die Turbinen haben bei Bremsversuchen mit dem Dynamometer und Messung der Wassermenge unmittelbar im Behälter einen Wirkungsgrad von 0,80 bei voller Beaufschlagung, von 0,74 bei $\frac{2}{3}$ und von 0,60 bei $\frac{1}{2}$ Beaufschlagung ergeben.

Ganz & Co., Maschinenfabrik A.-G. in Budapest

haben die Ausstellung mit einer radial von aussen beaufschlagten Vollturbine in Spiralgehäuse von 1000 PS mit wagerechter Achse und selbstthätiger Regulierung beschickt, die in dem Elektrizitätswerk für die Karbidfabrik der Bosnischen Elektrizitäts-A.-G. in Jajce Verwendung finden soll.

Außerdem ist eine kleine Partialturbine mit wagerechter Achse zu sehen, wie sie auch 1896 in Budapest ausgestellt war und in Z. 1897 S. 966 und 967, Fig. 13 bis 16, beschrieben worden ist.

Die Anlage in Jajce¹⁾ bietet allgemeines Interesse und kann in ihrer Gesamtheit gebracht werden, da alle Unterlagen hierzu von Ganz & Co. bereitwilligst zur Verfügung gestellt worden sind.

Die Pliva, ein wilder Bergstrom, dessen Niederschlagsgebiet rd. 750 qkm umfasst, bildet unterhalb der Ortschaft Jezero den großen Jezero-See, Fig. 18, 19; aus diesem fällt der Fluss in den kleinen Jezero-See und eilt, noch zahlreiche kleinere Katarakte bildend, in raschem Laufe dem Vrba-Flusse zu, in den er sich von einer 25 m hohen Felswand hinabstürzt. Das Gefälle vom Spiegel des oberen Sees bis zum Vrba beträgt rd. 80 m. Die Wassermenge, welche die Pliva dem Vrba-Fluss zuführt, sinkt bei trockenster Jahreszeit nicht unter 14 cbm und steigt bei Hochwasser bis zu 300 cbm/sek.

Im Jahre 1896 begann die Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co. mit den Vorarbeiten zur Errichtung

¹⁾ Vergl. Z. 1900 S. 157, 421.

Fig. 20.

Ganz & Co., Budapest.

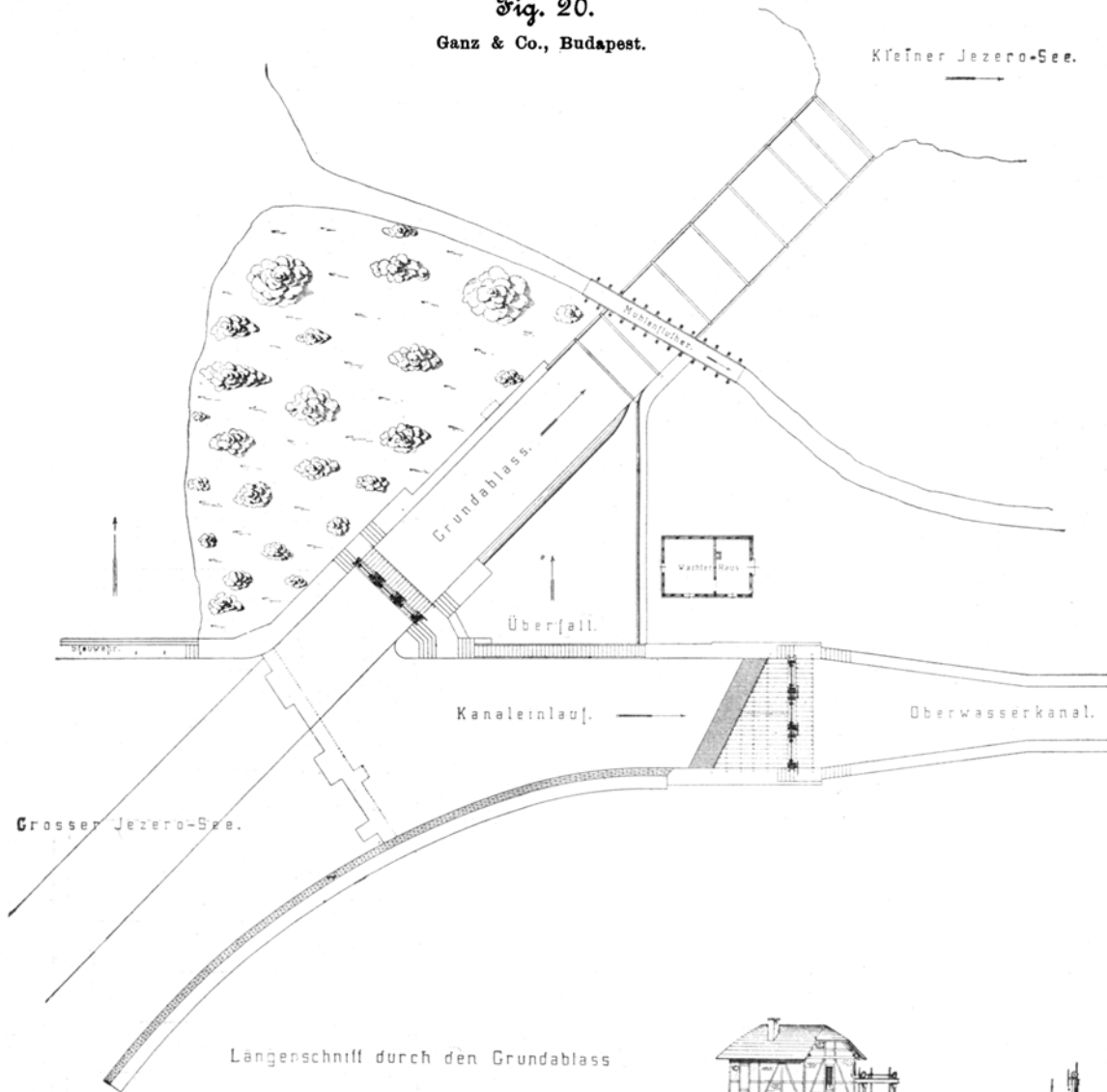


Fig. 21.

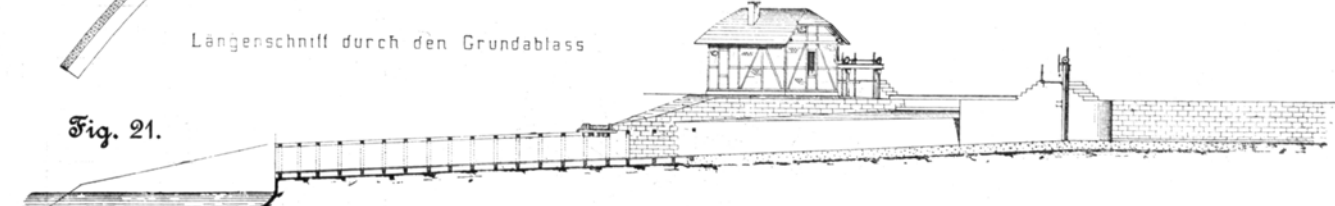
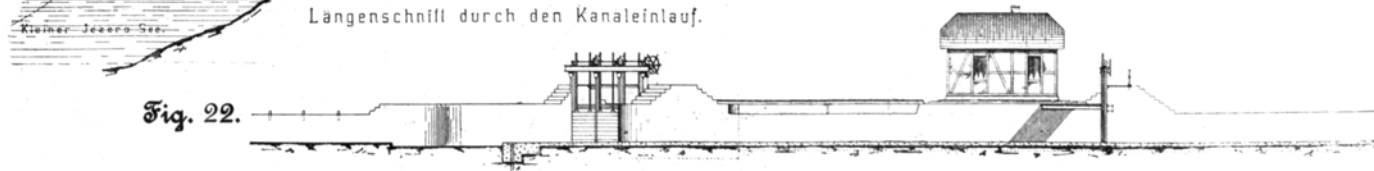


Fig. 22.



Ganz & Co., Budapest.

Fig. 18.
1 : 4500.

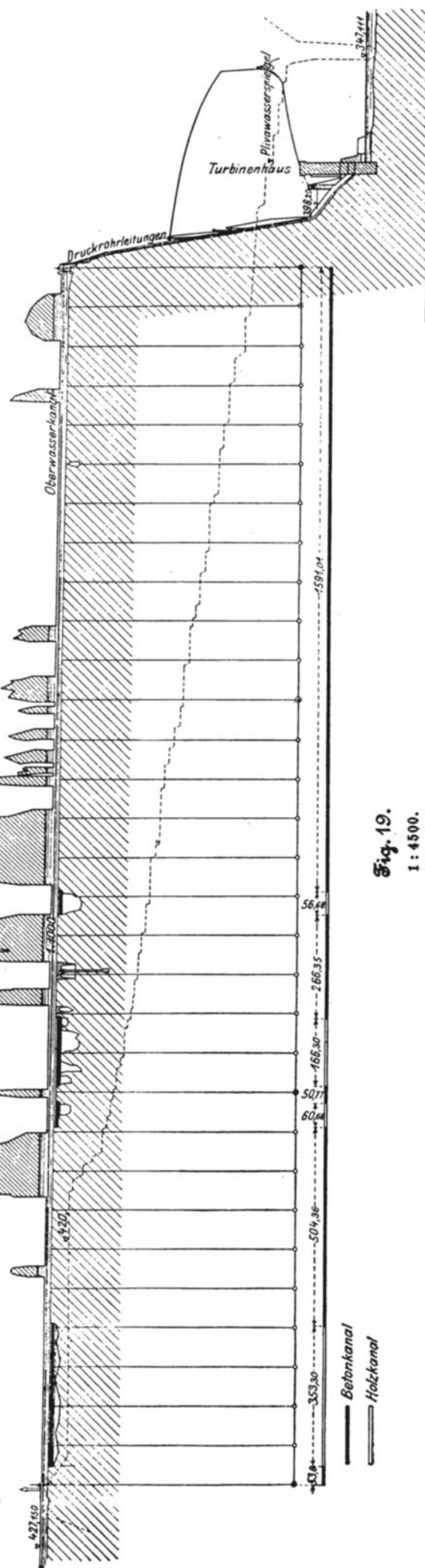
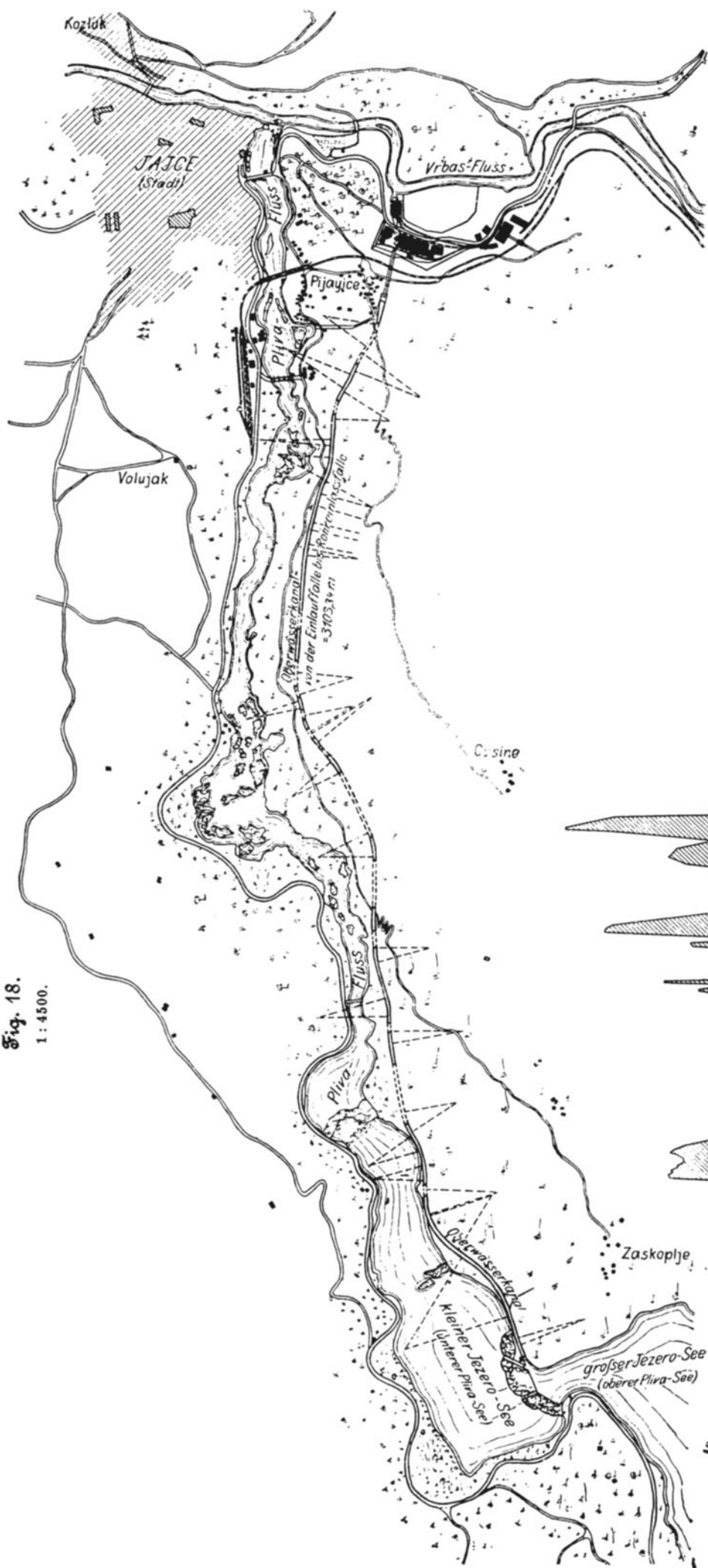


Fig. 19.
1 : 4500.

Ganz & Co., Budapest.

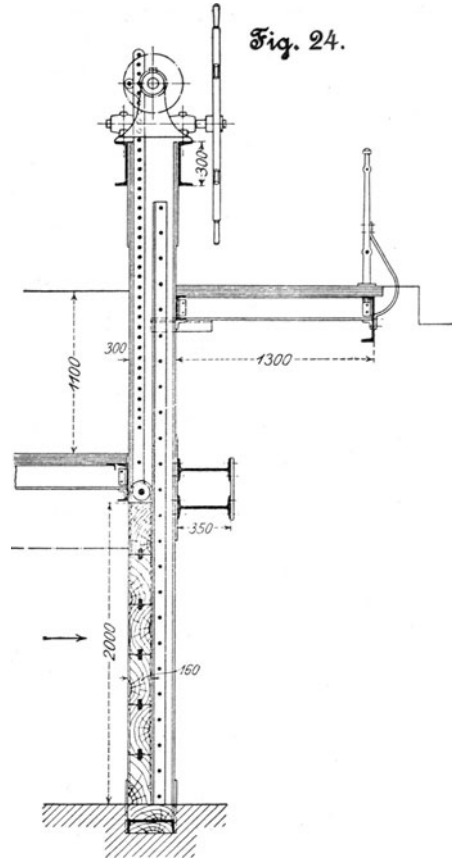
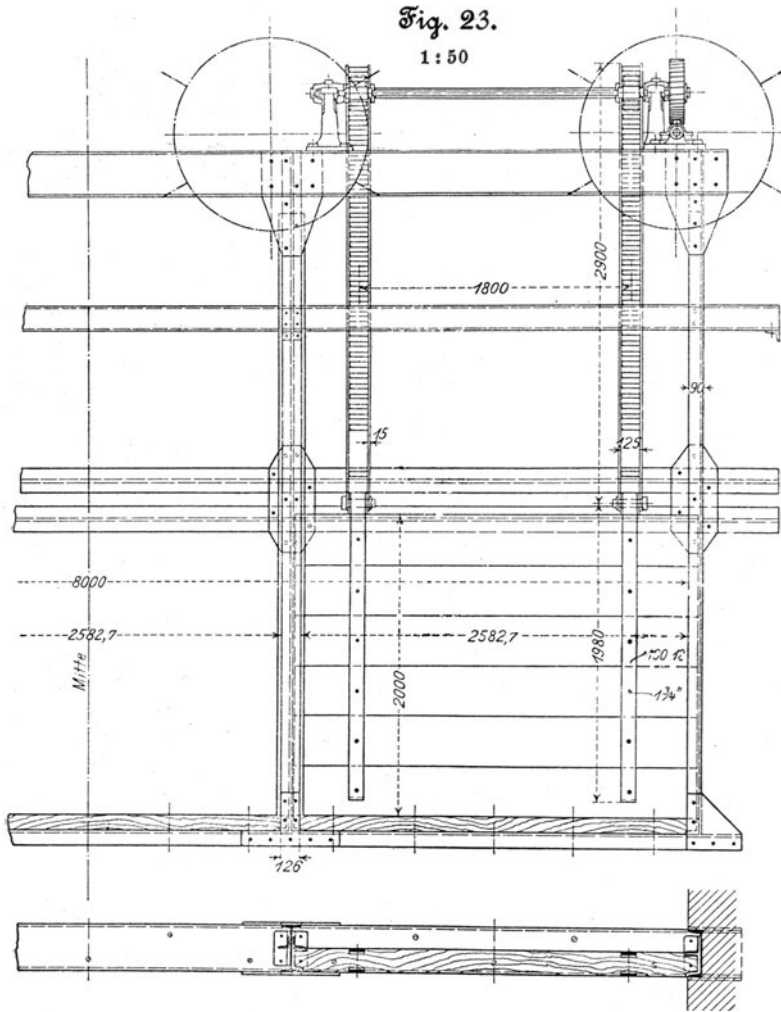


Fig. 25.

Fig. 26.

Fig. 27.

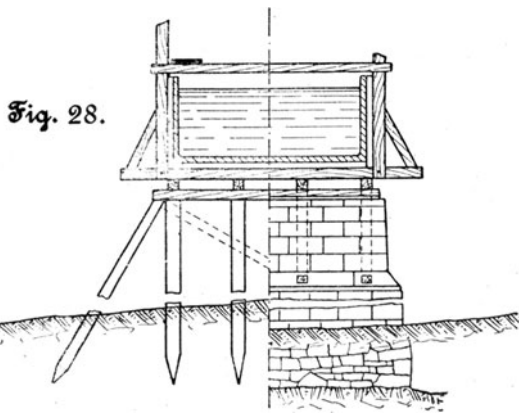
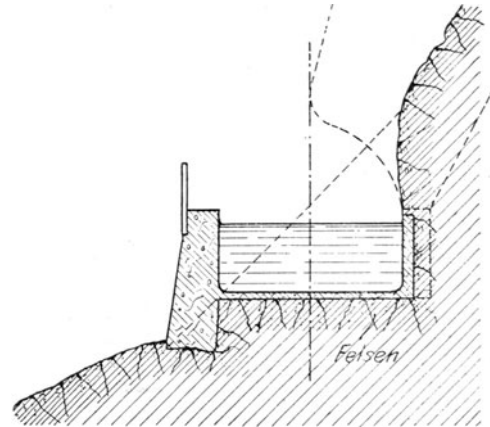
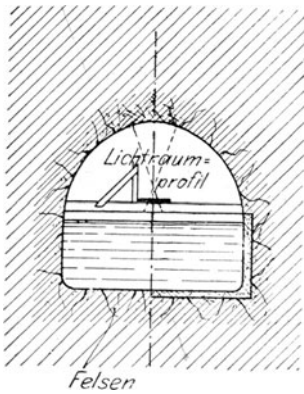
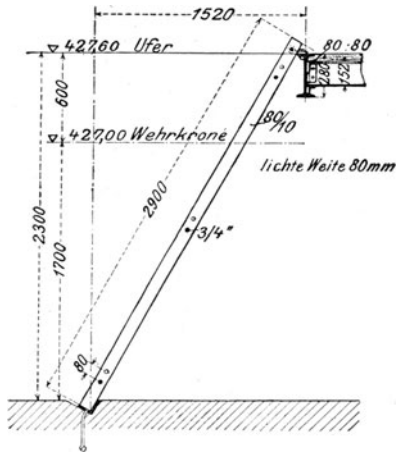
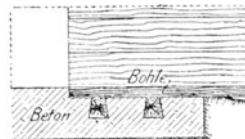
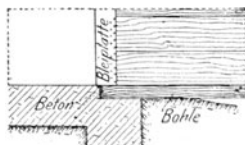


Fig. 29.

Fig. 30.



einer Wasserkraftanlage daselbst. Anfangs war beabsichtigt, das Wasser dem großen See an der Stelle, wo seine Entfernung vom Vrbas-Flusse am kürzesten ist, zu entnehmen und in einem Kanal der am Ufer des Vrbas liegenden Kraftstation zu-

zuführen. Aus wirtschaftlichen Rücksichten wurde später von diesem Plan abgesehen, man nahm vielmehr in Aussicht, vom Ausfluss des oberen Sees das Wasser in einem 3100 m langen Kanal nach einer oberhalb der Ortschaft Piavize anzulegenden Wasserkammer zu leiten und von dort in zwei Rohrleitungen dem Maschinenhause zuzuführen. Am 1. November 1897 wurde mit dem Bau der Anlage durch

Ganz & Co., Budapest.

Fig. 31.



Fig. 32.

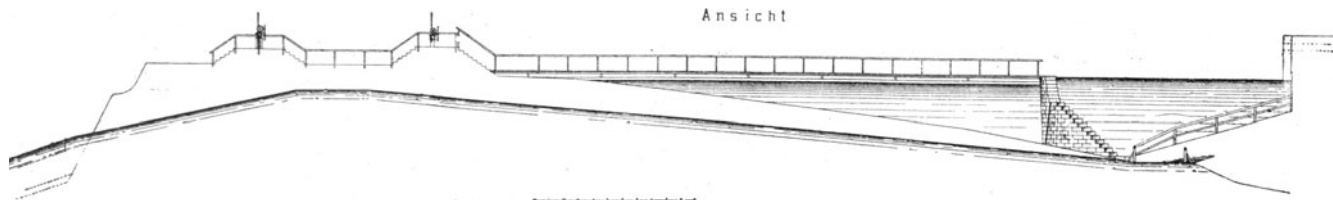


Fig. 33.

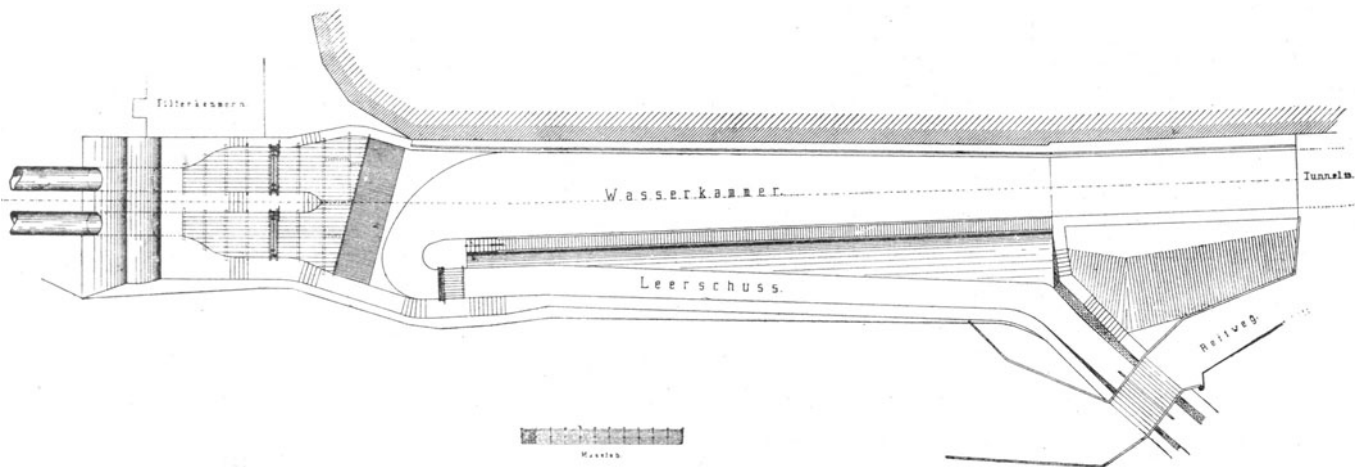


Fig. 34. 1:50

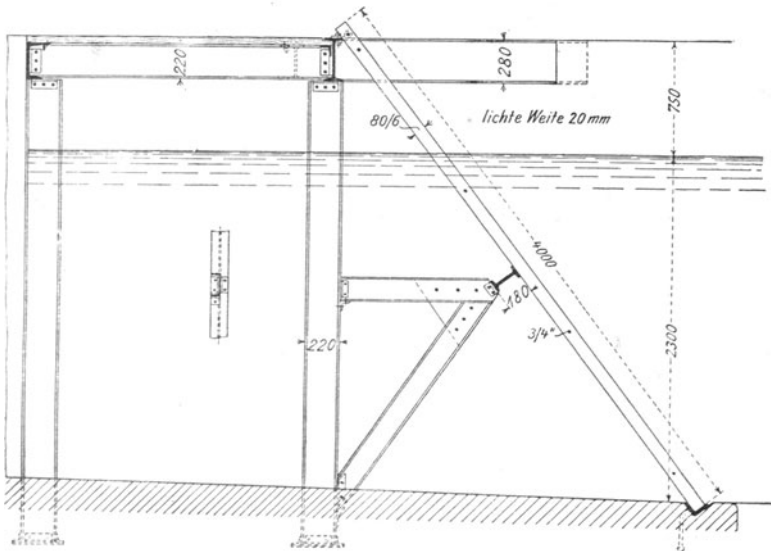


Fig. 36.

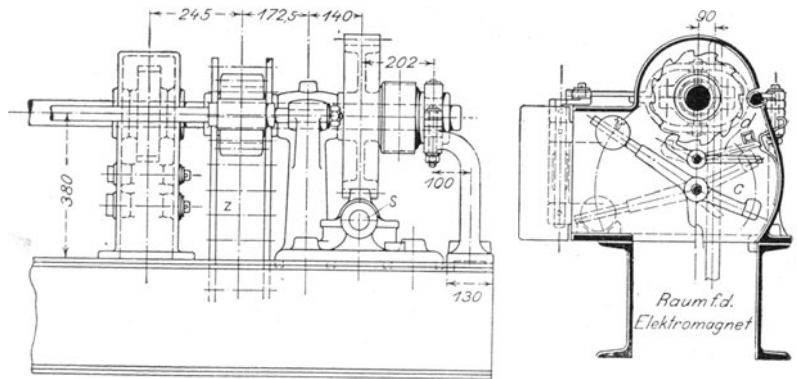
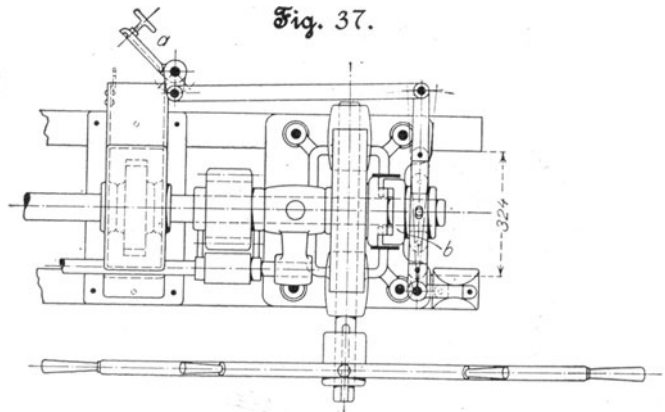


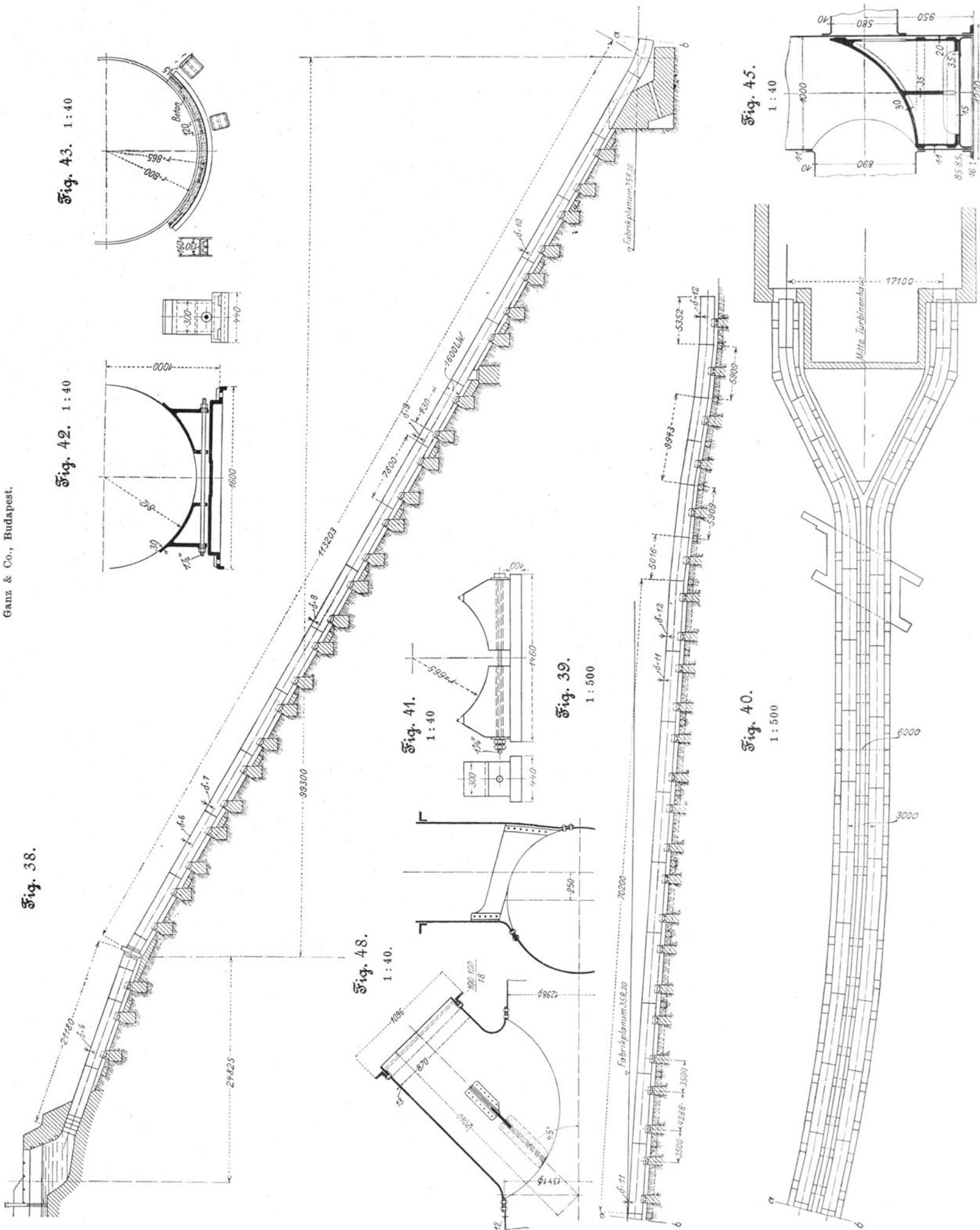
Fig. 37.



die Firma Schuckert & Co. im Verein mit der Bosnischen Elektrizitäts-A. G. begonnen, am 25. März 1899 konnte der Betrieb aufgenommen werden.

Bei gesenktem Seespiegel ist am oberen See ein aus Portlandzement erbautes Stauwehr angelegt worden, Fig. 20 bis 22, durch das bei niedrigst vorkommendem Wasserstande ein Vorrat von rd. 430 000 cbm Wasser aufgespeichert werden kann. Eine vorgesehene Erhöhung der Wehrkrone ermöglicht unter Umständen eine weitere Erhöhung des Seespiegels. Im Wehr sind zwei durch Schützen, Fig. 23, 24, schließbare Ab-

Ganz & Co., Budapest.



lässe angebracht. Der eine ist als Grundablass ausgeführt und bestimmt, etwa sich ansammelnden Kies oder Schlamm dem Untersee zuzuführen, der andere bildet den Einlauf für den Oberwasserkanal des Werkes. Vor dem letzteren ist ein Sand- oder Kiesfang angeordnet, welcher im Grundablass mündet. Hinter dem Sandfange befindet sich ein grober Rechen, Fig. 25, um Treibholz und dergl. vom Kanal fernzuhalten. Außerdem sind in der Wehrkrone noch zwei Mulden ohne Regulirvorrichtung angebracht, die dazu dienen,

trägt 3103,34 m, wovon 946,72 m auf Tunnel entfallen. Der wasserführende Querschnitt hat 4 m Breite und 1,5 m Höhe bei 1:1000 Gefälle.

Abgeschlossen wird der Kanal durch eine Wasserkammer, Fig. 31 bis 33, von der zwei Druckrohrleitungen ausgehen. Vor beiden ist ein gemeinsamer feiner Rechen angeordnet, Fig. 34. Ueberschüssiges Wasser gelangt von der Wasserkammer vermittle eines Ueberfalles in den mit einem Schützen abschließbaren Leerschuss. Die Einlassschützen zu

den Rohrleitungen sind so eingerichtet, dass sie durch eine elektromagnetische Vorrichtung vom Schaltbrett des Maschinenhauses abgeschlossen werden können, Fig. 35 bis 37. Ist die Thür *a* geöffnet, so ist die Kupplung *b* eingerückt, die Zahnstange also mit der Schnecke *s* verbunden und gesperrt. Ehe der Wärter die Schützen verlässt, hat er das Hebelwerk *c* in die ausgezogene Lage zu stellen und die Thür *a* zu schließen. Die Kupplung *b* ist dann ausgerückt, und die Zahnstange *z* hängt bloß an der Sperrklinke *d*, welche durch einen Elektromagnet ausgeklinkt und in die punktirtre Lage gebracht werden kann. Der Wärter kann die Schützen nur dann mit dem Handrade bewegen, wenn er

Ganz & Co., Budapest.

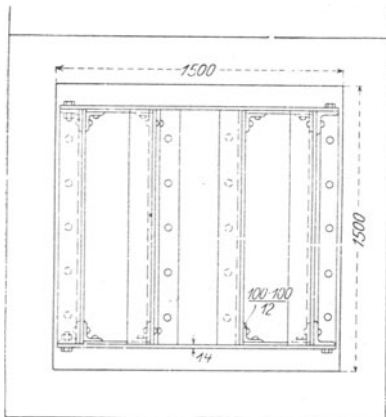
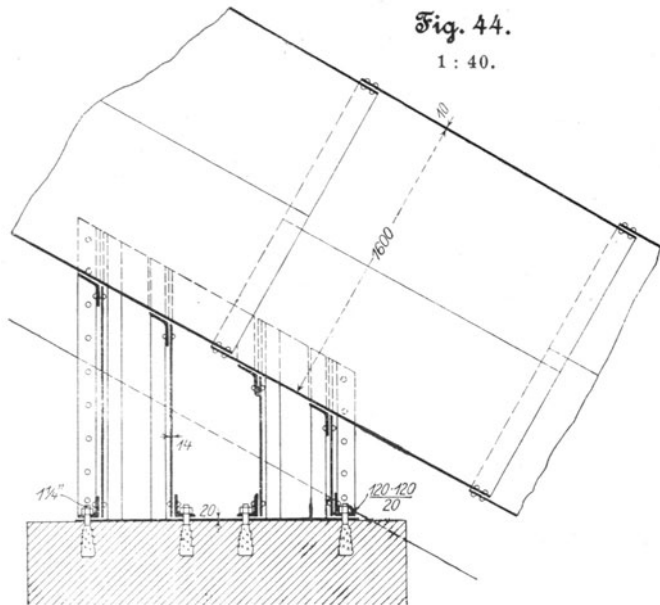


Fig. 46. 1:40

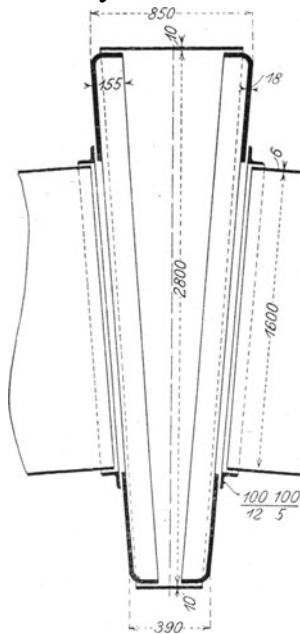
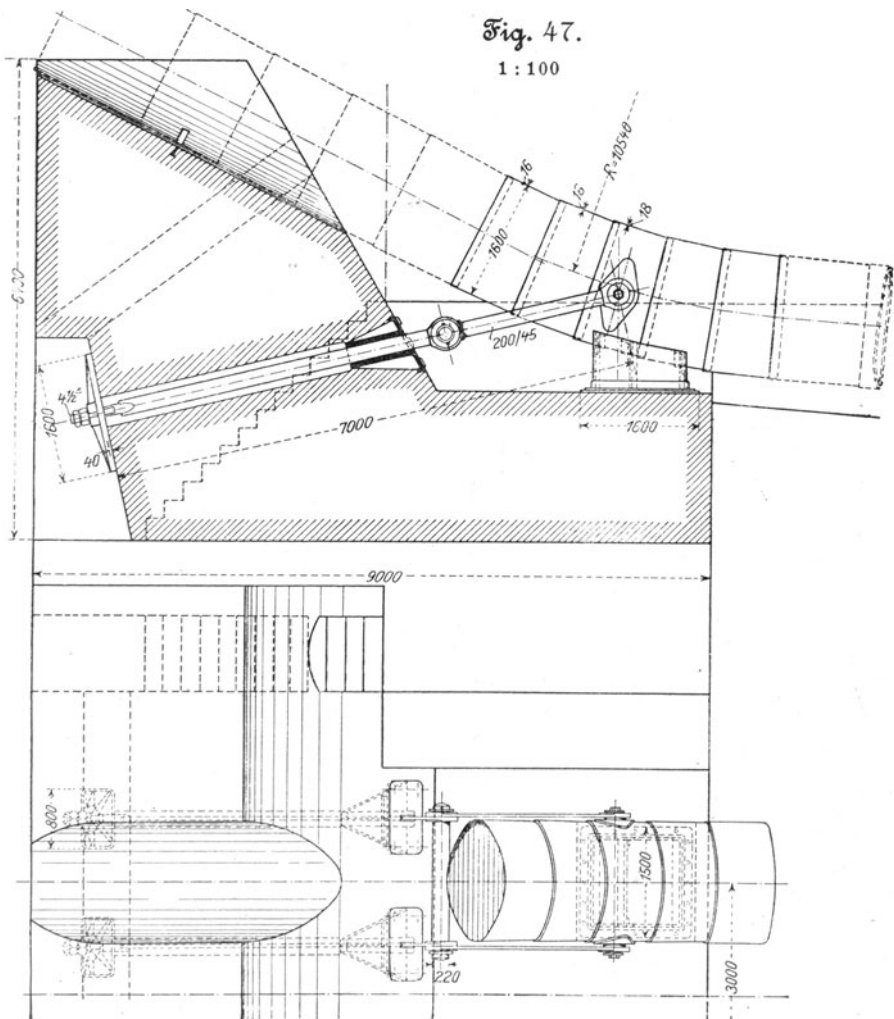


Fig. 47.

1:100



den unterhalb des Kanales gelegenen Mühlen das nötige Wasser zuzuführen. Alles Mauerwerk für Wehr und Kanaleinlauf ist aus Portlandzementbeton hergestellt.

Für die Verständigung des zur Beaufsichtigung der äußeren Anlage angestellten Wärters mit dem Kraftthause dient ein Telephon. Außerdem ist eine Einrichtung angebracht, welche plötzlich eintretendes Hochwasser selbstthätig zum Kraftthause meldet.

Der Oberwasserkanal folgt ziemlich genau der Pliva und ist teils als offenes Gerinne, teils als Tunnel ausgebildet, Fig. 26. Das Gerinne erhielt bei festem Untergrunde Mauern aus Beton, auf Rutschgelände und bei Ueberführungen wurden Holzkonstruktionen verwendet, Fig. 27, 28. Die Uebergänge vom Betonkanal zur Holzrinne zeigen Fig. 29, 30. Die Gesamtlänge des Kanales vom Einlaufschützen bis zur Wasserkammer be-

Ganz & Co, Budapest.

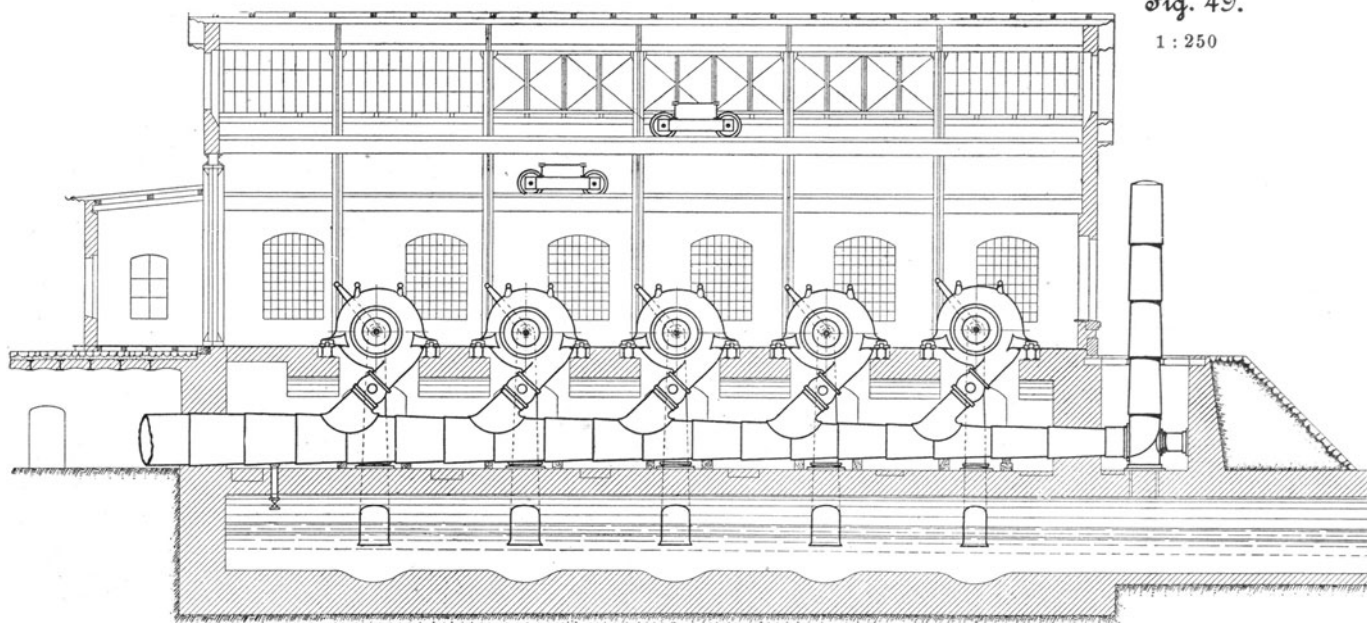
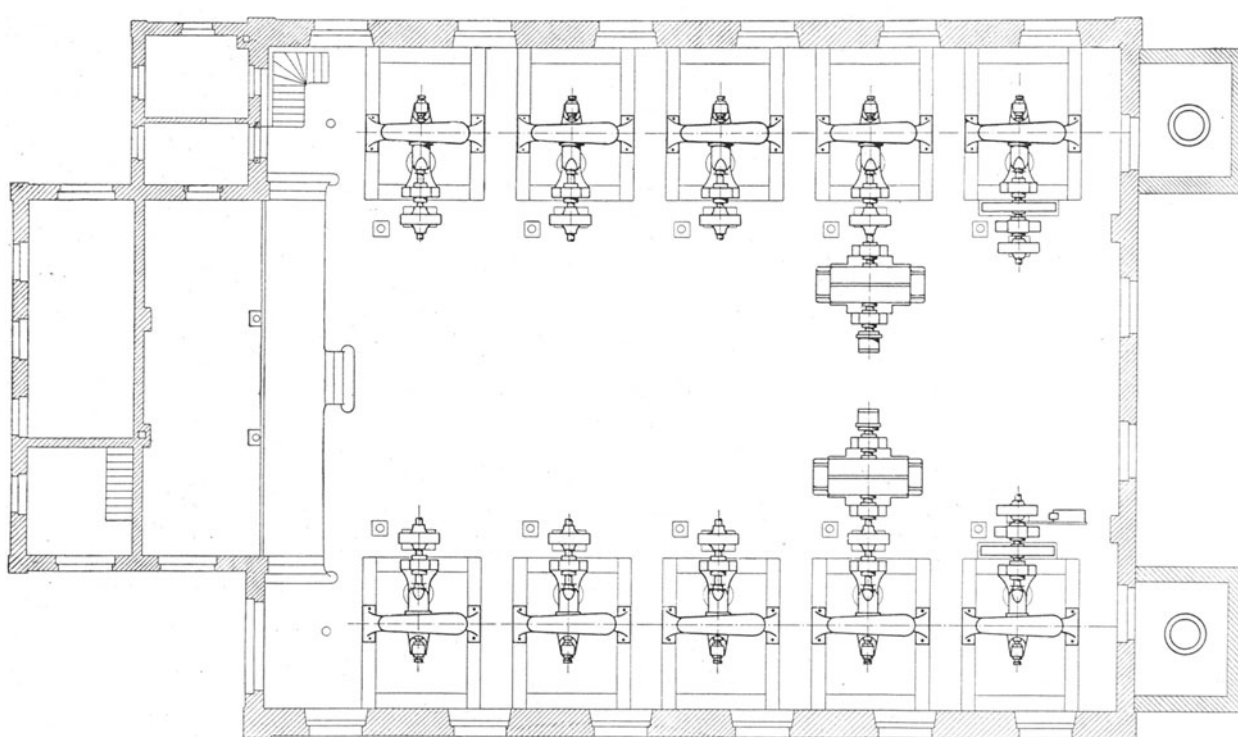
Fig. 49.
1:250

Fig. 50.



die Thür *a* öffnet, damit die Kupplung einrückt und den Hebel *c* ausklinkt.

Die in Fig. 38 bis 40 dargestellten Druckrohre sind aus Siemens-Martin-Blech in Rohrlängen von 7,8 m hergestellt und haben 6 bis 12 mm Wandstärke bei 1,6 m innerem Durchmesser. Ihre Zusammensetzung, Auflagerung, Ausgleichung, Verankerung und die Abzweigungen zu den Turbinen sind aus den Figuren 41 bis 48 zu ersehen. Um vorkommende Stöße aufzuheben, ist jede Rohrleitung durch einen Windkessel abgeschlossen, und außerdem sind Sicherheitsventile angebracht. Ein durch Handrad und Kegelräder betriebener Ablasschieber dient zur Entleerung jeder Rohrleitung. Um die Turbinen einzeln absperrn zu können, ist in jede Rohr-abzweigung eine Drosselklappe mit Ablaufrohr für Undichtheiten eingesetzt.

Im Turbinenhaus, Fig. 49 bis 52, sind 10 Turbinen aufgestellt, von denen je 5 von einer Rohrleitung gespeist werden. 8 Turbinen haben eine Leistung von je 1000 PS, 2 eine solche von 632 PS bei gleicher Umdrehungszahl von 300 i. d. Min. Die größeren Turbinen, Fig. 53, 54, sind für eine Wassermenge von 1,3 cbm/sek bei 74,5 m Gefälle gebaut. Die Laufräder haben 1150 mm äußeren Durchmesser, 75 mm lichte Breite und sind mit den 30 Schaufeln aus einem Stück gegossen. Da der Unterwasserspiegel bei Hochwasser bedeutend steigt, sind die Turbinen hochgelegt und mit Saugrohren ausgestattet. Die 24 Finschen drehbaren Leit-schaukeln werden durch eine Regulirvorrichtung verstellt, die besonderes Interesse verdient.

Jede der 1000 pferdigen Turbinen treibt mittels Band-

Ganz & Co., Budapest.

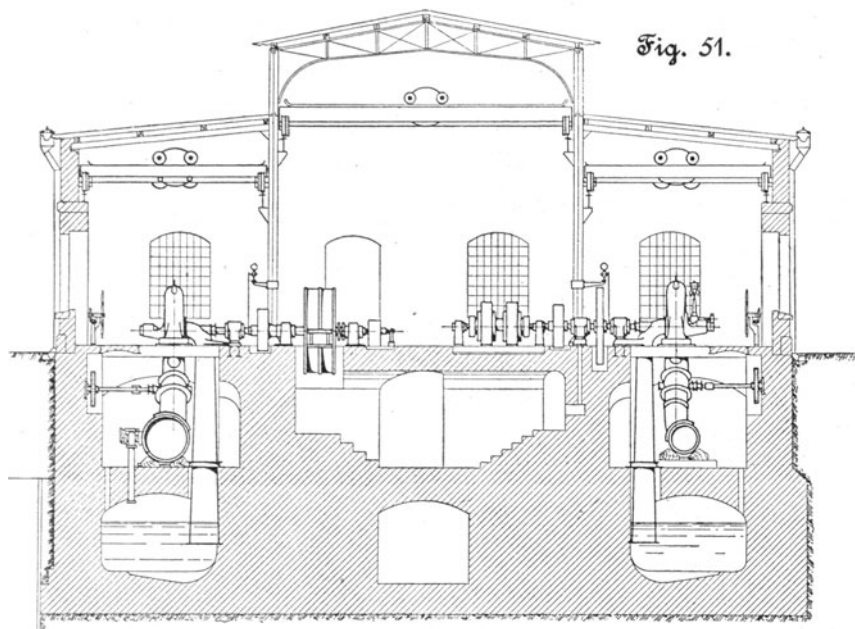
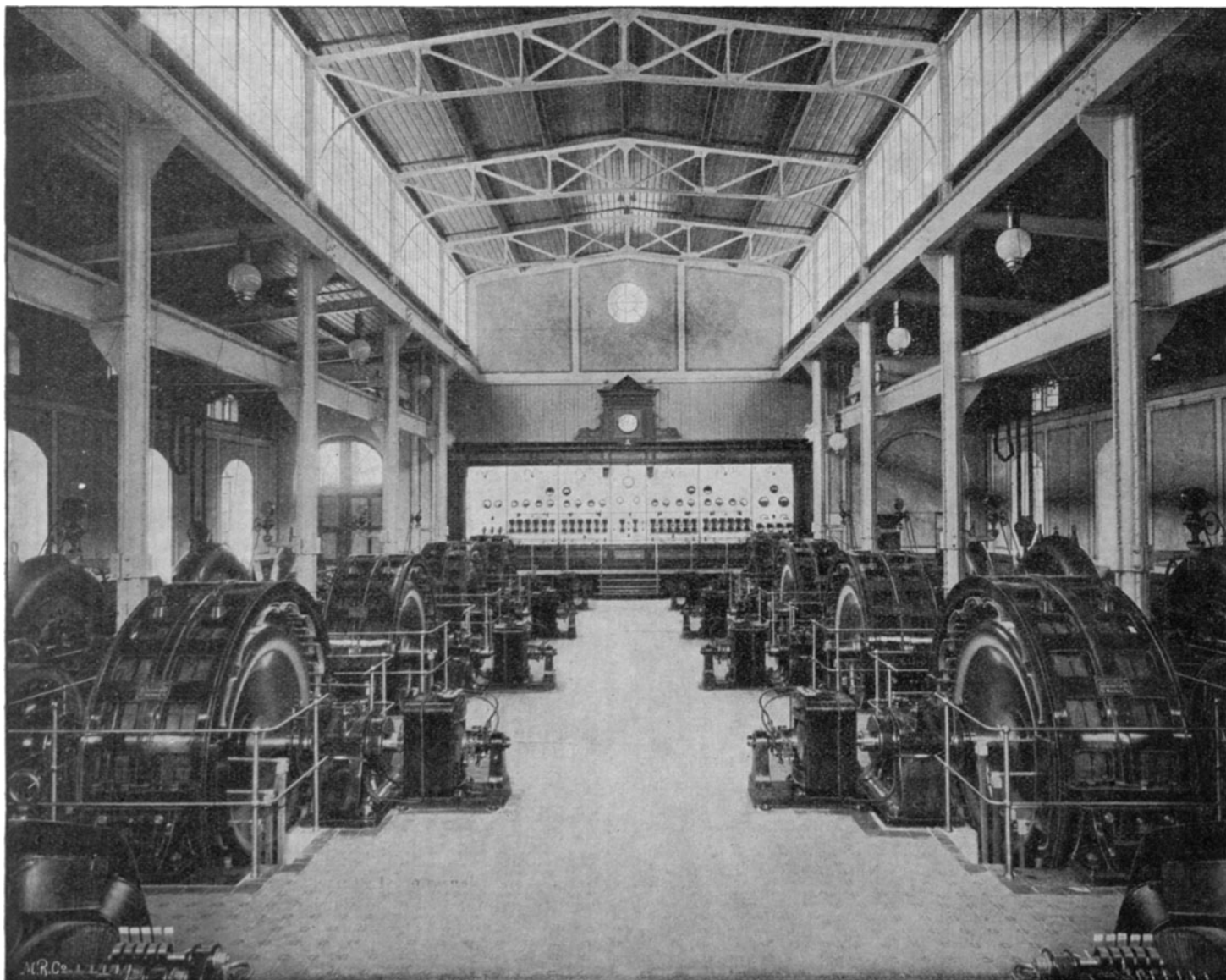
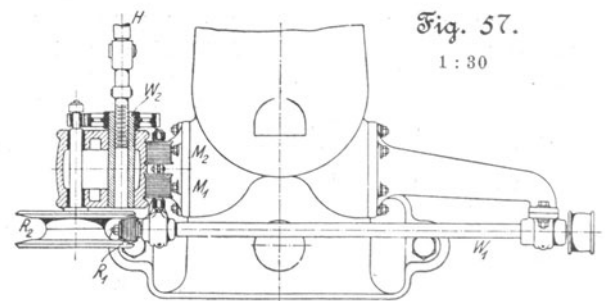
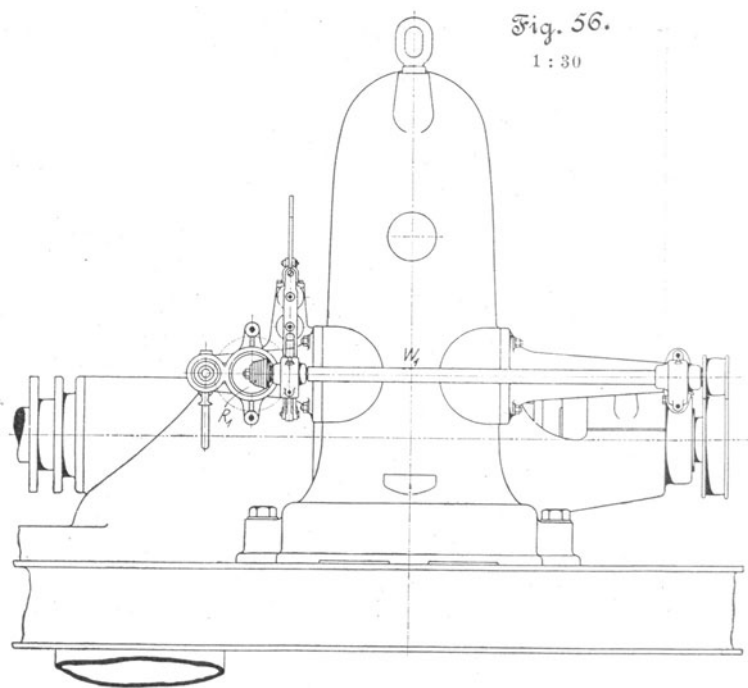
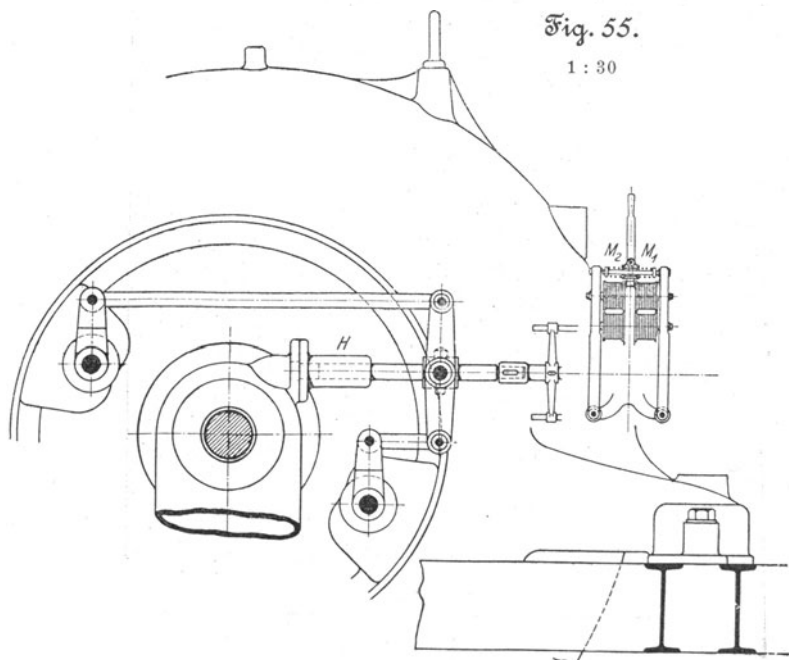
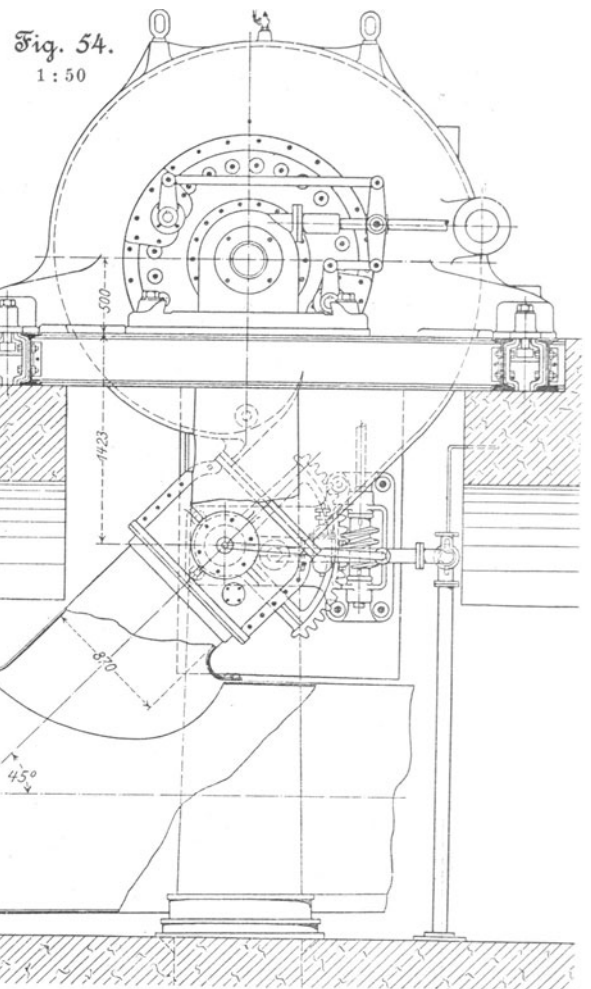
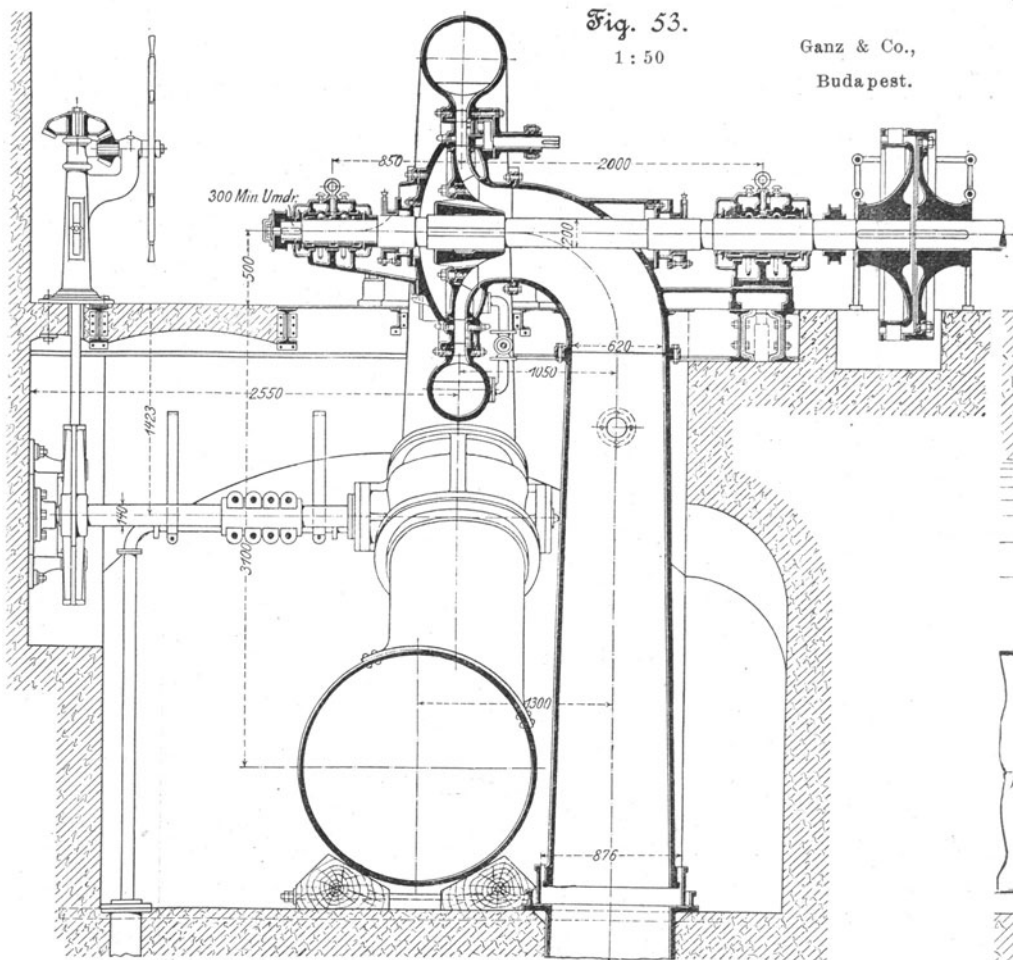


Fig. 51.

Fig. 52.





kupplung (Patent Zedel)¹⁾ eine Schuckertsche Drehstromdynamo an. Um beim Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen jede Maschine entsprechend ihrer Größe zur Stromlieferung heranzuziehen, ist es erforderlich, die zugeführte Arbeit zu regulieren. Mit einem selbstthätig wirkenden Zentrifugalregulator ist das nicht möglich, da diese Art der Regulierung eine veränderliche Geschwindigkeit voraussetzt, die Umdrehungszahl einer Maschine aber unveränderlich an die Umdrehungszahl der mit ihr parallel geschalteten Ma-

¹⁾ s. Z. 1897 S. 81.

schinen gebunden ist. Um daher eine Maschine, nachdem sie angelassen ist, belasten oder während des Betriebes die Belastung ändern zu können, ist ein Eingriff von der Hand des Maschinisten erforderlich. Bei Anwendung von Zentrifugalregulatoren kann dies durch Verstellung der Hülsenbelastung erfolgen. Statt dessen ist es bei größeren Turbinenanlagen zweckmäßig, auf die hier nicht mit der erforderlichen Genauigkeit wirkenden selbstthätigen Regulatoren überhaupt zu verzichten und die zentralisirte Regulierung anzuwenden, die am besten vom Schaltbrette aus erfolgt, weil hier alle Belastungsänderungen zuerst bekannt sind. Diese Art der Regulierung ist hier zur Anwendung gekommen,

stellen der Leitschaufeln dienende Hebelwerk H übertragen. Durch Erregung des zweiten Magneten wird eine Bewegung in umgekehrtem Sinne bewirkt. Auf der Welle W_2 sitzt noch eine Bremse, die ebenfalls elektromagnetisch in Thätigkeit versetzt wird.

Die beiden 632 pferdigen Turbinen sind von gleicher Konstruktion wie die beschriebenen. Die Laufräder sind für 0,82 cbm/sek Wasser gebaut, haben 1150 mm äußeren Durchmesser und 50 mm lichte Breite, bei 30 Schaufeln. Jede dieser Turbinen ist mit einer Gleichstrommaschine gekuppelt und mit einer selbstthätigen Regulierung mit hydraulischem Servomotor, Fig. 59, 60 und 61, versehen, welche die 24

Fig. 58.

Ganz & Co., Budapest.

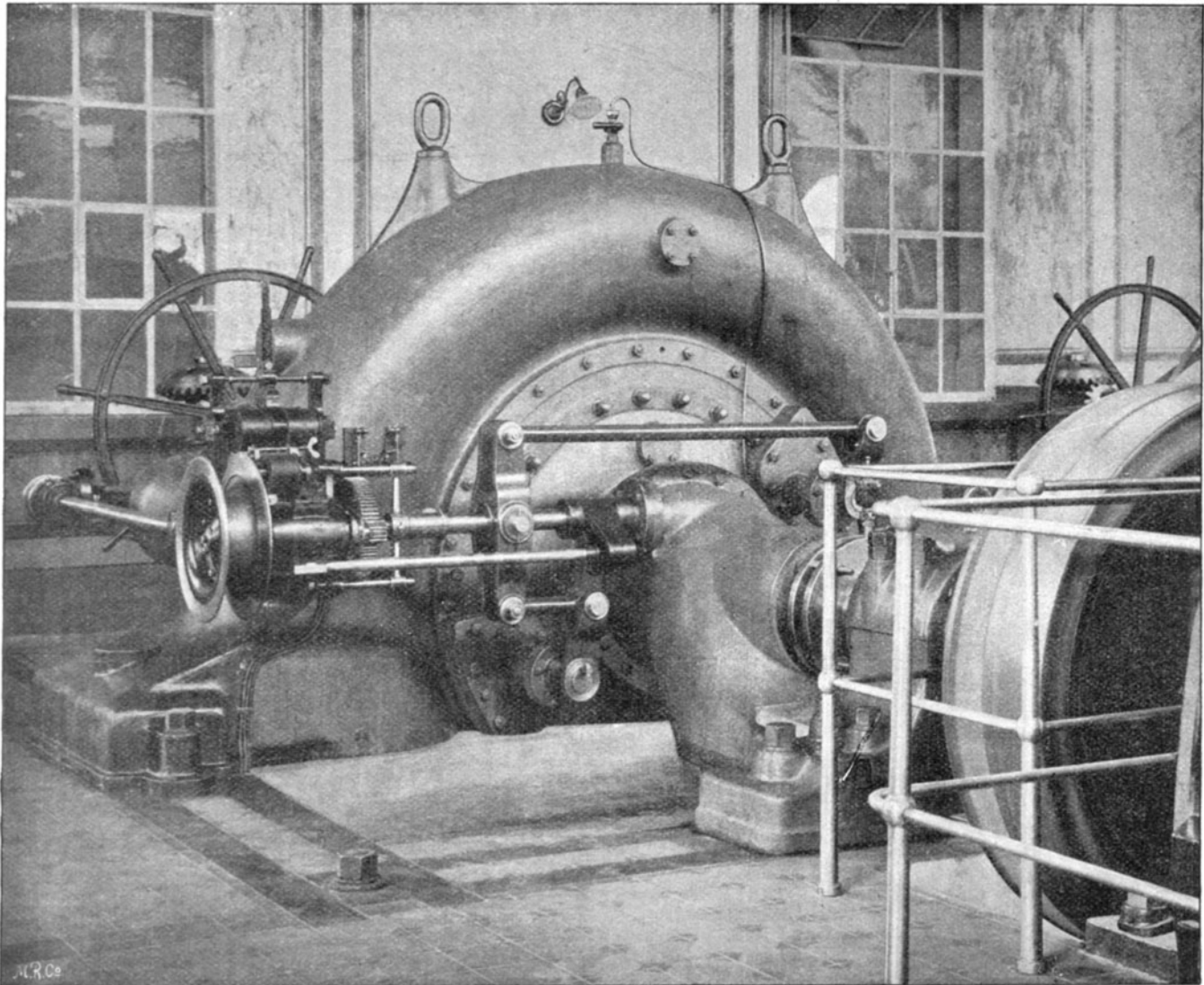


Fig. 55 bis 58. Von der Turbine wird durch einen Riemen eine zu ihr parallel laufende Welle W_1 angetrieben, auf der ein Reibkegelrad R_1 sitzt. Das eine Lager dieser Welle ist senkrecht zur Welle verschiebbar. Wird einer der beiden Elektromagnete M_1 oder M_2 erregt, was vom Schaltbrett des Maschinenhauses aus bewirkt wird, so wird der zwischen beiden sitzende Anker angezogen, dadurch das Kegelrad R_1 gegen die eine Seite des Doppelkegels R_2 gepresst und letzterer in Umdrehung versetzt. Die Drehung von R_2 wird durch ein Zahnradvorgelege auf die Welle W_2 und von dieser mit Schraubenspindel und Mutter auf das zum Ver-

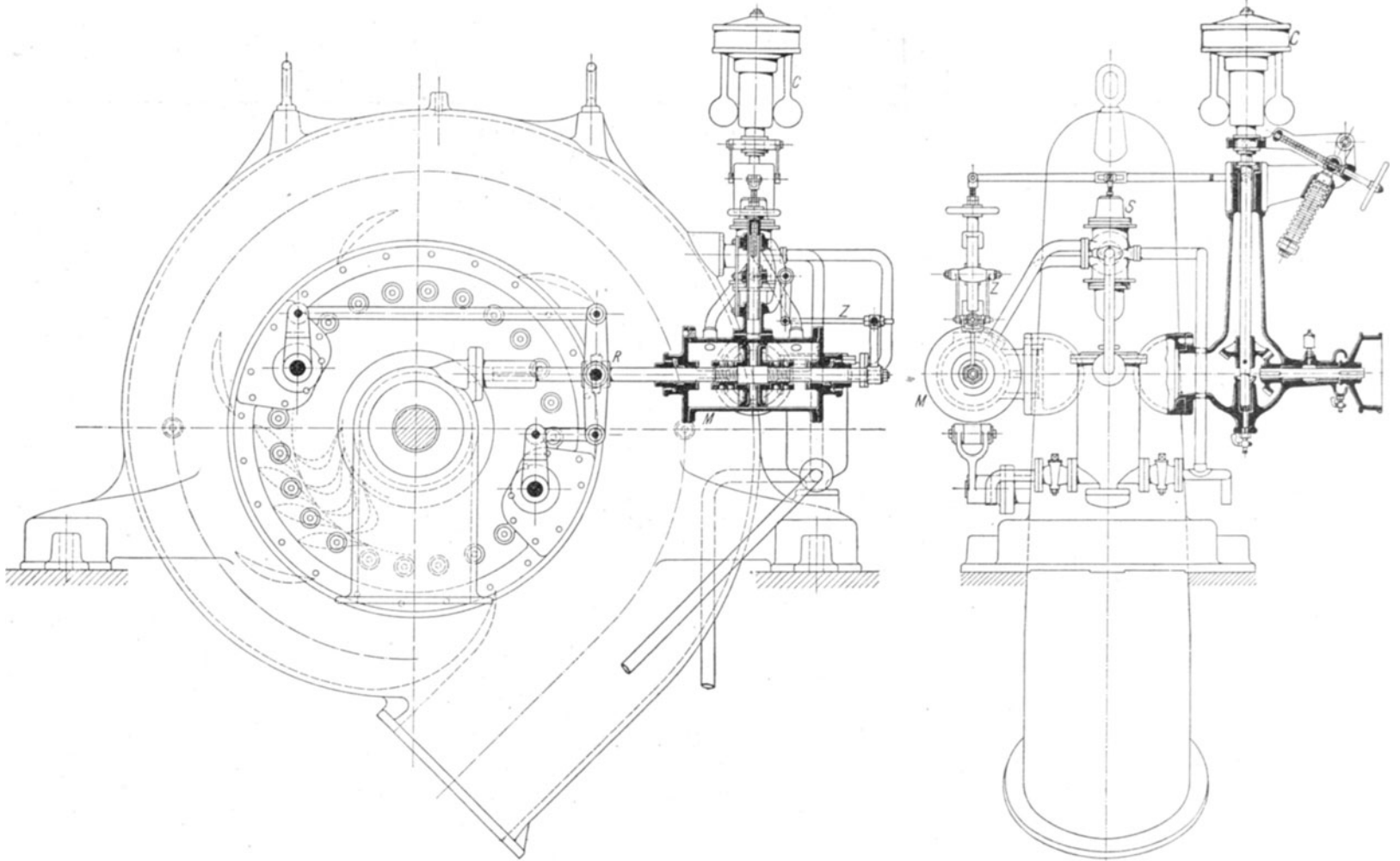
drehbaren Leitschaufeln verstellt. Zur Erreichung der angestrebten Gleichförmigkeit des Ganges sind außerdem Schwungräder eingebaut. Bei plötzlicher Entlastung der Turbine um 10 vH der vollen Leistung beträgt die Schwankung in der Umdrehungszahl höchstens $1\frac{1}{2}$ vH, bei plötzlicher vollständiger Entlastung der Turbine aus dem vollbelasteten Zustande die Erhöhung der Umdrehungszahl nur 5 vH.

Bei allen Turbinen ist ein Umlaufrohr mit Absperrhahn zwischen Druckrohr und Spaltraum angebracht, um den axialen Druck auf das Laufrad regeln zu können.

Fig. 59.

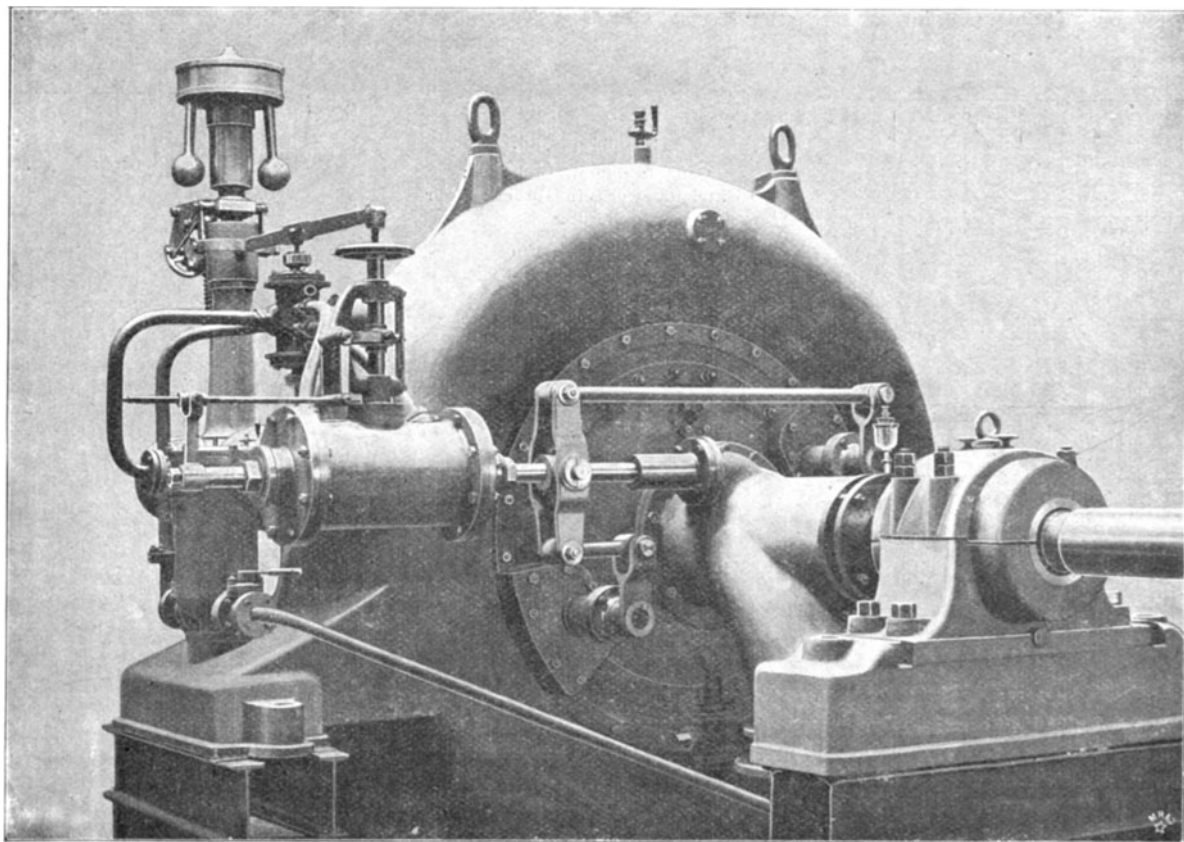
Ganz & Co., Budapest.

Fig. 60.



Ganz & Co., Budapest.

Fig. 61.



Bei einem mit elektrischen Widerständen durchgeführten Versuch zur Bestimmung der Nutzeffekte haben die Turbinen bei 0,8 Beaufschlagung 84 vH ergeben. Dabei ist der Nutzeffekt der Generatoren mit 95 vH angenommen und

300 Amp bei 350 V Spannung. Mit diesem Strom werden drei Karbidöfen gespeist, die in Sternschaltung angeordnet sind. Die Leitungen von je 4 Drehstrommaschinen sind durch Sammelschienen verbunden. Die ganze elektrische

Fig. 62 und 63. Ganz & Comp., Budapest:
Elektrizitätswerk Innsbruck;
Höhen- und Lageplan der Rohrleitung.
Mafstab 1 : 8000

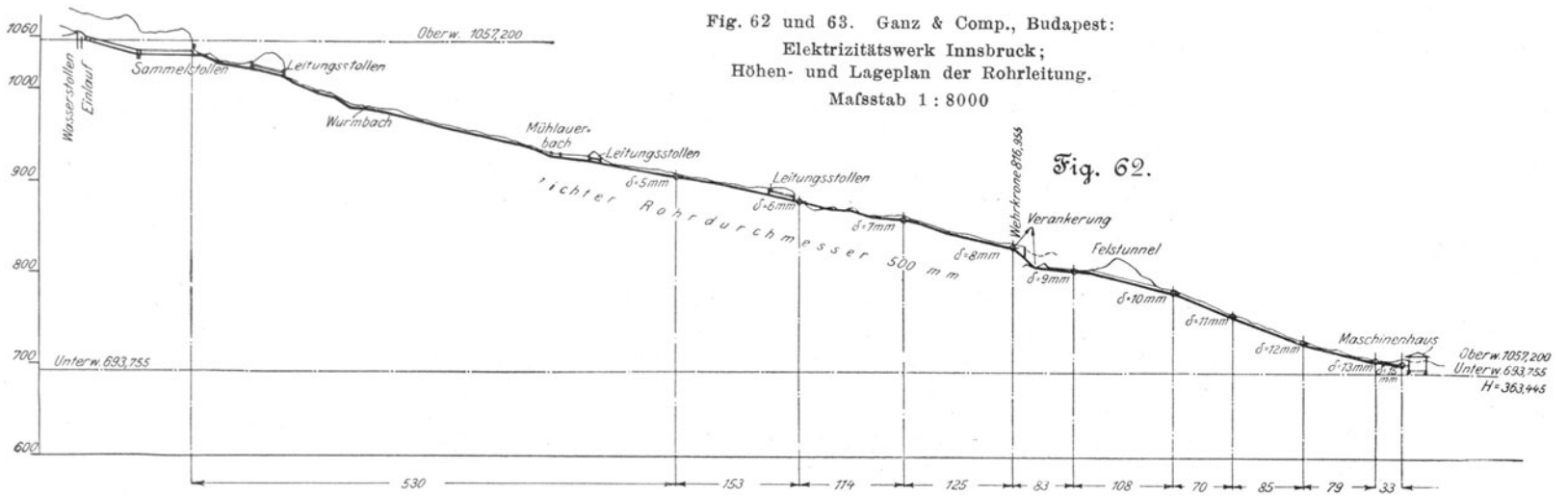


Fig. 62.

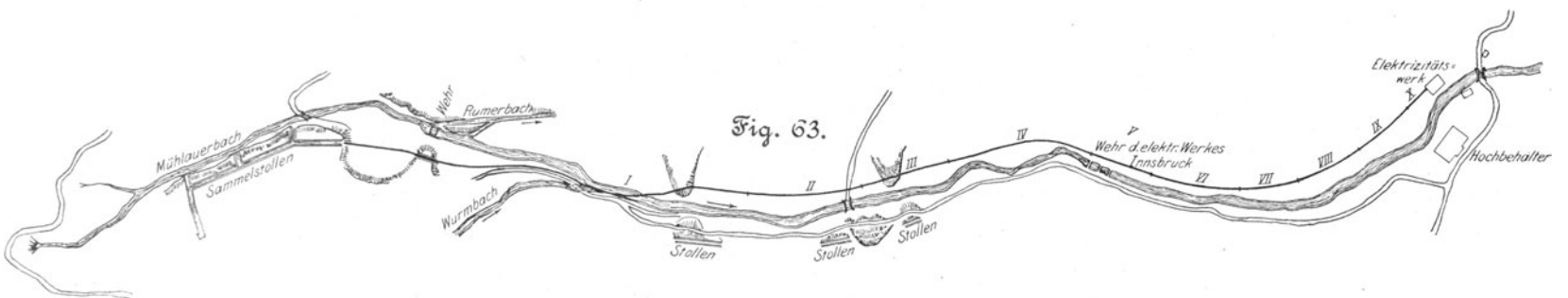


Fig. 63.

Fig. 64.

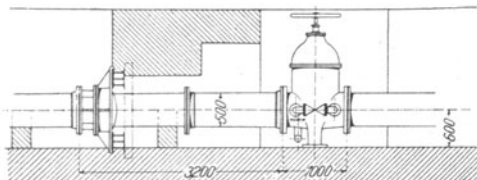


Fig. 64 bis 66.
Ganz & Comp., Budapest:
Elektrizitätswerk Innsbruck; Rohrleitung.
Mafstab 1 : 120.

Fig. 66.

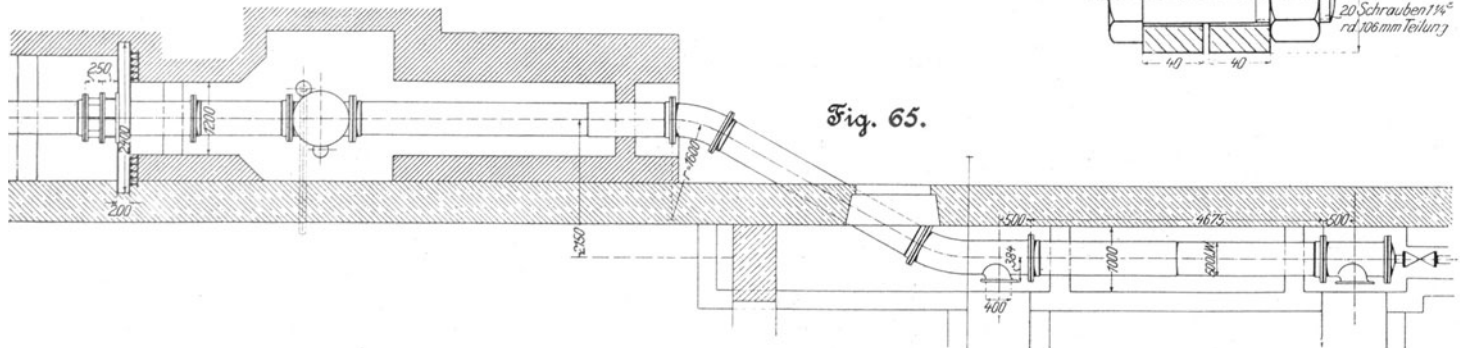
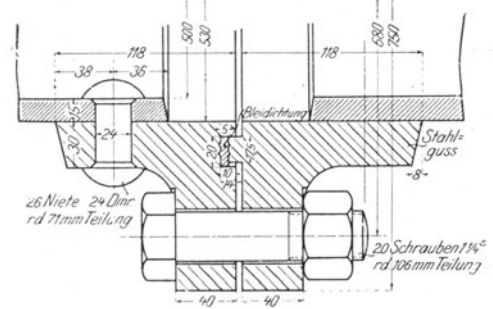


Fig. 65.

die Wassermenge mit Ueberfall gemessen worden. Sämtliche Turbinen, die Schützen, Rohrleitungen usw. sind von Ganz & Co. konstruiert und geliefert. Jede der Drehstrommaschinen liefert einen Strom von

Anlage zerfällt dadurch in zwei Teile, die durch drei einpolige Ausschalter mit einander verbunden werden können. Mit Hilfe dieser Schaltung ist es möglich, jedem Ofen von jeder beliebigen Maschine aus Strom zuzuführen. Jede der

Drehstrommaschinen ist mit einer Gleichstromdynamo gekuppelt, die bei 300 Amp 80 V giebt und den Strom für die Felderregung der Drehstrommaschine sowie für den Turbinenregulator liefert. Für die Karbidöfen wird der Strom durch 96 blanke Kupferkabel vom Maschinenhause nach der Karbidfabrik geleitet. Jedes Kabel besteht aus 19 Drähten von 6,35 mm Dmr.

Die mit den kleineren Turbinen gekuppelten Gleichstromdynamomas liefern bei 120 V einen Strom von insgesamt 720 Amp, der zur Fabrikation von Chlorkalk verwendet wird. Die gesamte elektrische Einrichtung ist von der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co. geliefert.

Nicht ausgestellt, aber in den Rahmen der Besprechung passend, ist eine in der letzten Zeit von Ganz & Comp. ausgeführte und dieser Firma patentirte Turbinenkonstruktion, die für das Elektrizitätswerk der Stadt Innsbruck geliefert worden ist und ihrer Eigenartigkeit wegen hier wiedergegeben werden soll.

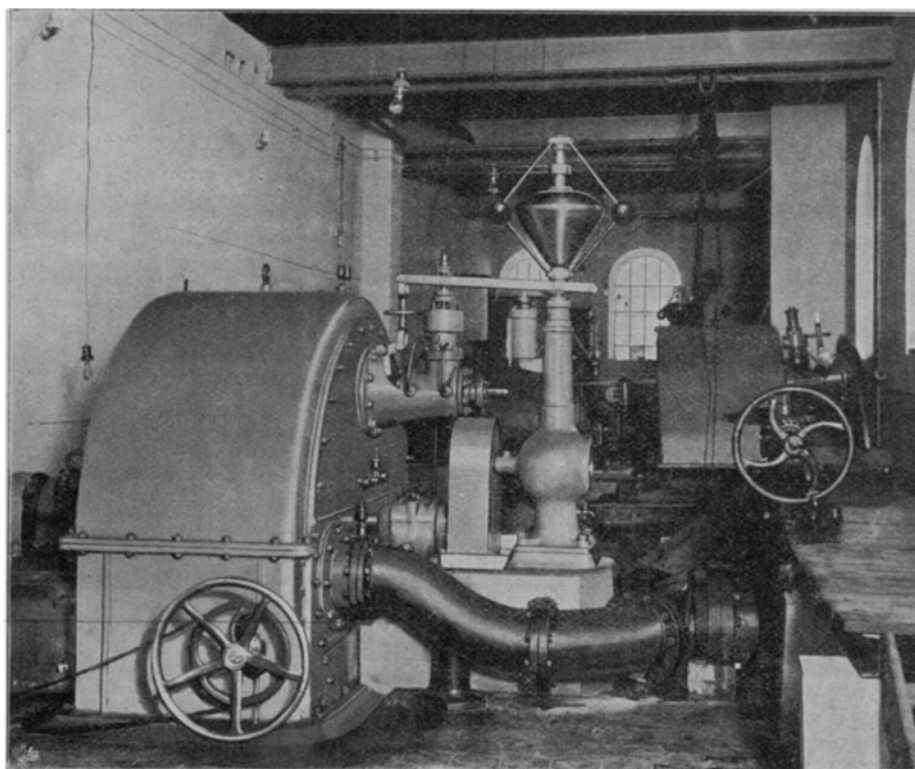
Ueberschuss an Wasser wurde bisher aus dem Trinkwasserstollen dem Mühlauer Bach zugeführt und bildete dort einen Teil des Aufschlagwassers für die Turbinen des Kraftwerkes. Bei dessen Vergrößerung wurde es für zweckmäßiger erachtet, den Wasserüberschuss unmittelbar zu verwenden, zumal die Turbinen dann völlig reines Wasser erhielten und ein Gefälle von rd. 357 m zur Verfügung stand, somit eine bedeutende Vergrößerung der Betriebskraft gewonnen werden konnte.

Von dem Trinkwasserstollen wurde eine neue Rohrleitung von 500 mm l. W. bis zum Kraftwerk geführt und daselbst zwei neue Turbinen von je 1250 PS angeschlossen, wovon eine in Reserve steht. Die drei 150 pferdigen Partialturbinen wurden entfernt.

Von den aus Stahlblech von 6 bis 15 mm Wandstärke und in Längen von 3,7 bis 3,8 m hergestellten Rohrschüssen. Fig. 64 bis 66, sind 3 bis 7 Stück zu einem Rohr zusammengenietet und mit Flanschen aus Stahlguss versehen. Auch

Fig. 67.

Ganz & Comp., Budapest: Elektrizitätswerk Innsbruck; Turbinenstube.



Nordöstlich von Innsbruck ergießt sich, aus steilem Felsenthal kommend, der Mühlauer Bach in den Inn. Seit dem Jahre 1889 besitzt Innsbruck ein von Ganz & Comp. eingerichtetes elektrisches Kraftwerk, für das der Mühlauer Bach die Betriebskraft liefert. Zu diesem Zwecke war in den Bach rd. 817 m über dem Meere ein Wehr eingebaut, und von dort wurde das Wasser dem Turbinenhouse in einer Rohrleitung zugeführt. Es waren zuerst 3 Partialturbinen: 2 in Betrieb, 1 in Reserve, von je 150 PS bei einem Brutto-Gefälle von 123 m aufgestellt. Später kamen noch 2 größere Partialturbinen von je 300 PS hinzu. Alle waren mit den Dynamomaschinen unmittelbar gekuppelt. Die höher gestellten Anforderungen haben eine Vergrößerung des Kraftwerkes notwendig gemacht, die eigenartig gelöst ist. Nahe den Quellen des Mühlauer Baches (vergl. Fig. 62 und 63) wurden in Höhe von ungefähr 1057 m über dem Meere in dem Felsen aufsergewöhnlich ergiebige und vorzügliche Quellen gefunden, die rd. 0,35 cbm/sk Wasser führen und zur Trinkwasserversorgung Innsbrucks überreichlich genügen. Der bedeutende

die Krümmer und Formstücke bestehen aus Stahlguss. Als Packung sind in Nuten liegende Bleiringe verwendet, Fig. 67. Ausgleichstücke wegen Wärmeausdehnungen sind nicht eingebaut, da die Temperatur des Wassers das ganze Jahr hindurch sehr gleichmäßig ist. Die Lieferung und Verlegung der Rohrleitung, die sich bei dem Mangel an jedem Verkehrsmittel und mit Rücksicht auf Lawinen in dem steilen Felsenthal sehr schwierig gestaltete, ist im Auftrage von Ganz & Comp. von der Firma Brand & Lhuillier in Brünn ausgeführt worden.

Die mit wagerechter Achse für eine größte Wassermenge von 0,35 cbm/sk bei einem Gefälle von 345 m konstruirten Partialturbinen sind von innen beaufschlagt, haben 1600 mm inneren Laufraddurchmesser, machen 420 Uml./min und sind mit den Dynamomaschinen durch Scheibenkupplungen verbunden, Fig. 67 bis 70.

Um bei dem hohen Druck in der langen Rohrleitung während des Regulirens gefährliche Stöße zu vermeiden, ist die ganze Leitvorrichtung schwenkbar gemacht. Das Wasser-

zufussrohr gabelt sich knapp vor der Turbine in 2 Stränge, die in Krümmer endigen, welche zu Stopfbüchsen ausgebildet sind und eine gemeinsame Achse *A* haben. In diese Stopfbüchsen ist die Leitvorrichtung um *A* drehbar eingehängt. Der die Laufradachse umgreifende Hebel *R*, an welchem die Kolbenstange des Servomotors *M* mit kurzer Lenkstange anfasst, dient zur Verstellung der Leitvorrichtung. Durch die Thätigkeit des hydraulisch wirkenden Servomotors wird während des Regulirens somit nicht die zufließende Wassermenge beeinflusst, sondern das nicht benutzte Wasser spritzt beim Laufrade vorbei. Damit das Laufrad hierdurch keinen schädlichen Seitendruck erhält, ist dicht neben ihm und zur Leitvorrichtung passend eine feste Ablenkvorrichtung angebracht, die das unbenutzte Aufschlagwasser ableitet. Die 7 Zellen der Leitvorrichtung sind von einem im Rücken verzahnten Bronzeschieber überdeckt, der mit eingreifendem Zahnrad und Schneckenradvorgelege von Hand verstellbar ist, Fig. 70. Infolge der großen Uebersetzung des Vorgeleges kann der Schieber nur so langsam geschlossen werden, dass auch hierdurch keine schädlichen Stöße in der Rohrleitung verursacht werden können.

Diese Konstruktion wurde Oktober 1899 zur Probe eingebaut und, da sie sich gut bewährt hat, im April 1901 endgültig dem Betriebe übergeben.

A.-G. vorm. Joh. Jacob Rieter & Co., Winterthur¹⁾.

Die A.-G. vorm. J. J. Rieter & Co. hatte die Ausstellung mit 5 verschiedenen Turbinen, einer Anzahl Laufräder für Pelton-Motoren und verschiedenen Regulatoren mit und ohne Servomotor bechickt.

Aehnlich wie zahlreiche französische Firmen hat auch sie den Bau von Turbinen amerikanischer Herkunft nach Art der Herkules-Turbinen aufgenommen. Auf der Ausstellung zeigte sie eine solche, Fig. 71, die für ihr eigenes Krafthaus in Obertöss bestimmt war und bei 5,5 m Gefälle, einem Wasserverbrauch von 3 cbm/sk und 115 Uml./min 165 PS liefern soll. Das Laufrad hat 1070 mm Dmr. und arbeitet mit einem Sauggefälle von 2,6 m. Die Laufradschaufeln sind fest eingegossen und zeigen die übliche Form; indessen weichen sie mit dem achsialen Teil ihrer Austrittskante nach unten hin weit genug von der Welle ab, um den Wasseraustritt an dieser Stelle nicht zu sehr zu verengen. Abweichend von der bei den Amerikanern üblichen Ausführung der Herkules-Turbinen²⁾, die auch von den meisten französischen Konstrukteuren übernommen ist, und bei der die Achse durch Unterwasserzapfen aus Pockholz gestützt wird, ist hier die Aufhängung an frei hängender hohler Gusswelle mit Ober-Ringzapfen angewendet.

Mehr Interesse boten die von der Firma ausgestellten eigenen Konstruktionen. Fig. 72 und 73 stellen eine Francis-Turbine im Spiralgehäuse dar, die bei 14,9 m Gefälle und 0,7 cbm/sk Wasser rd. 104 PS bei 374 Uml./min leistet. Das Laufrad hat 550 mm Dmr. bei einer Breite von 110 mm,

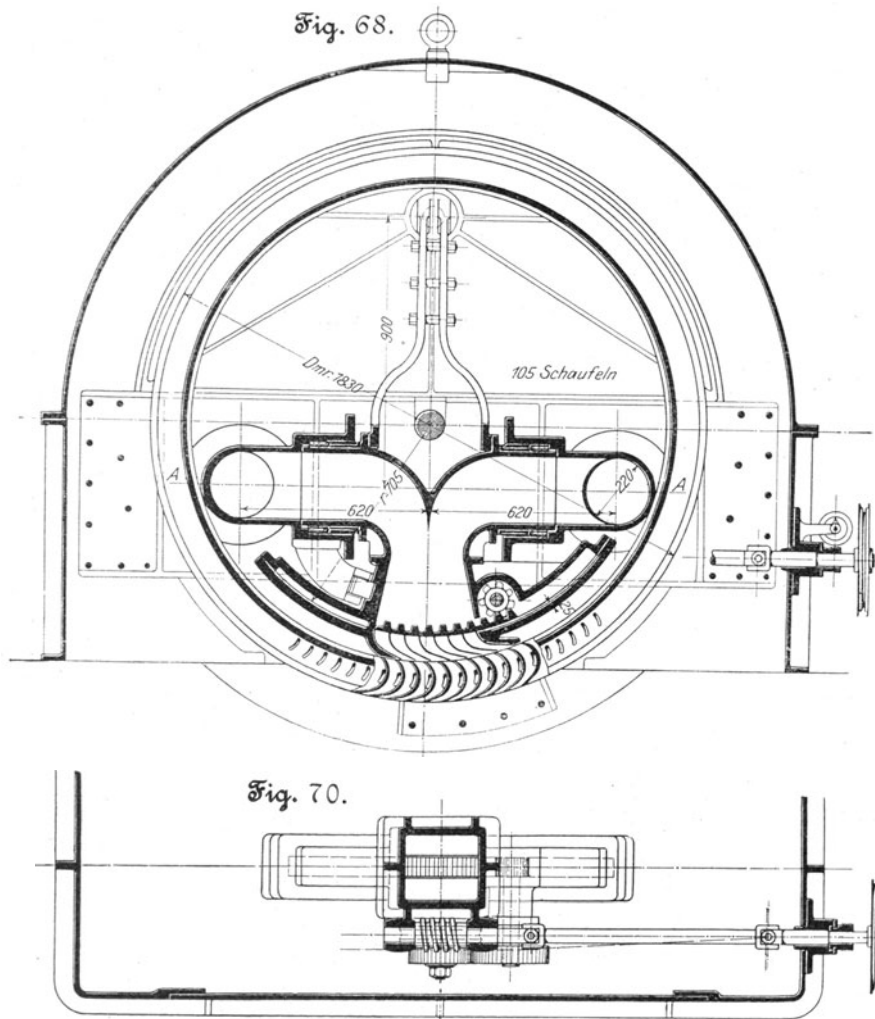
¹⁾ Der folgende Teil des Berichtes ist wegen Erkrankung des Verfassers unter Mitwirkung des Assistenten Herrn Dr. Ing. E. Heidebrock verfasst. Für diese wertvolle Unterstützung sei hier bestens gedankt

²⁾ Z. 1893 S. 893.

das Leitrad 16 drehbare Leitschaufeln. Die Regulierung ist eine Abart der Finkschen, mit eigentümlicher Anfassung der Schaufeln, die in einer Tasche derselben untergebracht ist. Der Regulirring wird von Hand mittels Schraubenspindel und zweier einander gegenüber an Kurbeln angreifender Stangen bewegt.

Für das Licht- und Krafthaus Glattfelden hat die Firma eine Zwillings-Francis-Turbine von der Anordnung gebaut, die in Fig. 74 bis 76 dargestellt ist. Die Turbine leistet

Fig. 68 bis 70. Ganz & Comp., Budapest: Elektrizitätswerk



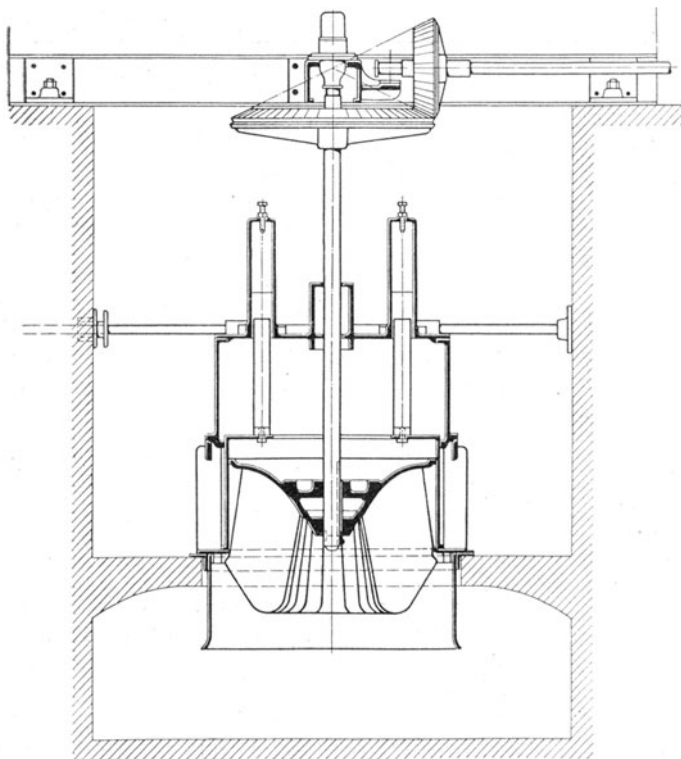
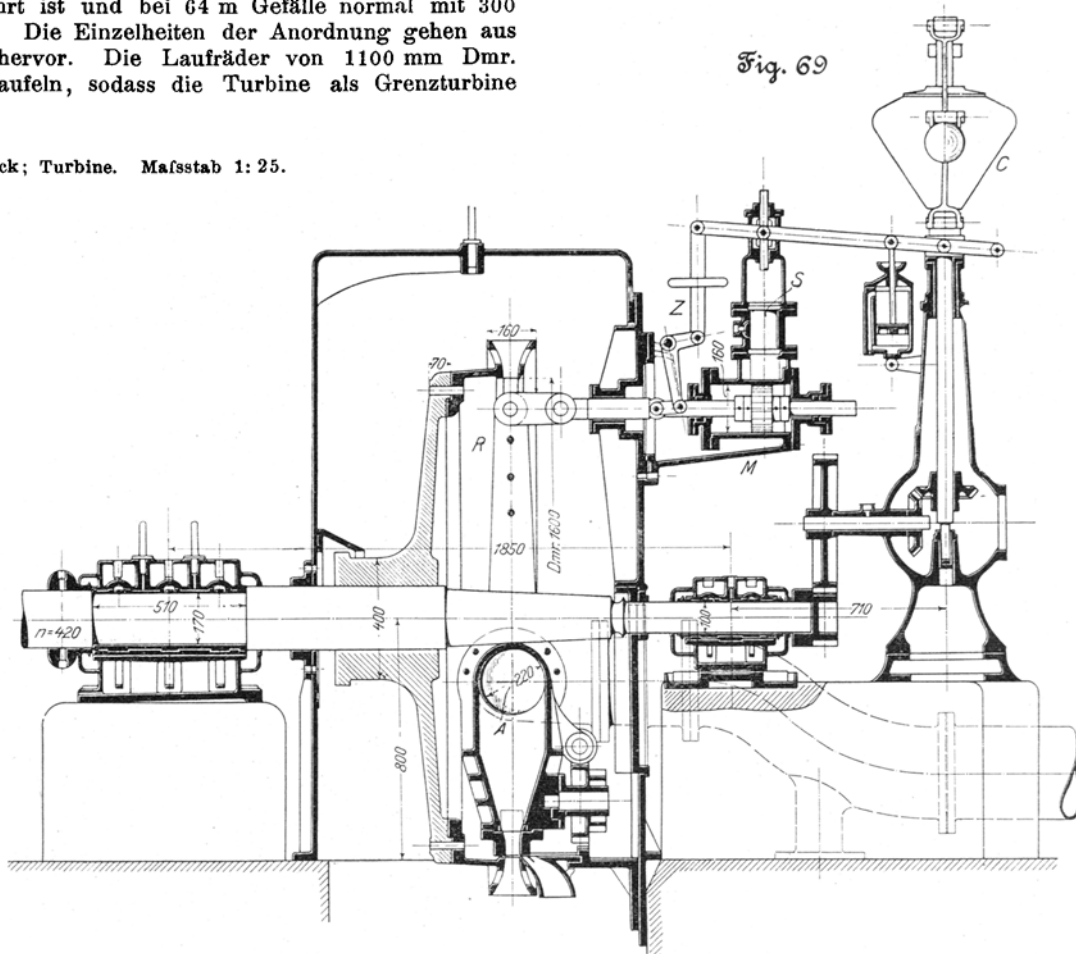
30 PS bei 3,25 m Gefälle und 0,884 cbm/sk; die Laufräder haben je 14 Blechschaufeln und laufen mit 158 Uml./min. Die 16 drehbaren Leitschaufeln beider Kränze werden gleichzeitig durch einen Präzisions-Regulator Rieterscher Bauart verstellt. Der Regulirring wird von einer seitlichen Welle aus durch Stangen bewegt, die an doppelarmigen, mittels Lenker geführten Hebeln angreifen. Diese Anordnung soll gegenüber der sonst gebräuchlichen Anordnung schräger Schlitze im Regulirring die mit der Regulirbewegung verbundenen Reibungsverluste vermindern. Die Turbine ist im übrigen in bekannter Weise in die Wand der offenen Wasserkammer eingelassen und giebt ihre Arbeit, wie aus der Gesamtanordnung, Fig. 77 und 78, hervorgeht an eine Dynamomaschine ab. Eine einfache Francis-Turbine ähnlicher Bauart von 20 PS liefert die Kraft für die gleichzeitig vorhandenen mechanischen Betriebe.

Das Hauptstück der Ausstellung der Firma Rieter bildete eine der für die Société des Usines hydroélectriques de Montbovon in Romont (Schweiz) konstruierten Turbinen. Diese Gesellschaft erweiterte im Jahre 1900 ihr an der Sarine gelegenes Krafthaus durch 8 Turbinen mit einer Gesamtleistung von 5600 PS, welche sich aus 4 Turbinen zu je 1100 PS, 2 Turbinen zu je 500 PS, alle mit den Dynamos unmittelbar gekuppelt, und endlich 2 Erregerturbinen von je 100 PS (vergl. Fig. 79 und 80) zusammensetzte.

Auf der Ausstellung befand sich, zugleich mit dem Modell der Einmauerung in anschaulicher Weise vorgeführt, eine der größeren Generatorturbinen, die als innen beaufschlagte Radialturbine mit senkrechter Welle und Spaltschieber-Regulierung ausgeführt ist und bei 64 m Gefälle normal mit 300 Uml./min läuft. Die Einzelheiten der Anordnung gehen aus Fig. 81 bis 83 hervor. Die Laufräder von 1100 mm Dmr. haben Rückschaufeln, sodass die Turbine als Grenzturbine

arbeitet. Der untere Teil der Nabe, die unmittelbar auf die senkrechte Welle des Drehstromgenerators aufgekeilt ist, führt sich gegenüber dem auf das Saugrohr gestützten oberen

Innsbruck; Turbine. Maßstab 1:25.



Leitradkrümmer in einer Dichtungsbüchse und wirkt somit als Entlastungskolben für die beträchtlichen Gewichte der elektrischen Maschinen; die Entlastung soll nach den Angaben der Firma nahezu vollständig sein. Die noch verbleibende Belastung wird von einem zwischen Turbine und Generator eingebauten Ringspurlager von 460 mm äußerem Durchmesser und 75 mm Breite aufgenommen, dessen Oelfüllung durch einen aus dem Druckrohr entnommenen Wasserstrom beständig gekühlt wird. Ebenfalls auf die eingemauerten Tragringe des Dynamogehäuses stützt sich das sehr kräftig gehaltene untere Halslager, welchem ein ähnliches oberhalb der Dynamo entspricht.

Die zur Regulierung dienenden Cylinderschieber werden selbstthätig mittels hydraulischen Servomotors bewegt, der mit dem vorhandenen natürlichen Druck von 6,4 at arbeitet. Den Zusammenhang der Regulirvorrichtungen zeigen Fig. 82 und 83.

Unmittelbar auf dem oberen Ende der Generatorwelle ist der das Steuerventil des Servomotors bethätigende Schwungkugelregulator angebracht; er kann somit nicht versagen, wie es bei gesonderter Aufstellung durch Abfallen des Transmissionsriemens oder dergl. vorkommen kann. Das zum Betriebe der Regulierung dienende Druckwasser wird dem Einlaufrohr unmittelbar vor der Turbine entnommen und durchströmt zunächst das Filter *F*, das aus drei getrennten Gehäusen derart zusammengesetzt ist, dass jedes einzelne behufs Reinigung während des Betriebes ohne weiteres ausgeschalt werden kann. Von dort geht die Leitung einerseits mit einer Abzweigung zu dem als Durchflussventil ausgebildeten Steuerventil *S*, andererseits zu dem Servomotor *M*, dessen Differentialkolben mittels Hebelwerkes 2 Wellen verdreht, welche durch Stopfbüchsen in das Gehäuse geführt sind und die Bewegung des Spaltschiebers bewirken. Die Rückführung *Z* ist in der

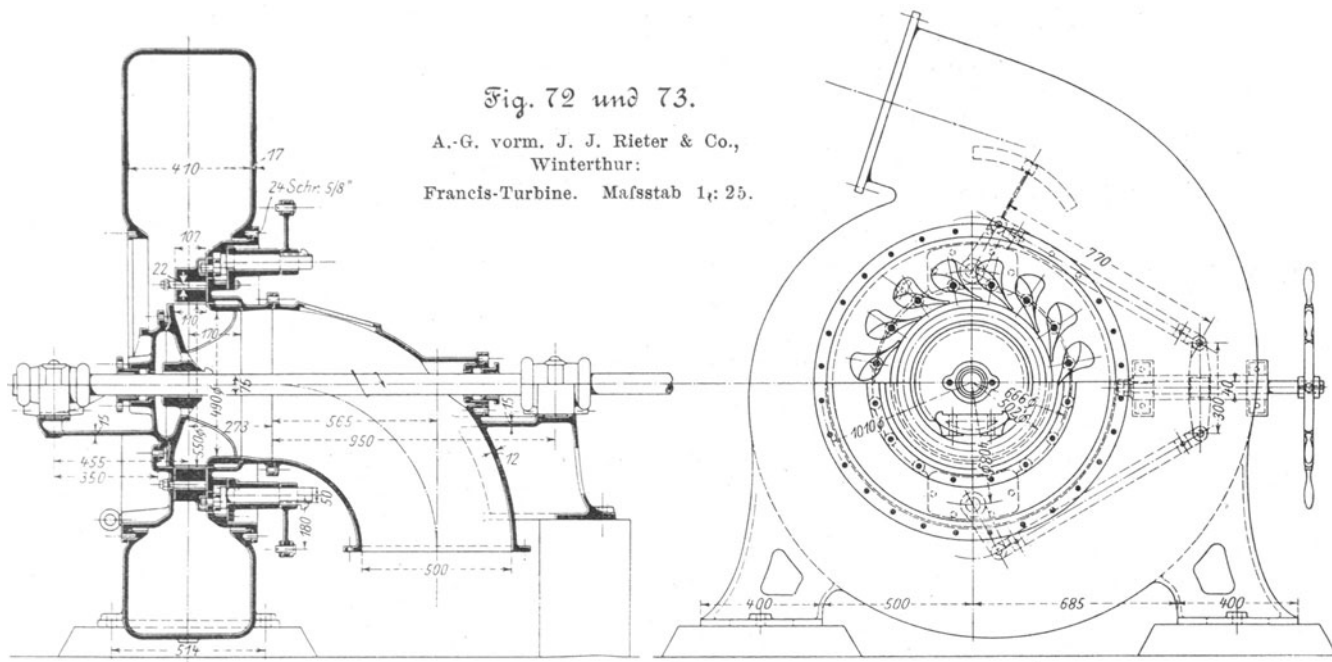
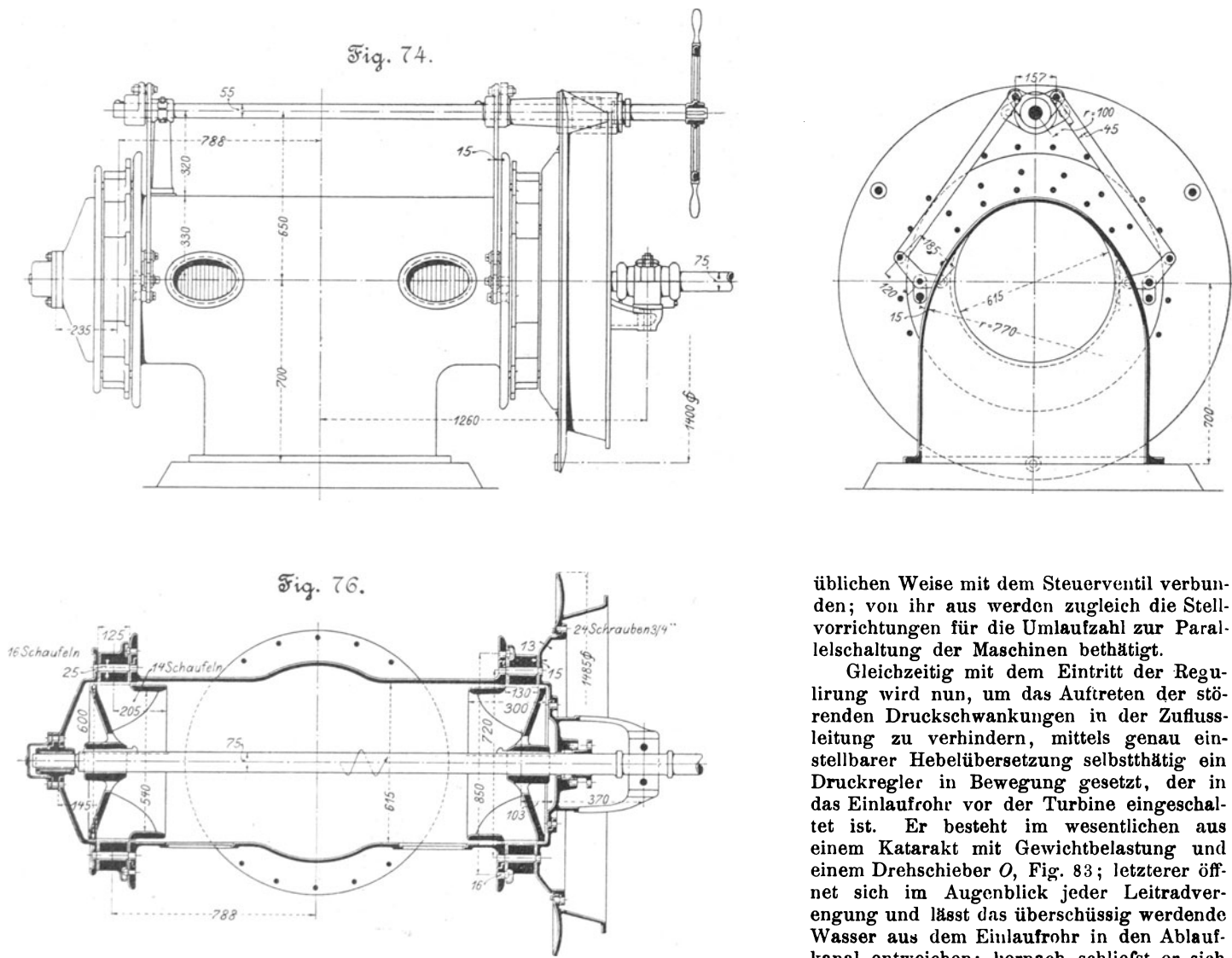


Fig. 74 bis 76. A.-G. vorm. J. J. Rieter & Co., Winterthur:
 Zwillings-Francis-Turbine. Maßstab 1:25.

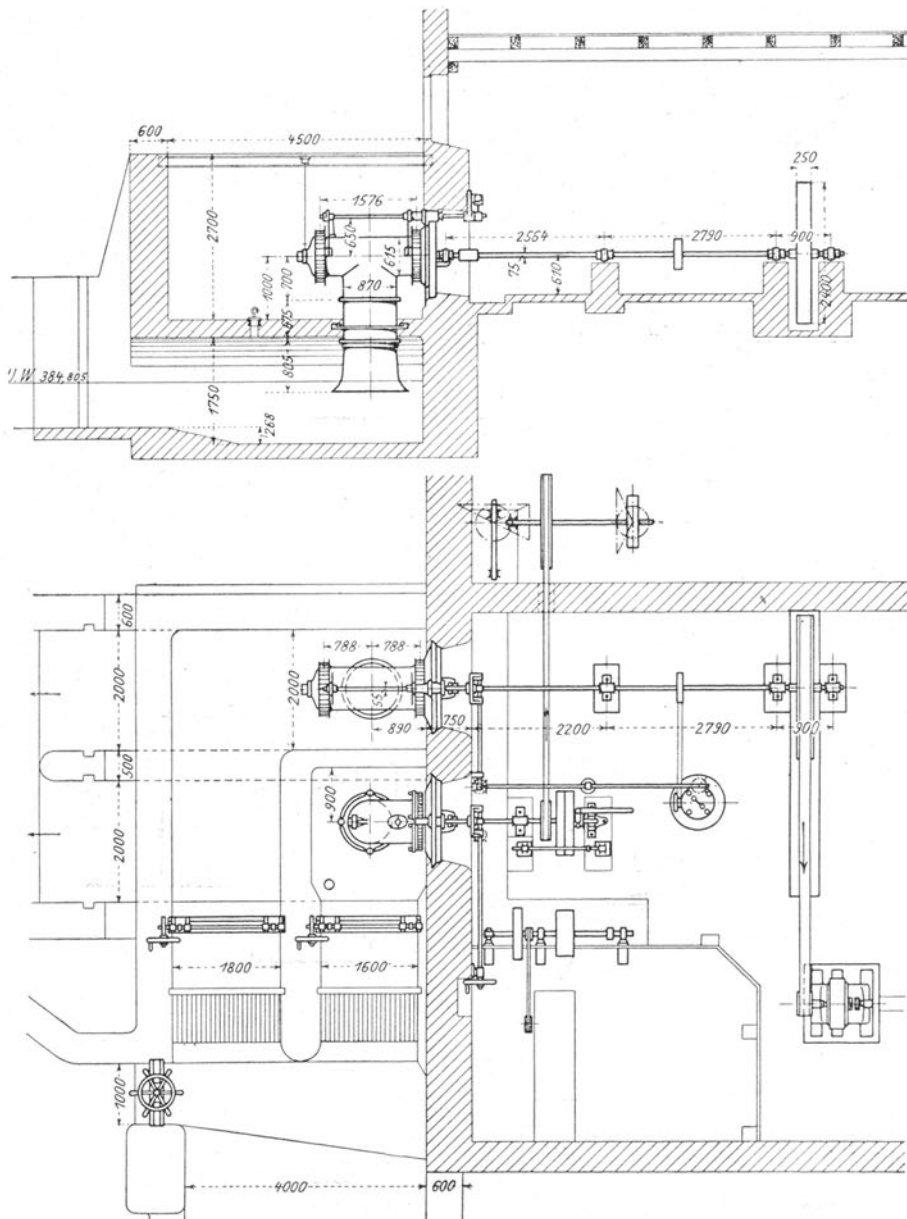


üblichen Weise mit dem Steuerventil verbunden; von ihr aus werden zugleich die Stellvorrichtungen für die Umlaufzahl zur Parallelschaltung der Maschinen betätigt.

Gleichzeitig mit dem Eintritt der Regulierung wird nun, um das Auftreten der störenden Druckschwankungen in der Zufussleitung zu verhindern, mittels genau einstellbarer Hebelübersetzung selbstthätig ein Druckregler in Bewegung gesetzt, der in das Einlaufrohr vor der Turbine eingeschaltet ist. Er besteht im wesentlichen aus einem Katarakt mit Gewichtbelastung und einem Drehschieber *O*, Fig. 83; letzterer öffnet sich im Augenblick jeder Leitradverengung und lässt das überschüssig werdende Wasser aus dem Einlaufrohr in den Ablaufkanal entweichen; hernach schließt er sich

Fig. 77 und 78.

A.-G. vorm. J. J. Rieter & Co., Winterthur:
 Turbinenanlage des Krafthauses Glattfelden.
 Maßstab 1 : 125.



wieder selbstthätig durch Hebelgewicht. Der Drehschieber kann auch von Hand als Wasserablass benutzt werden, ohne dass dadurch seine selbstthätige Wirkungsweise beeinflusst würde.

Eine durch Schneckengetriebe bewegliche Drosselklappe gestattet endlich, jeden Turbineneinlauf gänzlich abzusperren; die dazu gehörigen Regulirständer sind im Maschinensaal neben den Generatoren aufgestellt.

Von ähnlicher Anordnung wie die hier beschriebene Turbine sind die beiden Turbinen von je 500 PS mit 1600 mm innerem Laufraddurchmesser und 150 Uml./min, die als Aktionsturbinen mit voller Beaufschlagung konstruiert sind und ebenfalls im Saugrohr stehen. Der Wasserstand in den Saugrohren wird bei ihnen durch Luftregulierung unter den Radkränzen gehalten.

Zum Betriebe der Erregermaschinen dienen 2 Partialturbinen mit wagerechter Achse, die jede bei 550 Uml./min und einem Laufraddurchmesser von 540 mm 100 PS leisten; ihr Abwasser strömt in einen besonderen Kanal. Die Verteilung der Maschineneinheiten ist im übrigen, wie aus dem Grundriss, Fig. 80, hervorgeht, in 2 symmetrischen Gruppen durchgeführt, deren jede von einem besonderen Zuführungsrohr gespeist wird.

Fig. 79 und 80.

A. G. vorm. J. J. Rieter & Co., Winterthur:
 Turbinenanlage der
 Société des Usines hydro-électriques de Montbovon.
 Maßstab 1 : 250.

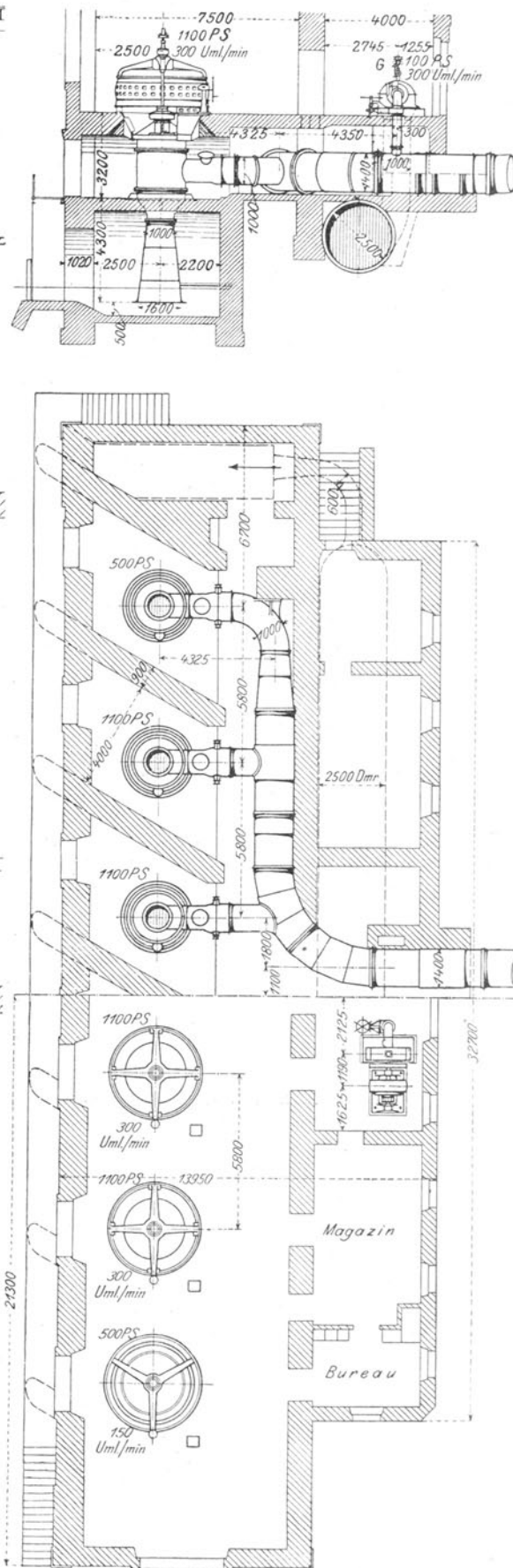


Fig. 81.

A.-G. vorm. J. J. Rieter & Co., Winterthur: Radialturbine. Mafsstab 1:25.

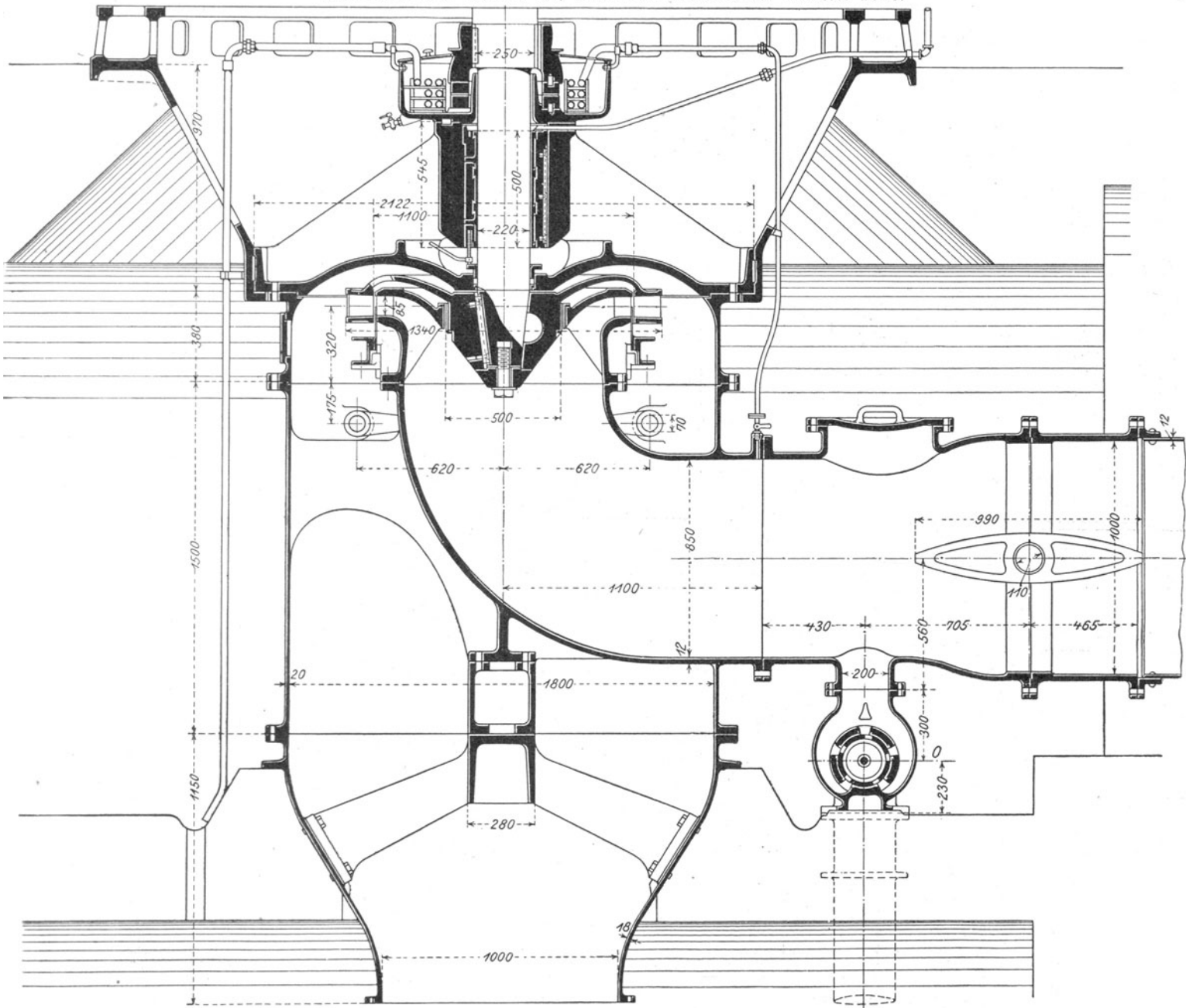
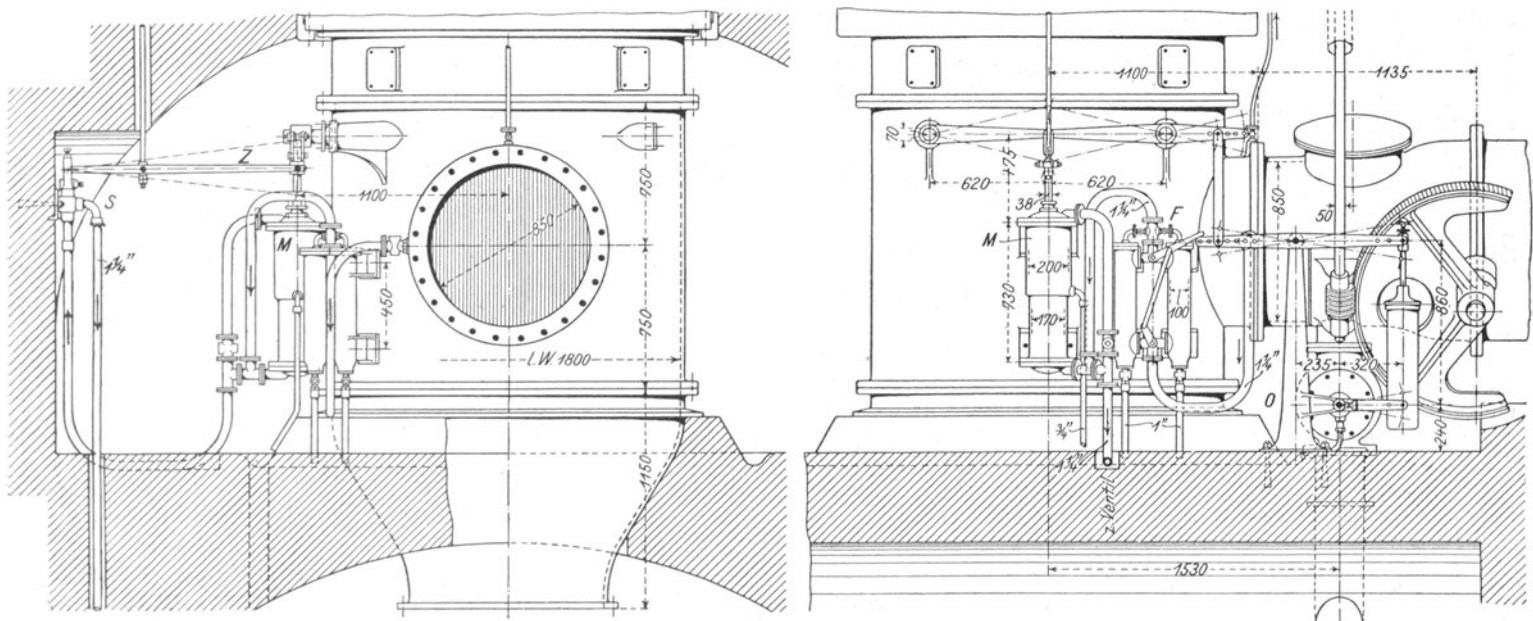


Fig. 82 und 83.

A.-G. vorm. J. J. Rieter & Co., Winterthur: Regnlivrrichtung der Radialturbine. Mafsstab 1:40.



**A.-G. der Maschinenfabrik von Theod. Bell & Co.,
Kriens bei Luzern.**

Die A.-G. der Maschinenfabrik von Theodor Bell & Co. hatte aus ihren alle Zweige des modernen Turbinenbaues umfassenden Erzeugnissen eine reiche Auswahl zusammengestellt, die durch ihre geschlossene und übersichtliche Anordnung einen vorzüglichen Eindruck machte.

Den Schwerpunkt des Turbinenbaues hat auch diese

Die ersterwähnte Turbine ist in Fig. 84 und 85 dargestellt; sie soll bei 8,5 m Gefälle, einem Wasserverbrauch von 3,5 cbm/sk und 240 Uml./min 300 PS liefern. Die beiden Laufradkränze von je 900 mm Dmr. sind symmetrisch an beiden Seiten in einem kesselartigen Gehäuse angeordnet, das in die seitliche Wand der Wasserkammer eingelassen ist und sich unten auf ein in Beton gemauertes Saugrohr stützt. Das Bemerkenswerte an der Turbine ist die Regulierung vermittels

Fig. 84 und 85

A.-G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co., Kriens bei Luzern:
Francis-Turbine; 240 Uml./min. Maßstab 1:25.

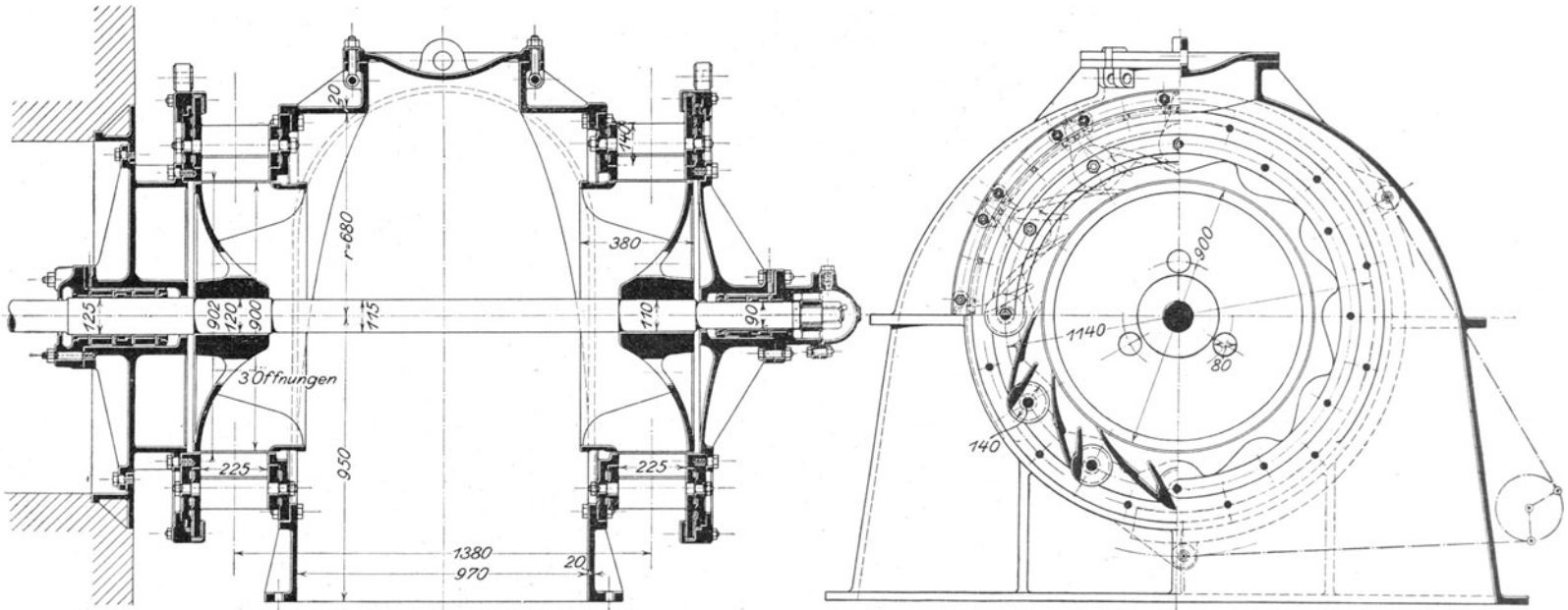
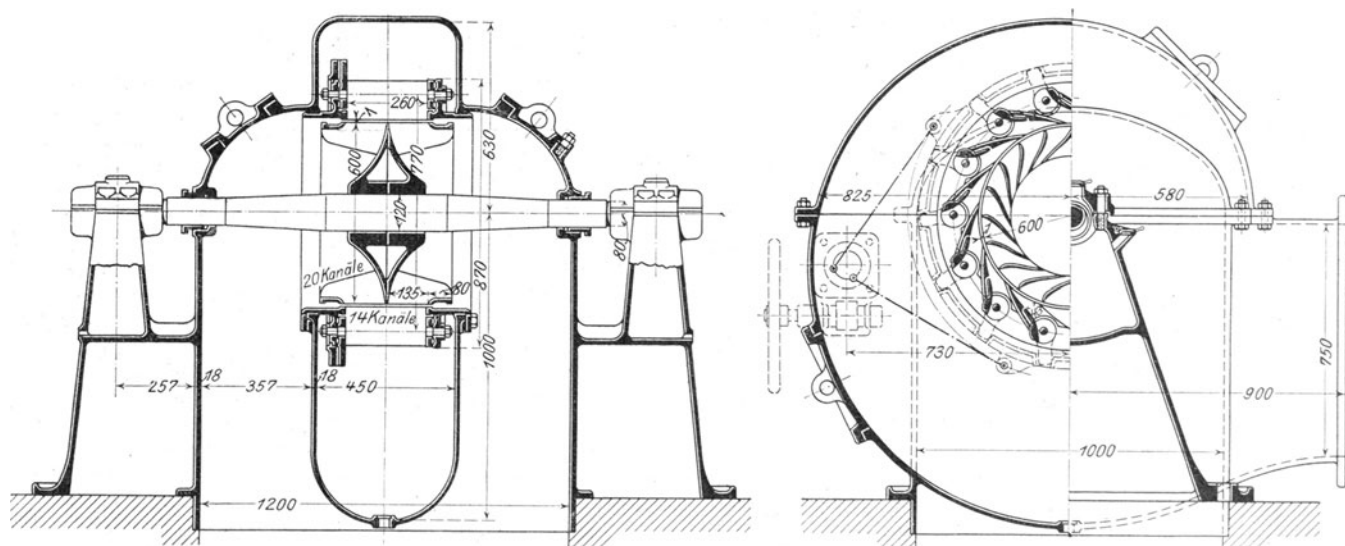


Fig. 86 und 87.

A.-G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co., Kriens bei Luzern:
Francis-Turbine; 400 Uml./min. Maßstab 1:25.



Firma auf die Entwicklung der Francis-Bauart gelegt, nachdem sie diese seit einigen Jahren anstelle der bisher mit Vorliebe gebauten Achsialturbinen übernommen hatte. Auf der Ausstellung führte sie 3 solche Anlagen als Beispiele vor: 2 doppelkränzige Francis-Turbinen mit wagerechter Achse, die eine in offener, die andere in geschlossener Wasserkammer, und eine große dreikränzige Etagenturbine mit senkrechter Welle.

des der Firma patentierten Kranzes drehbarer Leitschaufeln, den sie neuerdings an allen Radialturbinen zur Anwendung bringt. Die Leitradschaufel besteht aus einem festen, mit den seitlichen Kranzen zusammenhängenden Teil und einer beweglichen Zunge, die sich in geöffneter Stellung ganz in die feste Hälfte einschmiegt. An beiden Seiten führt sie sich, um einen Bolzen drehbar, mit 2 cylindrischen flachen Scheiben in ausgefrästen Löchern der festen Kranze, und zwar so, dass

das äußere Ende bei einer Verdrehung immer mit dem Rücken der festen Schaufel in Berührung bleibt, hingegen die vordere Zunge in den Leitkanal hineinragt und ihn so verengt. Die eine der beiden zylindrischen Führungsscheiben hat eine hebelartige Verlängerung, die mit einem zahnflankenartig begrenzten Kopf in eine entsprechend geformte, auf den Regulirring aufgeschraubte Tasche greift und, vom Ringe mitgenommen, die Schaufel dreht. Bei einer andern Ausführungsform werden die Schaufeln vom Regulirring durch gelenkig angreifende Hebel mitgenommen. Ob diese Art der Regulierung, namentlich auch, wie die Firma angiebt, bei starker Verengung des Eintrittsquerschnittes, einen ebenso günstigen Wirkungsgrad liefert wie die Finkschen Schaufeln, muss die Erfahrung lehren; indessen wird die Wirkung der Regulierung jedenfalls sehr kräftig sein und wegen der geringeren Länge des in den Wasserstrom hineinragenden Schaufelteiles weniger Kraftaufwand zur Bedienung erfordern. Gerade auf diesen letzten Punkt ist aber bei der Konstruktion besonderer Wert gelegt. Die Regulirteile sind äußerst sorgfältig geführt, die Regulirringe auf Kugeln gelagert. Das schädliche Eindringen von Sand und Unreinigkeiten in die beweglichen Teile des Leitkranzes soll nach den Erfahrungen der Firma ausgeschlossen sein; überdies ist jede Schaufel für sich leicht herausnehmbar, ohne dass es nötig wäre, den ganzen Leitkranz abzubauen. Hervorzuheben ist ferner die sorgfältige Lagerung der Welle, einerseits in der sehr langen, als Lager ausgebildeten Stopfbüchse, andererseits in dem am Deckel untergebrachten geschlossenen Lager, das gleichzeitig mit nachstellbaren Spurplatten versehen ist, um die achsialen Schübe aufzunehmen.

In den Einzelheiten ganz ähnlich durchgeführt ist die andere, aus Fig. 86 und 87 ersichtliche Turbine, welche für 12 m Gefälle und 1,3 cbm/sk Wasser bei 400 Uml./min 160 PS leistet. Die beiden Laufräder von 600 mm Dmr sitzen auf einer Nabe und laufen in einem geschlossenen Gehäuse von sehr gedrungener, den Raum gut ausnützender Form. Die Welle ist hier an beiden Enden mit Stopfbüchsen durch das Gehäuse geführt und außen von besonderen Ringschmierlagern getragen.

Durch ihren mächtigen Aufbau fiel dem Beschauer besonders ins Auge die dreikränzige Etagenturbine, Fig. 88, welche die Firma für das neu erbaute große Elektrizitätswerk Beznau a/Aare konstruiert hat. Dieses zurzeit seiner Vollendung entgegengehende Werk nutzt das Gefälle aus, das in dem Unterlauf der Aare, nach ihrer Vereinigung mit der Reufs und der Limmat, etwa 10 km oberhalb

der Einmündung in den Rhein, zur Verfügung steht. Wie aus dem Lageplan, Fig. 89, hervorgeht, beschreibt der Fluss kurz oberhalb des Ortes Döttingen einen starken Bogen, der gleichzeitig ein erhebliches Gefälle in sich schließt; am oberen

Teil dieses Bogens ist der Flusslauf durch ein quer in ihn eingebautes, mit Schleusen regulierbares Wehr aufgestaut und giebt das erforderliche Wasser durch einen geraden, den Bogen abschneidenden Kanal an das unterhalb gelegene Turbinenhaus ab. Hier stehen alsdann, je nach der veränderten Wasserführung des Flusses, Nutzgefälle von 3,3 bis 5,7 m zur Verfügung; 11 Turbinen von der Art wie die hier zu beschreibende liefern jede folgende durchschnittliche Leistung:

Nettogefälle				
3,3	3,9	4,4	4,9	5,7 m
Wassermenge				
23,6	26	22,5	20,5	18,3 cbm/sk
Gesamtleistung				
750	1000	1000	1000	1000 PS

bei im Mittel 67 Umläufen; insgesamt ist also (einschließlich der Erregerturbinen) eine Leistung von wenigstens 9000 PS, höchstens 12000 PS vorhanden. Die Turbinen sind sämtlich mit den Generatoren unmittelbar gekuppelt; die Erregermaschinen werden von 2 kleinen Turbinen zu je 400 PS getrieben.

Fig. 90 zeigt die Gesamtanordnung einer Generatorturbine, Fig. 91 einen Teil des Grundrisses der ausgedehnten Anlage, Fig. 92 bis 94 die Einzelheiten der Turbine selbst. Schaufelung und Regulierung sind im wesentlichen die gleichen wie bei den oben beschriebenen kleineren Radialturbinen. Die schweren, hohl ausgeführten Regulirringe sind sorgfältig auf Kugeln gelagert und werden von einer seitlich angeordneten senkrechten Regulirwelle aus durch kräftige Hebel gedreht. Von den 3 Laufrädern hat das eine nach oben gerichteten Wasseraustritt, sodass es zur Entlastung der Welle beiträgt. Die in das Mauerwerk eingelegten Kränze der drei Leitvorrichtungen sind unter sich durch 4 starke gusseiserne Säulen zu einem festen Rahmen verbunden. Zur seitlichen Führung der hohlen gusseisernen Welle dienen 3 kräftige Halslager, von denen eines zwischen den beiden untersten Laufrädern liegt. Die senkrechte Belastung wird von dem oberhalb auf einem im Mauerwerk verankerten Deckel ruhenden Ringspurlager aufgenommen, welches durch Drucköl gespeist und nach einem der Firma patentierten Verfahren entlastet wird. Das Drucköl wird einer zentralen, von einer dreicylindrigen Pumpe betriebenen und mit zwei mächtigen Windkesseln zur Druckausgleichung ausgerüsteten Anlage entnommen, die mit 30 at Pressung arbeitet und gleichzeitig zum Betriebe der Servomotoren für die selbstthätigen Regulierungen sowie der hydraulischen

Fig. 88.

A.-G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co., Krlens bei Luzern:
Etagenturbine des Elektrizitätswerkes Beznau.

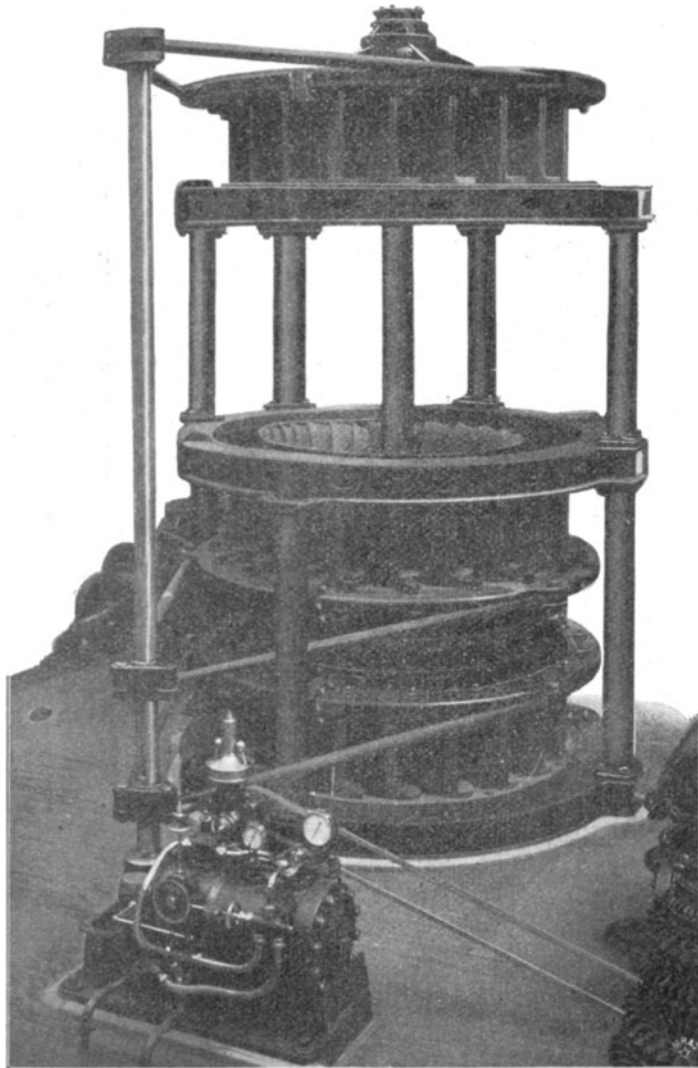
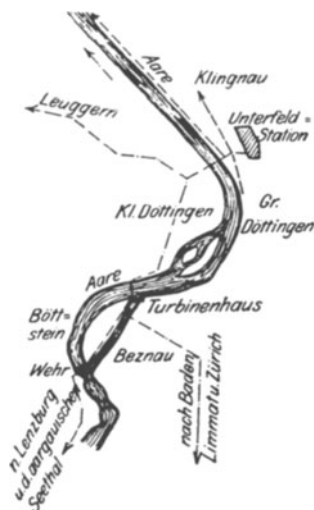


Fig. 89.

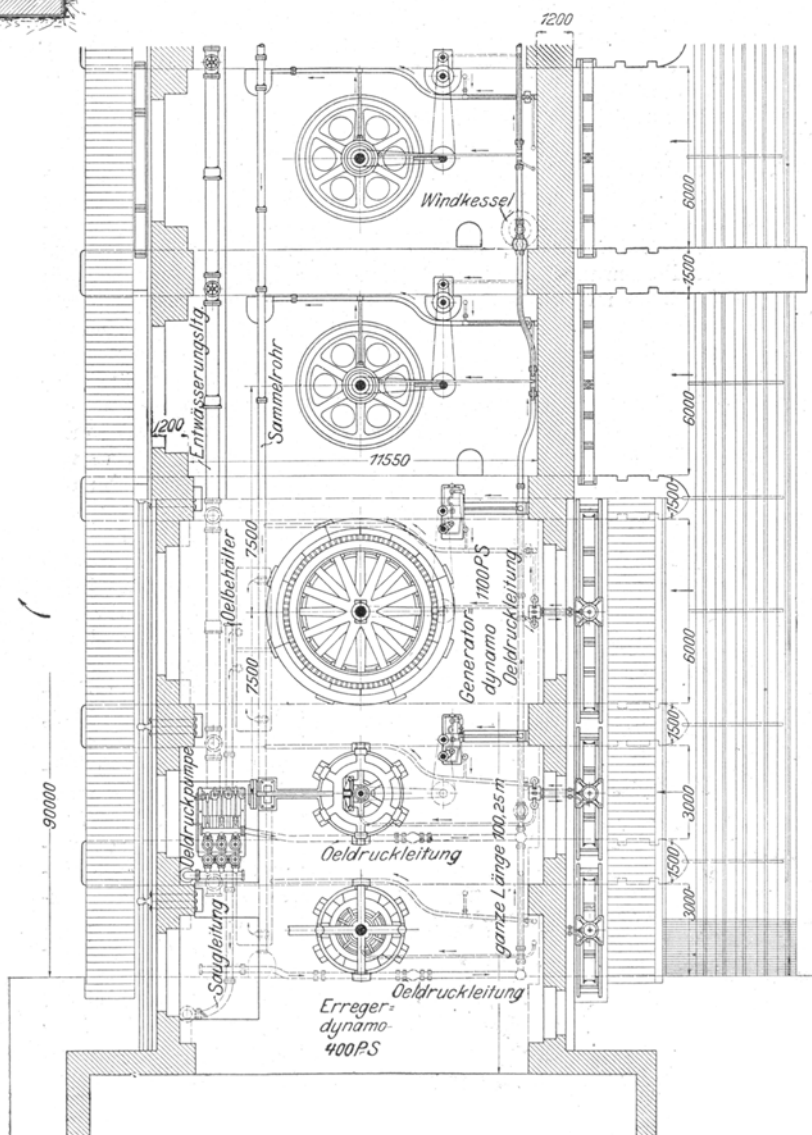
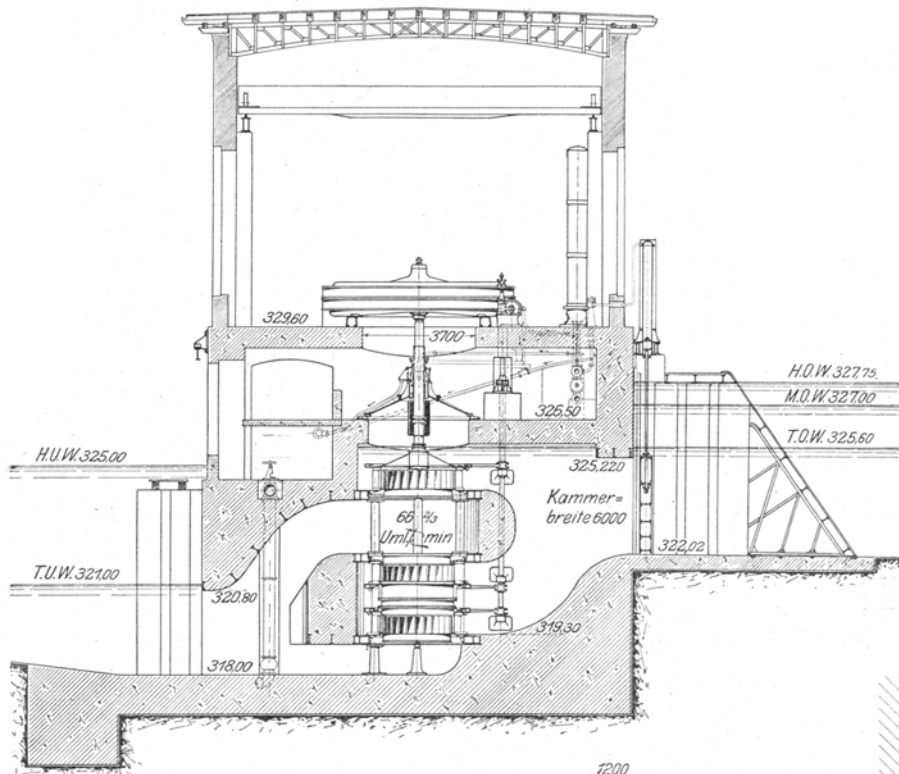
Elektrizitätswerk Beznau,
Lageplan. Maßstab 1 : 100 000.



angeordneten senkrechten Regulirwelle aus durch kräftige Hebel gedreht. Von den 3 Laufrädern hat das eine nach oben gerichteten Wasseraustritt, sodass es zur Entlastung der Welle beiträgt. Die in das Mauerwerk eingelegten Kränze der drei Leitvorrichtungen sind unter sich durch 4 starke gusseiserne Säulen zu einem festen Rahmen verbunden. Zur seitlichen Führung der hohlen gusseisernen Welle dienen 3 kräftige Halslager, von denen eines zwischen den beiden untersten Laufrädern liegt. Die senkrechte Belastung wird von dem oberhalb auf einem im Mauerwerk verankerten Deckel ruhenden Ringspurlager aufgenommen, welches durch Drucköl gespeist und nach einem der Firma patentierten Verfahren entlastet wird. Das Drucköl wird einer zentralen, von einer dreicylindrigen Pumpe betriebenen und mit zwei mächtigen Windkesseln zur Druckausgleichung ausgerüsteten Anlage entnommen, die mit 30 at Pressung arbeitet und gleichzeitig zum Betriebe der Servomotoren für die selbstthätigen Regulierungen sowie der hydraulischen

Fig. 90 und 91.

Elektrizitätswerk Beznau, Gesamtanordnung. Maßstab 1:250.



Bewegung der Einlassschützen dient; eine zweite Speisepumpe ist, der Vorsicht halber, zur Reserve aufgestellt.

Der elektrische Teil der Anlage ist von Brown, Boveri & Co. in Baden (Schweiz) ausgeführt. Die Maschinen erzeugen dreiphasigen Wechselstrom von 8000 V, womit der Bedarf der näheren Umgebung des Werkes an Licht und Kraft befriedigt wird; für das weiter entlegene Absatzgebiet, das sich bis auf das aargauische Seenthal, die Städte Baden und Zürich erstrecken soll, wird die Spannung auf 20000 V erhöht.

Fig. 92 bis 94.

Elektrizitätswerk Beznau, Turbine. Maßstab 1:30.

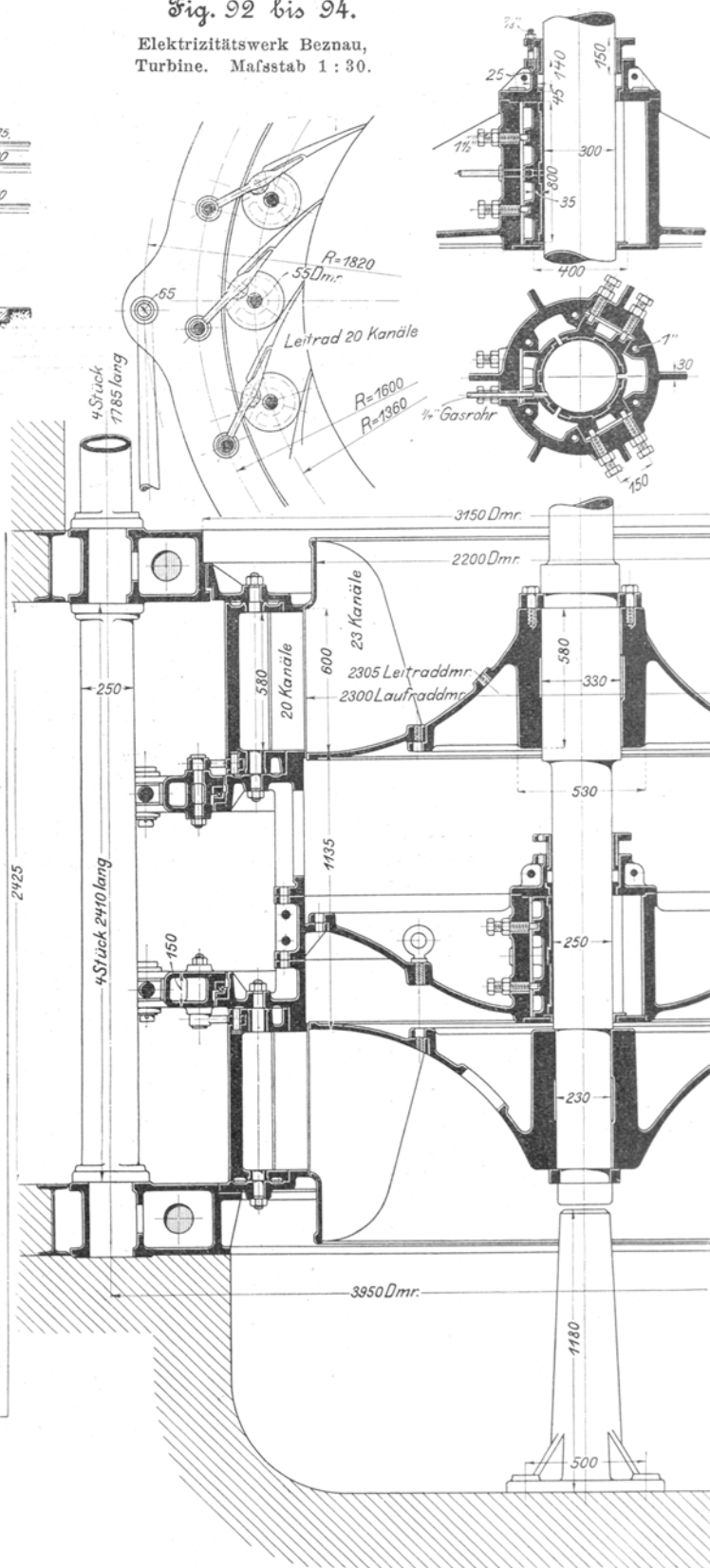
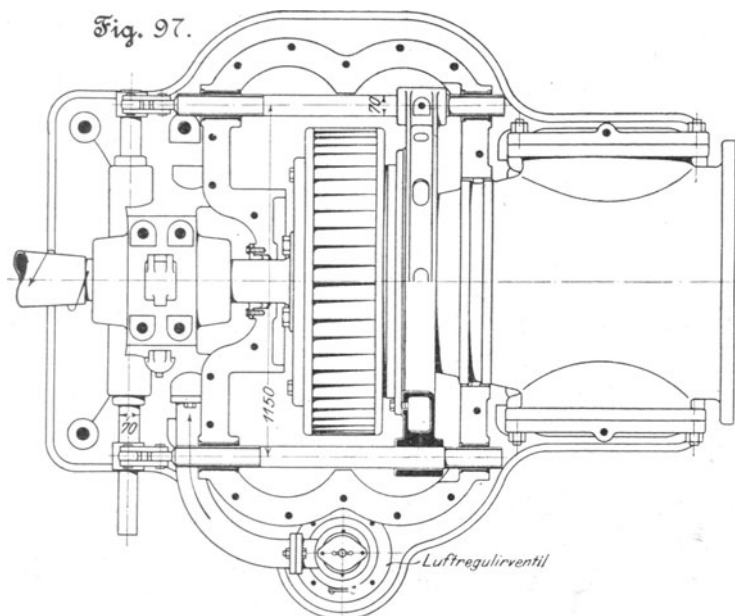
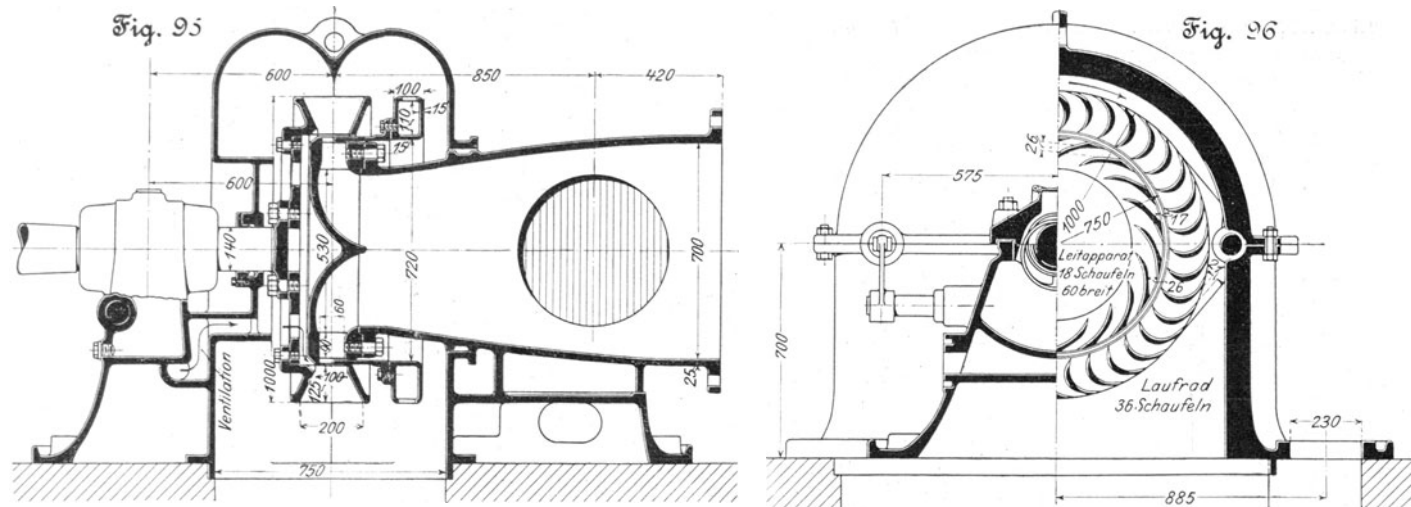


Fig. 96 bis 98. A. G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co., Kriens bei Luzern: Freistrahlturbine; 400 Uml./min. Mafsstab 1 : 25.



Von den weiteren Ausstellungsgegenständen der Firma ist eine liegende, radial von innen beaufschlagte Freistrahlturbine mit Spaltschieberregulierung zu erwähnen, die in Fig. 95 bis 97 dargestellt ist. Sie war mit 4 gleichen Turbinen für das Elektrizitätswerk Schwyz bestimmt und leistet bei einem Gefälle von 75 m und einem Wasserverbrauch von 0,8 cbm/sk 600 PS bei 400 Uml./min.

Das fliegend angeordnete Laufrad hat 750 mm Innendurchmesser und 36 gusseiserne Schaufeln, der unmittelbar vor den Kopf des Einlaufrohres geschraubte Leitkranz deren 18. Bemerkenswert ist bei beiden die nach dem Austrittsumfang hin auftretende Verdickung der Schaufeln. Der regulierende Spaltschieber ist zur Versteifung mit einem kräftigen

Hohlring verschraubt und wird von zwei seitlichen, das Gehäuse in Rotgussführungen durchdringenden Stangen bewegt; diese ihrerseits werden von einer Welle aus bethätigt, die unter dem Hauptlager im Gehäuse drehbar gelagert ist. Die ganze Turbine ist in einem zweiteiligen Gehäuse luftdicht eingebaut und steht auf dem im Betonmauerwerk ausgesparten Saugrohr. Ein selbstthätig wirkendes Luftregulirventil dient zur Lüftung der Schaufeln und zur Regelung des Wasserstandes im Saugrohr. Sämtliche Teile sind leicht zugänglich und bequem zu montiren.

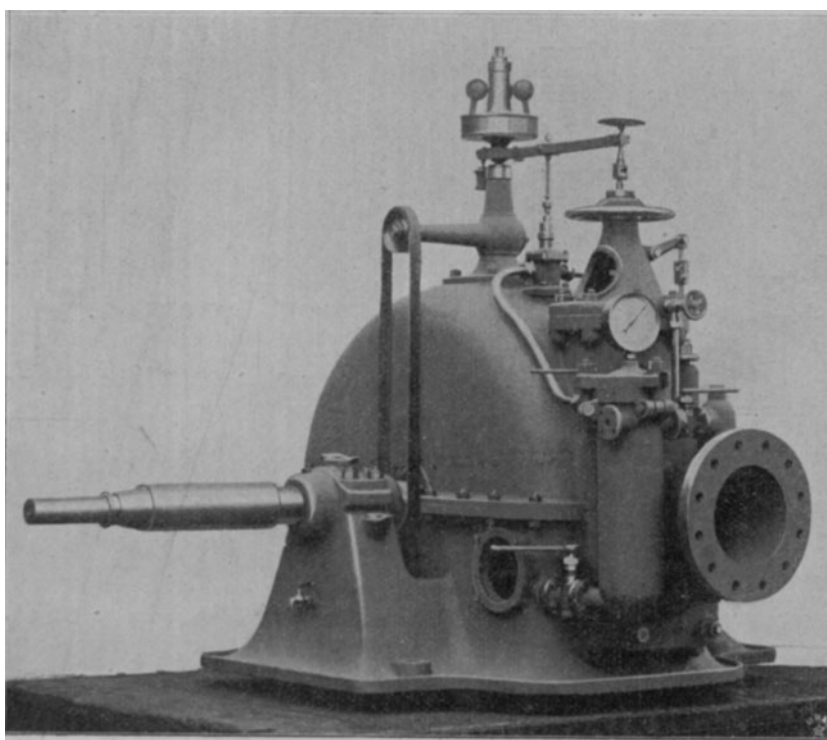
Aehnlich wie die andern Schweizer Firmen hatte auch die A.-G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co. die Ausstellung mit einer Reihe Hochdruckmotoren von der bekannten, den Peltonrädern ähnlichen Gestalt mit löffelförmigen Schaufeln, Fig. 98, beschriftet. Wie sich für die Schaufelung der radialen Ueberdruckturbinen das Vorbild der amerikanischen Turbine immer mehr geltend macht, so ist auch die Konstruktion des Peltonrades von den Schweizer Firmen weiter entwickelt und einem sinngemäßen Ausbau unterzogen worden. Dabei ist der im Querschnitt kreisrunde Wasserstrahl des Peltonrades in einen rechteckigen verwandelt. Wie ein Vergleich mit den 1896 in Genf ausgestellten Modellen lehrt¹⁾,

haben diese Motoren durch die Vereinigung mit den selbstthätig wirkenden Druck- und Geschwindigkeitsreglern sowie durch die als vollendet zu bezeichnende Technik der Ausführung einen derartigen Grad der Vollkommenheit und Anwendungsfähigkeit erreicht, dass für die Ausnutzung kleiner Wassermengen bei hohen Gefällen andere Bauarten diesen handlichen, sparsam und betriebssicher arbeitenden Maschinen wohl kaum mehr gewachsen sein dürften.

Fig. 99 bis 101 zeigen einen von den 5 ausgestellten Hochdruckmotoren, der bei 150 m Gefälle, 0,24 cbm/sk Wasserverbrauch und 500 Uml./min 360 PS leistet. Die mit dem Laufradkranz in einem Stück gegossenen Löffelschau-

Fig. 98.

Hochdruckturbine System »Bell«.



¹⁾ Schweiz. Bauzeitung 1896.

feldn sind nach aufsen stark — etwa bis zur $2\frac{1}{2}$ fachen Eintrittbreite — ausgeschweift und zeigen in der Mitte die scharfe den Wasserstrahl teilende Rippe. Zum Schutz gegen Abspritzen des Wassers nach innen und seitwärts sind dem Einlauf gegenüber am Gehäuse Schutzkappen angebracht, die das Laufrad teilweise umhüllen. Die Regulierung des Aufschlagwassers besorgt eine drehbare Zunge, die, von unten durch den Wasserdruck belastet, sich oben gegen die Kolbenstange des Servomotors legt. Die Regulierung greift selbstthätig ein, und gleichzeitig wirkt der mit ihr verbundene Druckregler in folgender Weise. Ein Schwungkugelregulator C, Fig. 100, bethätigt das Steuer-ventil S des Servomotors M in üblicher Weise; letztere beiden arbeiten, um sie der nachteiligen Berührung mit verunreinigtem Aufschlagwasser, namentlich auch Sand, zu entziehen, der Betriebsicherheit wegen mit einer Oelfüllung, die unter dem Druck des Einlaufrohres steht. Der Cylinder des Servomotors M ist im Gehäuse über der Regulirzunge angebracht, und die beiderseits in Kugelzapfen gelagerte Stange seines hohlen Kolbens drückt die Zunge bei eintretender Entlastung abwärts. Mit der Zunge durch seitliche Hebel verbunden und um dieselbe Achse drehbar ist ein cylindrischer Schieber P, der eine neben dem Einlauf angebrachte Leerlauföffnung für gewöhnlich durch Kraftschluss versperrt. In dem hohlen Kolben des Servomotors führt sich nämlich ein zweiter Kolben L, der gegen eine am andern Ende auf einer festen Platte des Leitkranzes aufliegende Feder drückt und durch ein Querstück und seitliche Hebel mit eben jenem Leerlaufschieber P verbunden ist. Hinter den inneren Kolben kann nun durch eine kleine Bohrung Flüssigkeit treten, deren Druck aber bei langsamer Bewegung oder gar Ruhe des Servomotorkolbens nicht soweit steigen kann, um die Feder zusammenzupressen; der innere Kolben wird dann also, da er anderseits an einem Anschlag anliegt, durch die Feder in seiner Lage gehalten, und der Freilauf bleibt geschlossen. Bei einer starken Einwirkung des Servomotorkolbens indessen steigt der Druck der Flüssigkeit hinter dem inneren Kolben für kurze Zeit soweit, dass dieser eine abwärtsgehende Bewegung erfährt und den Frei-

Fig. 100 bis 102. A.-G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co., Kriens bei Luzern: Hochdruckturbine; 500 Uml./min. Maßstab 1 : 25.

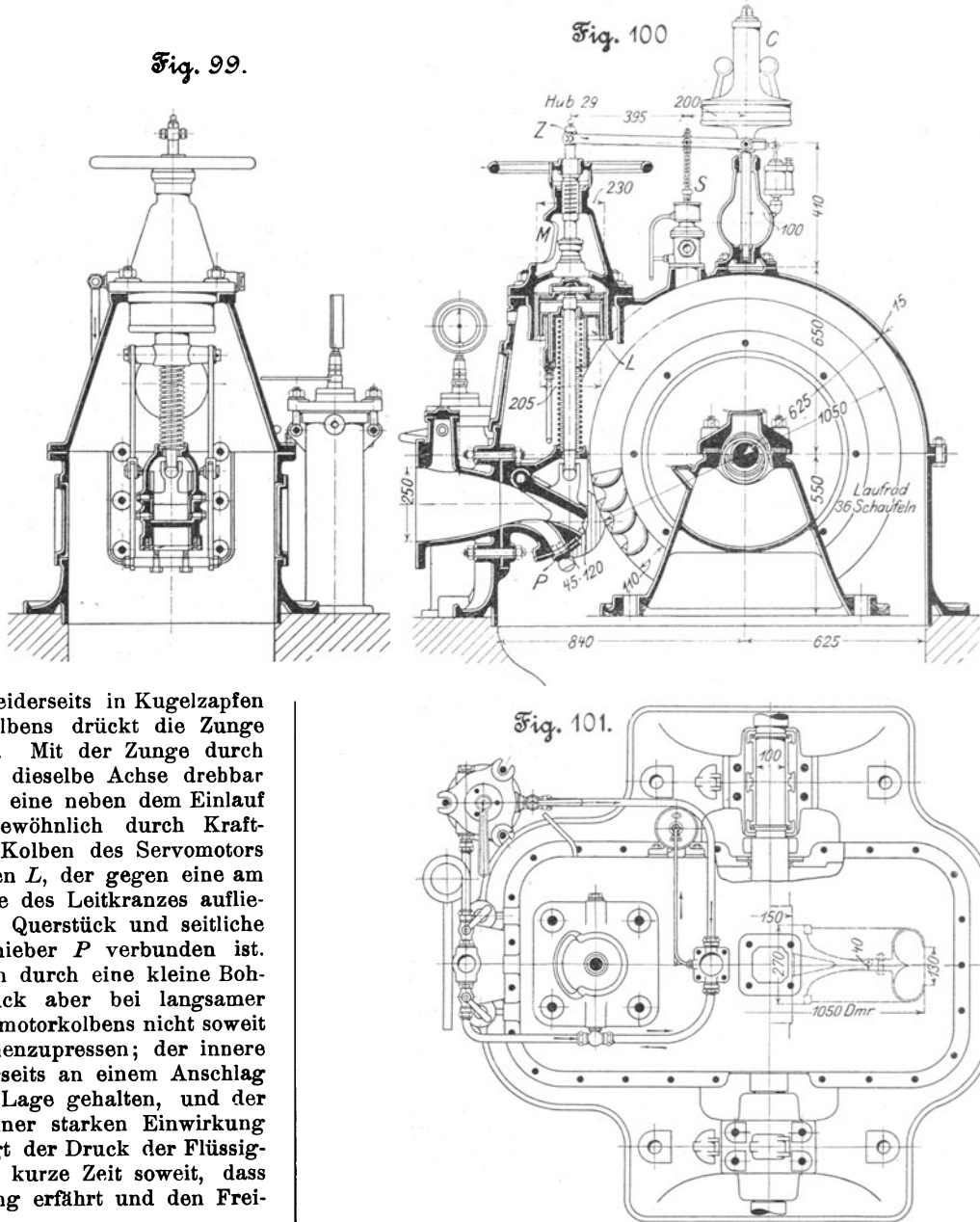
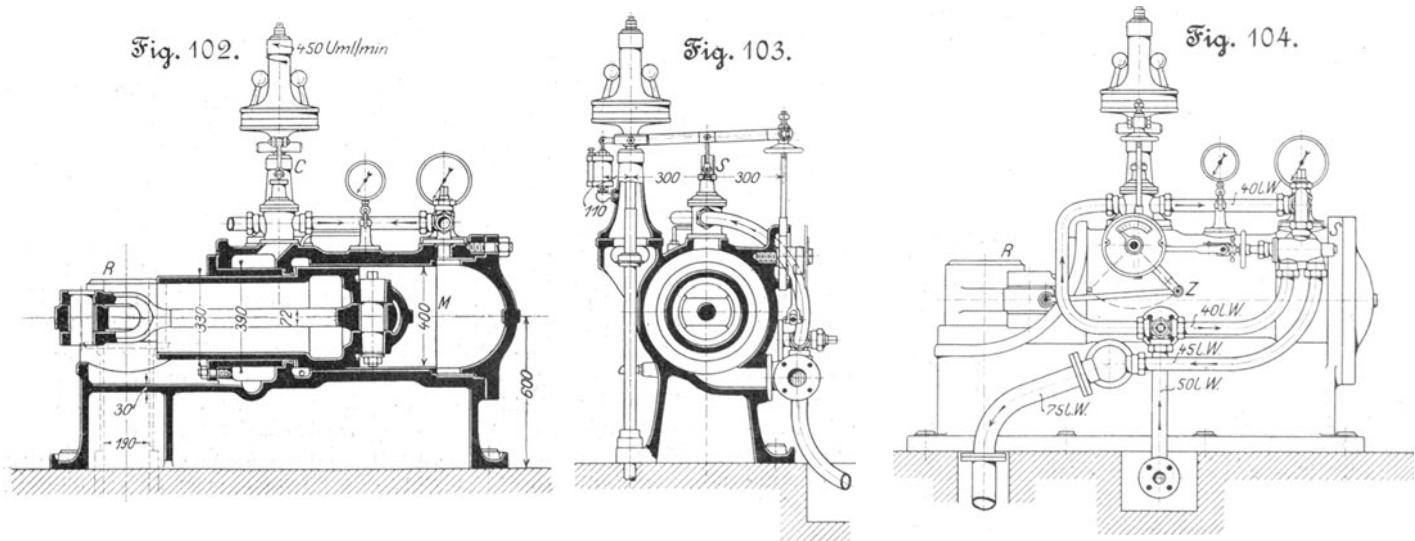


Fig. 103 bis 105. A.-G. der Maschinenfabrik von Th. Bell & Co., Kriens bei Luzern: Hydraulischer Regulator. Maßstab 1 : 30.



lauf öffnet; durch den entgegenwirkenden Federdruck wird aber alsbald wieder eine entgegengesetzte Bewegung herbeigeführt, indem der Flüssigkeitsdruck sich ausgleicht, und der Freilauf wird allmählich, ohne dass störende Druckschwankungen in der Leitung entstehen könnten, wieder geschlossen. Das unbenutzte Entweichen des Wassers durch den Freilauf ist demnach bei dieser Anordnung nach Möglichkeit beschränkt. Zur genauen Einstellung des gesamten Getriebes dienen an verschiedenen Stellen eingeschaltete Nachstellvorrichtungen mit genauen Einteilungen, sodass stets sicheres Arbeiten zu erwarten ist. Nach den Angaben der Firma hat sich dieser ihr übrigens patentirte Geschwindigkeits- und Druckregler bereits derart bewährt, dass sich bei vollständiger plötzlicher Entlastung einer Turbine von mehreren hundert Pferdestärken bei 400 m Gefälle die Umlaufzahl nicht mehr als um 3 vH, der Druck in der 2 km langen Leitung um kaum 10 vH veränderte.

Außer den besprochenen Turbinenanlagen hatte die Firma noch drei verschiedene Regulatoren einzeln ausgestellt: einen Klinkenregulator, einen ganz neuen hydro-mechanischen sowie einen rein hydraulischen Regulator, der auch für die Beznauer Anlage Verwendung gefunden hat. Er ist in Fig. 102 bis 104 dargestellt und entspricht in seiner Zusammensetzung dem in der Einleitung gegebenen Schema. Der Servomotor *M* wirkt mit einem Differentialkolben auf die Regulirwelle *R*; im übrigen unterscheidet sich seine Wirkungsweise nicht von den bereits besprochenen Systemen.

Eine Reihe Laufradkränze für die Hochdruckmotoren, mit den Schaufeln in einem Stück gegossen, lieferte durch ihre überaus saubere Ausführung den Beweis einer geradezu als vollendet zu bezeichnenden Gusstechnik. Dieselbe war auch an allen übrigen Ausstellungsgegenständen zu beobachten und bildete im Verein mit der peinlich genauen und gefälligen Ausführung aller Einzelheiten ein Zeugnis für die hervorragende Leistungsfähigkeit der Firma.

Piccard, Pictet & Co. (vorm. Faesch & Piccard) Genf.

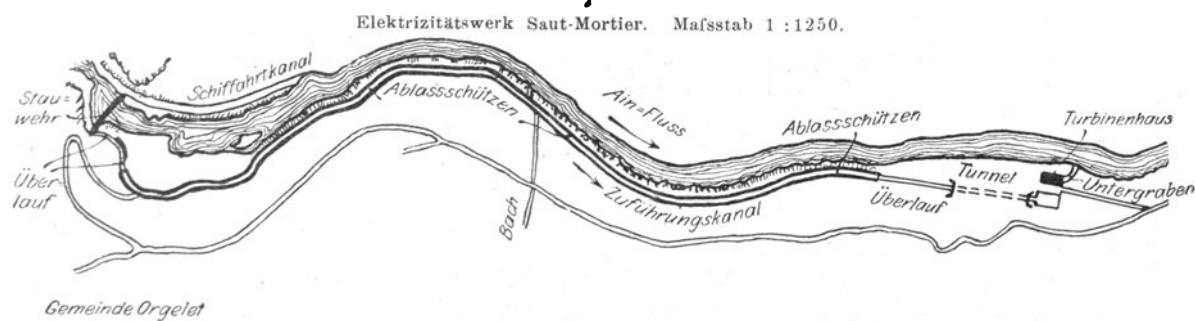
Nach den hervorragenden Leistungen der Firma, die im Laufe der Zeit bekannt geworden sind, konnte man auch in Paris eine gute Vertretung erwarten. Die Ausstellung war mit wenigen, aber bemerkenswerten Gegenständen besetzt, die sich konstruktiv durch besondere Eigenart auszeichneten. Die Firma hat dem Bau von Radialturbinen schon frühzeitig besondere Beachtung geschenkt und grössere Ausführungen dieser Art vorgenommen zu einer Zeit, als in der Schweiz die achsialen Turbinen noch vorherrschend waren. Sie ist sowohl in der Verwendung des Baustoffes wie in der Anordnung der Turbinen stets unabhängig vorgegangen und dadurch zu ganz eigenartigen, aber darum nicht minder wertvollen und voll-

regulatoren vorhanden, mit denen auch alle ausgestellten Turbinen ausgerüstet waren.

Die ersterwähnte Turbine, mit wagerechter Achse als fünfkranzige, von aussen beaufschlagte Radialturbine mit Spaltschieberregulierung ausgeführt, soll bei 17,2 m Gefälle und 250 Uml./min 700 PS leisten; sie war neben 3 gleichen Einheiten für das von der Union électrique in Saut-Mortier, Dep. Jura, Südfrankreich, erbaute Kraftwerk bestimmt. Diese sehr beachtungswerte Anlage¹⁾ bezweckt, die Wasserkraft des Ain-Flusses auszunutzen, der mit reisendem Lauf in engen Windungen die Felsen des Jura durchströmt; der Fluss liefert zwar ein leicht zu gewinnendes Gefälle, führt aber, wie alle Gebirgswässer starken Schwankungen unterworfen, in den Zeiten niedrigen Wasserstandes nur eine Wassermenge von 4 cbm/sk. An der für das Krafthaus in Aussicht genommenen Stelle bei Saut-Mortier in der Gemeinde Cernon wäre deshalb nur eine Leistung von 600 PS zu gewinnen gewesen, welche die erforderlichen kostspieligen Wasserbauten nicht gerechtfertigt hätte. Indessen war die unternehmende Gesellschaft in der Lage, ein ausserordentlich günstig gelegenes natürliches Sammelbecken als Ausgleich heranzuziehen: den See von Chalain, der rd. 45 km flussaufwärts von dem Bett des Ain nur durch eine 1300 m breite Alluvialschicht getrennt wird und mit seiner Sohle 32 m über dem Flussbett liegt. Dieses Seebecken von 203 ha Oberfläche und 34 m Tiefe liefert, wenn sein Spiegel in Zeiten des Wassermangels um 10 m gesenkt wird, eine Reserve von 20 Mill. cbm, die dauernd eine Wassermenge von 16 cbm/sk für die Turbinenanlage bei 17 m Gefälle sicherstellt. Somit war mit einer Gesamtleistung von rd. 3000 PS in gewöhnlichen Zeiten, mindestens aber mit 2500 PS bei Wassermangel zu rechnen. Der See ist zu dem Zwecke durch einen unterirdischen, mit Schütze regulirten Kanal mit dem Flusslauf in Verbindung gesetzt, um je nach Bedarf dessen Wasserführung zu ergänzen.

Die Wasserentnahme oberhalb des Turbinenhauses und die Zuleitung dorthin führten wegen der steilen, felsigen Ufer und des gewundenen Flusslaufes zu sehr bemerkenswerten Wasserbauten. Fig. 105 zeigt den Verlauf des teils offen, teils unterirdisch geführten Obergrabens, in den an verschiedenen Stellen zur Regulierung und Entfernung überschüssigen Aufschlagwassers Ueberläufe und Ablassschützen eingebaut sind. Seine Absperrung am oberen Ende erfolgt durch Rollschützen von der Anordnung, wie sie Fig. 106 und 107 zeigen; zur Abdichtung der Schütze dient ein gebogenes 3 mm starkes Blech, das von dem Wasserdruck gegen das Mauerwerk gepresst wird. Für die Holzflößerei ist durch einen das Stauwehr umgehenden Kanal Sorge getragen, der stellenweise halbtunnelartig in die Uferfelsen eingesprengt werden musste. Auch der Bau des Turbinenhauses, dessen Anordnung

Fig. 105.



kommenen Ausführungen gelangt. Es sei hier nochmals an die 5000 pferdigen Niagara-Turbinen erinnert¹⁾, welche die ersten Einheiten von solcher Größe darstellten, und an denen wertvolle Erfahrungen für weitere ähnliche Ausführungen gesammelt werden konnten.

Von den drei ausgestellten Turbinen vertrat nur eine die Bauart der radialen Ueberdruckturbinen; eine andere war als teilweise beaufschlagte Freistrahlturbine nach der Schwamkrug-Bauart ausgebildet, die dritte ein Hochdruckmotor mit Löffelrad. Außerdem war eine Reihe der bekannten Klinken-

aus Fig. 108 und 109 hervorgeht, begegnete infolge des sehr beschränkten Raumes, sowie wegen der häufig und plötzlich steigenden Wasserstände erheblichen Schwierigkeiten; die Turbinen sind aus letzterem Grunde sehr hoch im Saugrohr aufgestellt.

Entsprechend der hier geschilderten Eigenart des Wasserlaufes musste die Konstruktion der Turbine stark veränderlichen Beaufschlagungen Rechnung tragen, sodass bei kleiner werdendem Gefälle die regelrechte Leistung durch Vergrößerung der Wassermenge innegehalten werden konnte. Dies ist in der aus Fig. 110 bis 112 ersichtlichen Weise geschehen. Das

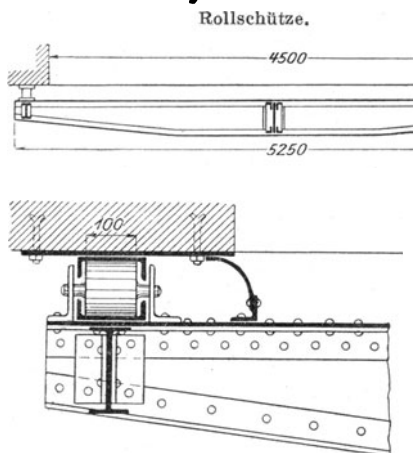
¹⁾ Vergl. Z. 1893 S. 835.

¹⁾ Génie civil 1901 Heft 15.

von außen beaufschlagte Laufrad von 1050 mm Dmr. zeigt fünf, mit den Schaufeln und untereinander in einem Stück gegossene, mit einer Nabe verschraubte Kränze, von denen vier, mit gleicher Schaufelung versehen und symmetrisch zur Nabe angeordnet, für das mittlere Gefälle berechnet sind; der fünfte mit etwas engerer Schaufelteilung und größerem Winkel soll vorwiegend bei Hochwasser und kleinerem Gefälle arbeiten. Die Ausströmung geht nach beiden Seiten in zwei gesonderte Saugrohre, die durch Aussparungen in der Laufradnabe und ein besonderes Umföhrungsrohr miteinander in Verbindung stehen, sodass keine störenden Druckunterschiede bei unsym-

Achse und Teilbeaufschlagung, Fig. 113 bis 115, war für die Walliser Industriegesellschaft in Vernayaz im Rhonethal bestimmt und soll den Wasserlauf ausnutzen, der die jedem Besucher des Rhonethales bekannten Pissevache-Fälle bildet. Damit diese erhalten bleiben, ist die Turbinenanlage unmittelbar über den rd. 60 m hohen Fellen in einem in die Felsen getriebenen Tunnel untergebracht. Das Wasser wird den Turbinen von oben mittels genieteter Stahlrohrleitung zugeführt, die sich dem Gelände, einer wilden, zerrissenen Felsschlucht, so gut wie möglich anpasst; dies wurde aufer durch Krümmen durch keilförmige, zwischen die Flansche der

Fig. 106 und 107.



metrischer Beaufschlagung in ihnen entstehen können.

Die Regulierung mittels des von einer Seite zwischen Lauf- und Leitrad geföhrten Spaltschiebers bedingt eine peinlich genaue Herstellung; der Schieber besteht aus Stahlblech, ist geschweifst und innen wie aufer abgedreht. Mit einem gusseisernen Versteifungsringe verschraubt, föhrt er sich in dem rechtsseitigen Teil des Gehäuses an Leisten, die ihn gleichzeitig gegen Verdrehung sichern; zwei seitlich in Stopfbüchsen aus dem Gehäuse geföhrte Spindeln mit flachgängigem Gewinde, die durch Kegelräder und Schraubenmutter von dem mechanischen Servomotor der Regulierung angetrieben werden, verschieben ihn. Die beiden Saugrohre sind symmetrisch zu dem schmiedeisernen Einlassgehäuse, aber — wegen des Spaltschiebers — unsymmetrisch zum Laufrade angeordnet; im rechtsseitigen greift der ununterbrochenen Wasserföhrung wegen ein fester cylindrischer Blechmantel bis in den Regulierschieber hinein. Eigenartig ist die Föhrung der langen Welle auf der linken Seite durch die lange zweiteilige, am einen Ende im Gehäusedeckel, am andern in einem besonderen Armkreuz gestützte Büchse.

Die Turbinen, von denen Fig. 112 ein Bild giebt, sind unmittelbar mit Dynamos der Maschinenfabrik Oerlikon gekuppelt, welche mehrphasigen Wechselstrom von 7500 V liefern. Dieser wird in einem Umkreise von 20 km zu Licht- und Kraftzwecken abgegeben.

Die ausgestellte 1000 pferdige Freistrahlturbine mit wagerechter

Fig. 108 und 109.

Piccard, Pictet & Co., Genf: Elektrizitätswerk Saut-Mortier, Turbinenhaus. Mafsstab 1 : 250.

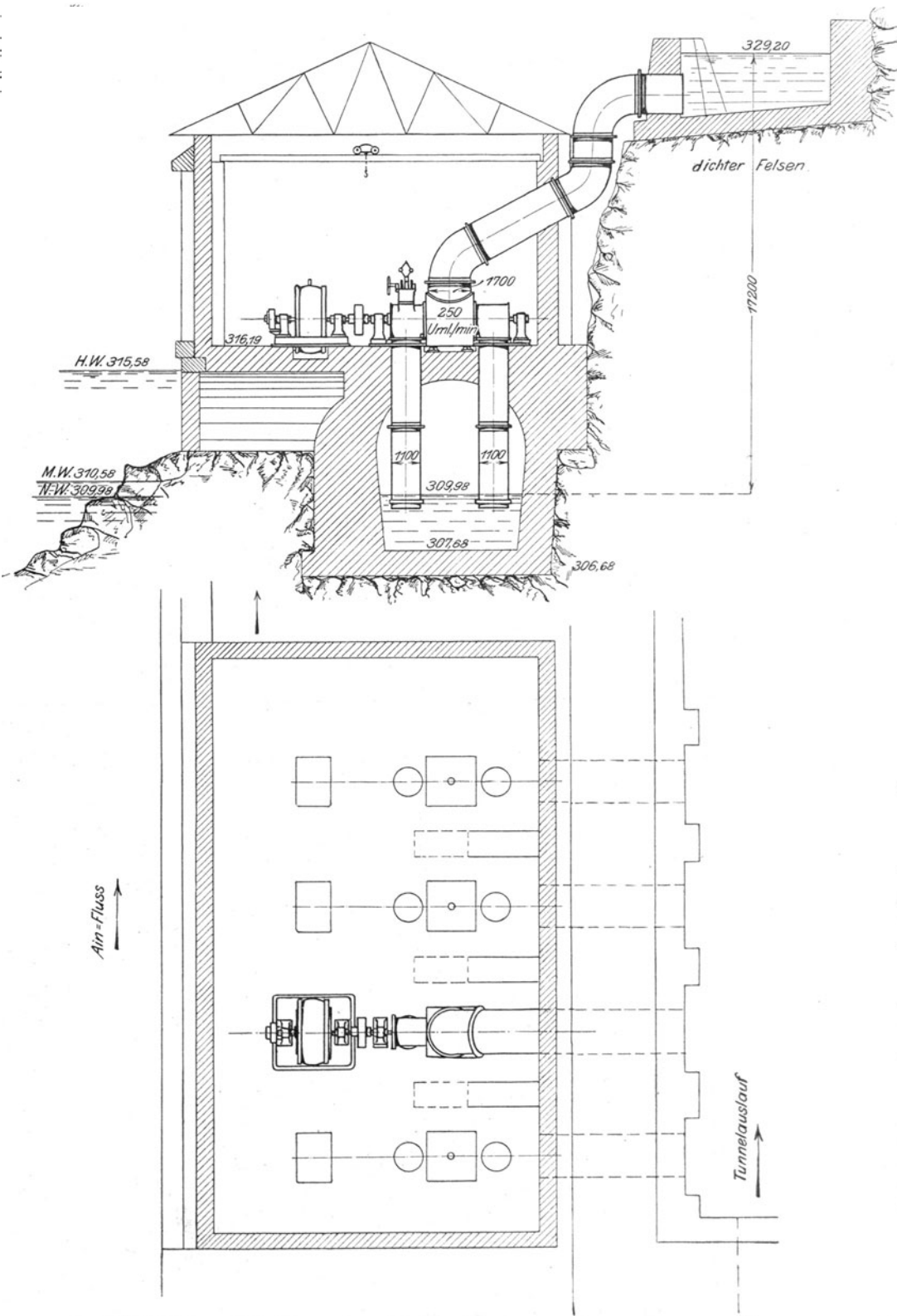


Fig. 110 bis 112.

Piccard, Pictet & Co, Genf:
Elektrizitätswerk Saut-Mortier, Ueberdruckturbine. Mafsstab 1:40.

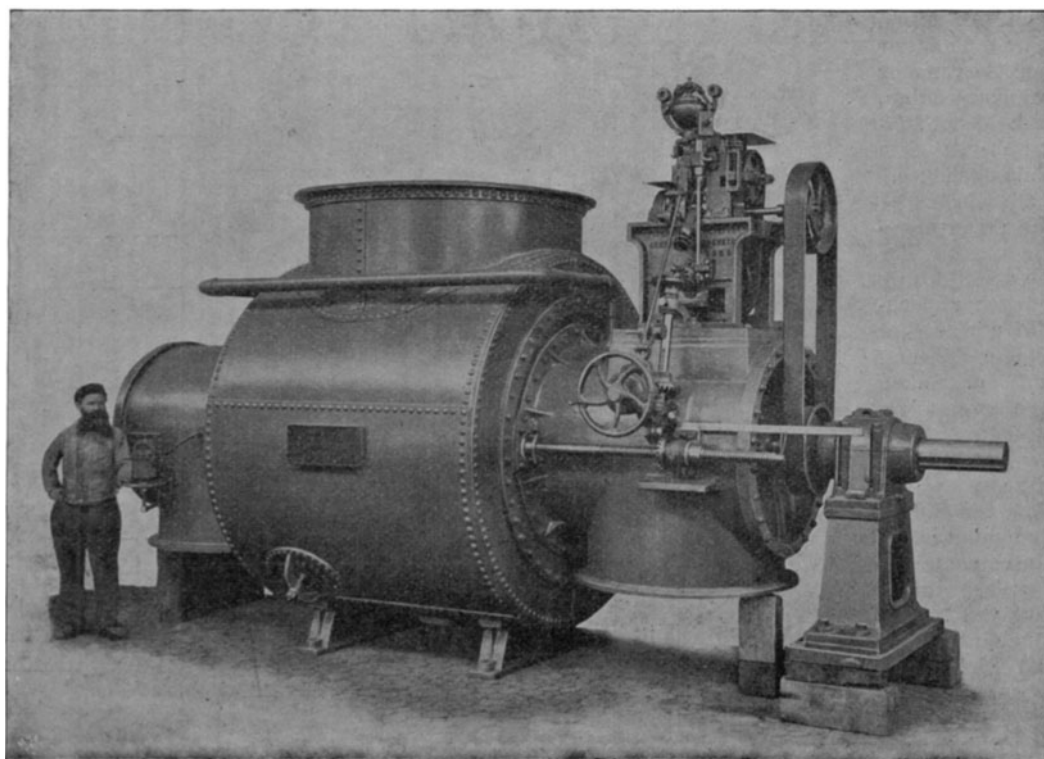
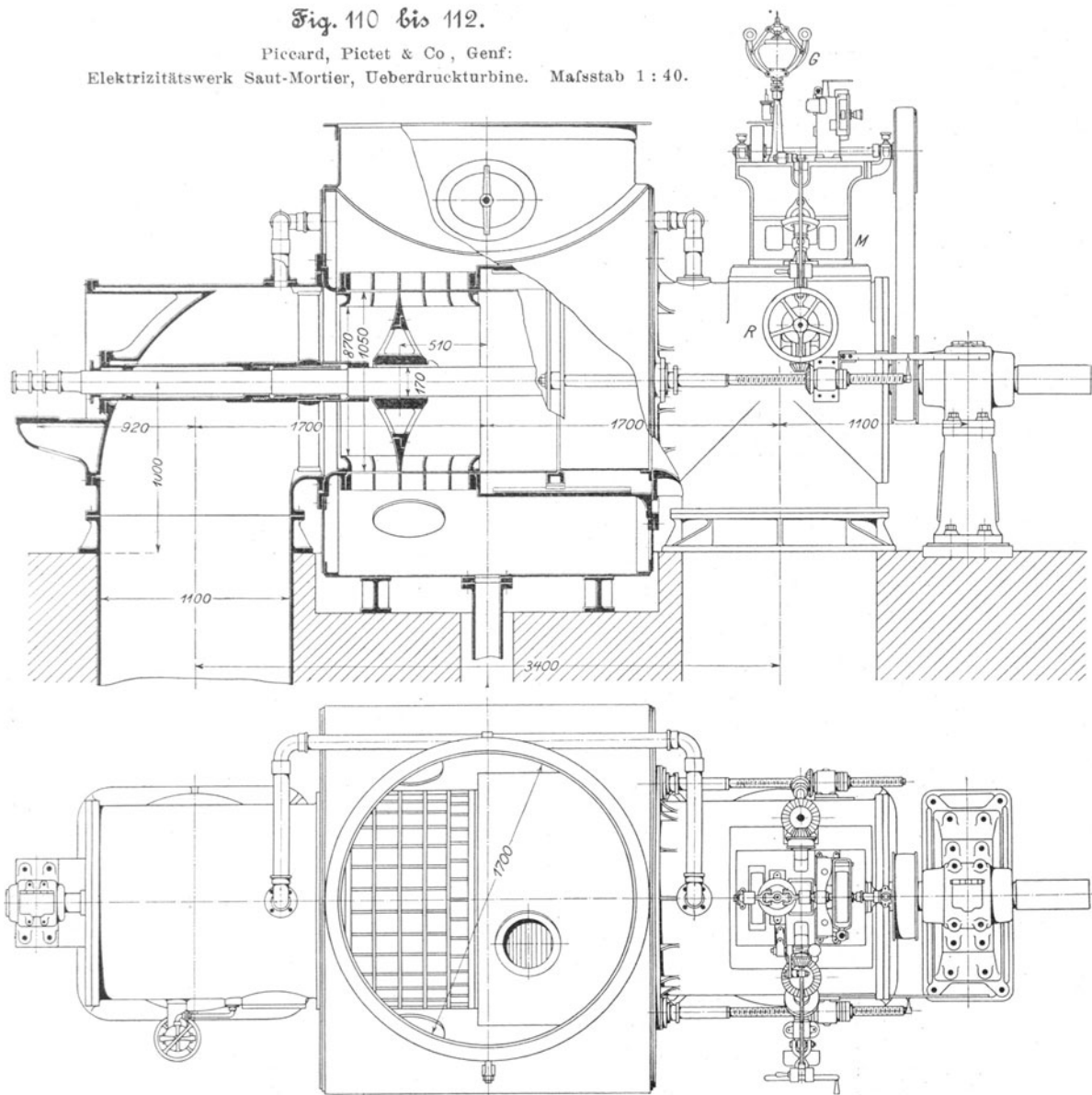


Fig. 113.

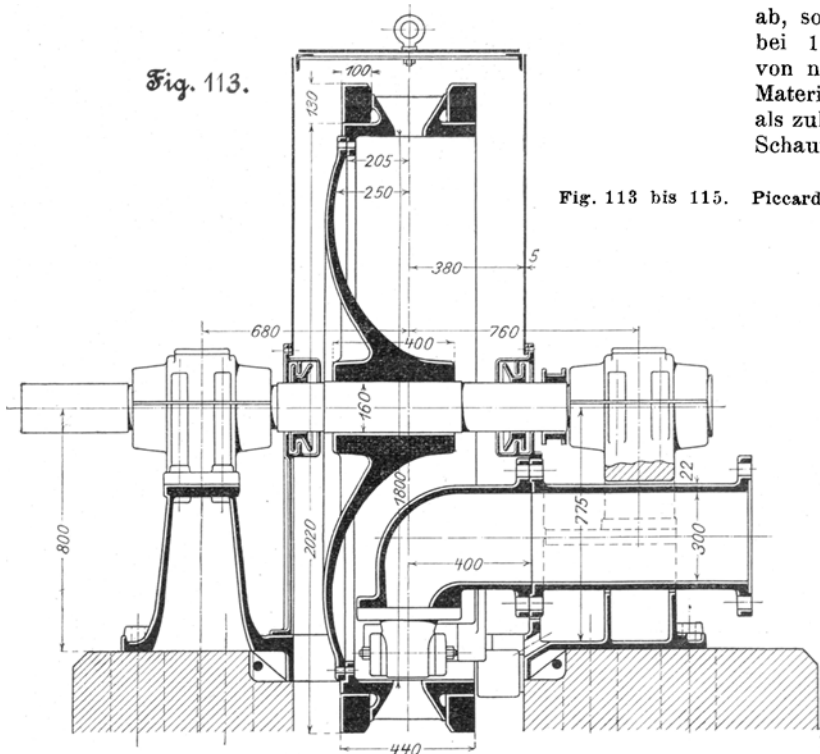
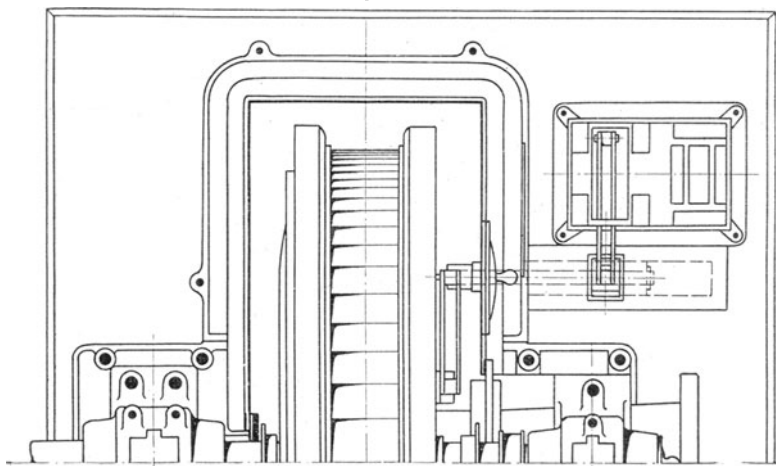


Fig. 115.



ab, so würden diese Ringe allein durch ihre eigene Fliehkraft bei 112 m/sk Umfangsgeschwindigkeit eine Beanspruchung von nahezu 1000 kg/qcm erfahren, was bei dem gewählten Material und den angenommenen ungünstigsten Umständen als zulässig anzusehen ist. Der Laufradkranz ist mit den Schaufeln in einem Stück gegossen und seitlich mit der

Fig. 113 bis 115. Piccard, Pictet & Co., Genf: Freistrahlturbine. Maßstab 1:25.

Fig. 114.

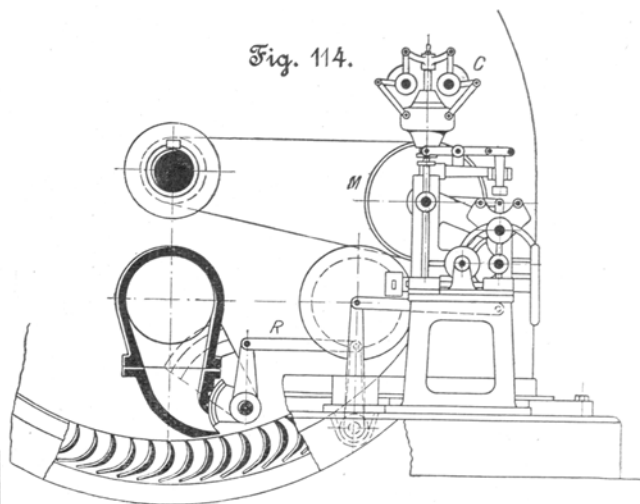
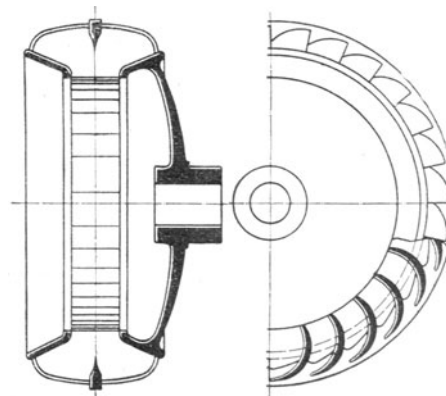


Fig. 116 und 117.

Piccard, Pictet & Co., Genf: Laufrad einer Löffelturbine.



einzelnen Rohre gelegte und durch die Verbindungsschrauben zugleich festgehaltene Stahlringe erreicht.

Von den 6 geplanten Turbinen war zur Zeit der Ausstellung bereits eine mit einer Dynamo gekuppelte im Gange und lieferte den elektrischen Strom an eine im Rhonethal gelegene Karbidfabrik.

Den Turbinen steht ein Gefälle von 500 m zur Verfügung, sodass sie bei einer Leistung von 900 bis 1000 PS und bei 500 Uml./min zusammen bis zu 1,2 cbm/sk Aufschlagwasser nötig haben, eine Menge, die wohl nur kurze Zeit im Jahre vorhanden sein dürfte. Bei einem äußeren Laufraddurchmesser von 2150 mm ergibt sich die außergewöhnlich hohe Umfangsgeschwindigkeit von 56 m/sk, die sich bei Versagen der Regulierung im Leerlauf auf nahezu das Doppelte erhöhen könnte. Den dadurch hervorgerufenen Massenkraften würde das gegossene Laufrad nicht mehr standhalten; es sind deshalb 2 kräftige, von der Dillinger Hütte gewalzte gusstählerne Ringe von 100 x 130 mm Querschnitt warm daraufgezogen, die gleichzeitig auch die Schwungmasse für die Regulierung abgeben sollen. Sieht man von der durch die Streckung beim Aufziehen hervorgerufenen Spannung

Armscheibe verschraubt. Das Wasser strömt durch ein unter dem einen Lager liegendes Rohr aus Stahlguss von der Seite her aus nur einer Zelle, deren Weite durch einen vor ihrer Mündung schwingenden cylindrischen Schieber geregelt wird; dieser Schieber wird durch ein Hebelwerk von dem seitlich aufgestellten Regulator bethätigt. Um bei dem hohen Wasserdruck von 50 at Wasserverluste durch Undichtheiten möglichst zu vermeiden, ist für eine peinlich genaue Führung des Schiebers gegenüber der Leitvorrichtung in entsprechend ausgedrehten Flächen Sorge getragen. Die Drehachse des Schiebers ist so gelegt, dass das Moment der Resultierenden des auf ihm lastenden Druckes in bezug auf die Achse möglichst gleich null ist, das Regulirstänge also im wesentlichen nur die auftretenden Reibungswiderstände zu überwinden hat.

Mit dem Bau von Löffelturbinen für hohe Gefälle beschäftigt sich die Firma ebenfalls bereits längere Zeit. Fig. 116 und 117 geben eine Skizze von dem Laufrade des ausgestellten Hochdruckmotors. Es fällt auf durch die weitgehende Verbreiterung am äußeren Kranz sowie die jedenfalls zur Versteifung der Schaufeln dienende mittlere Rippe. Auch hier ist das Laufrad mit den Schaufeln aus einem

Stück gegossen und weist, wie in den übrigen Fällen, besonders sauberen Guss und tadellose Herstellung auf.

Der in einer Reihe von Beispielen ausgestellte Klinkenregulator, mit dem die besprochenen Turbinen aus-

Klinkenmechanismus *S*, der in den Grundzügen der Steuerung der hydraulischen Servomotoren entspricht. Der Klinkenmechanismus schaltet eine Reibkupplung mit zwei in entgegengesetztem Sinne ununterbrochen laufenden Riemen-

Fig. 118 bis 122. Piccard, Pictet & Co., Genf: Klinkenregulator.

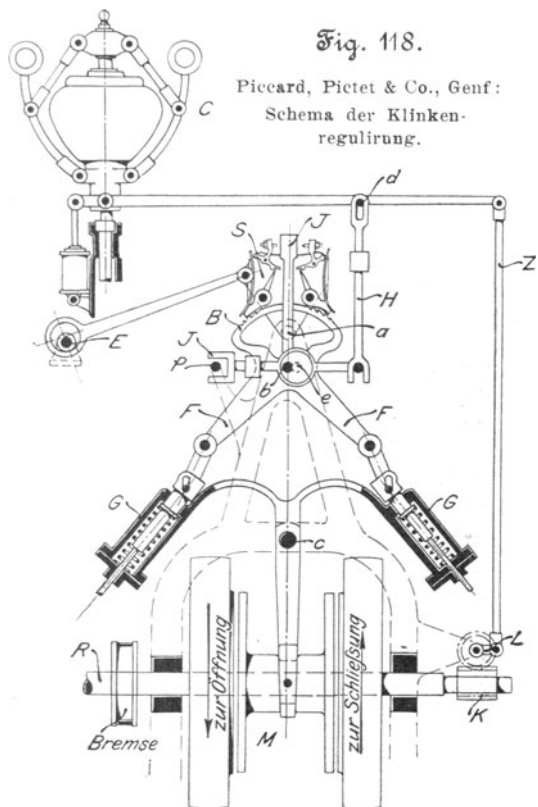


Fig. 118.

Piccard, Pictet & Co., Genf:
Schema der Klinkenregulierung.

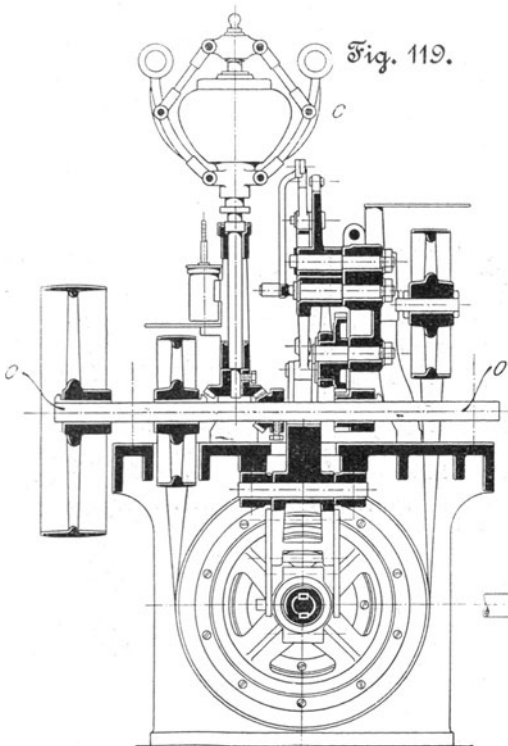


Fig. 119.

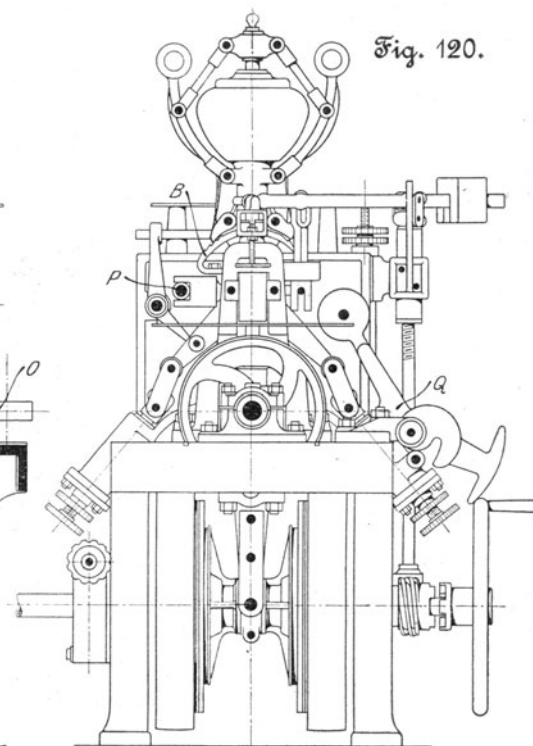
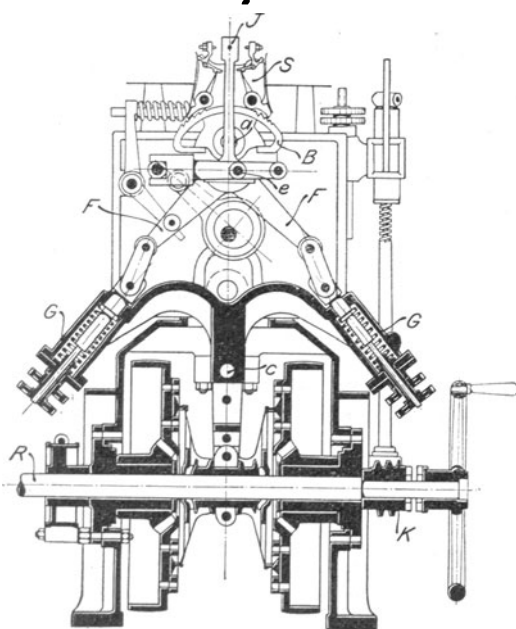


Fig. 120.

Fig. 122.

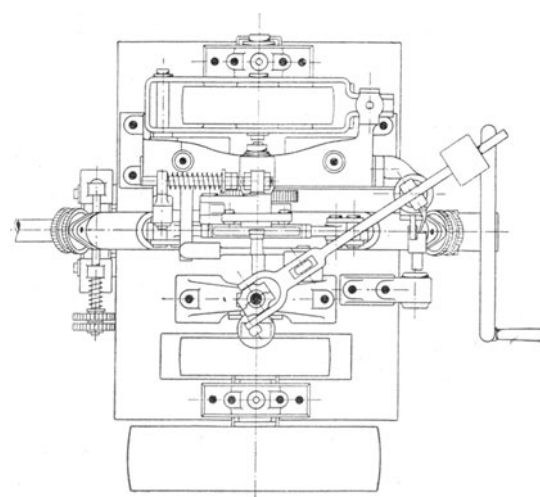


scheiben — dem mechanischen Servomotor *M* — zusammen und bewirkt dadurch die Drehung der Regulirwelle *R* im einen oder andern Sinne. Die Rückführung *Z* bringt den Regulator und den Klinkenmechanismus nach erfolgter Regulierung in ihre Mittellagen zurück. An der von Genf her bekannten Ausführung, welche im übrigen in den kennzeichnenden Merkmalen des Klinkenmechanismus der jetzi-

gerüstet waren, fand sich in seiner grundlegenden Anordnung bereits 1896 auf der Schweizerischen Landesausstellung in Genf vor¹⁾, hat aber inzwischen durch einige Verbesserungen eine wesentlich erweiterte Anwendbarkeit gefunden. Er möge hier als interessantes Beispiel seiner Gattung, der bislang noch nicht besprochenen Regulatoren mit mechanischem Servomotor, eingehender beschrieben werden; vergl. Fig. 118 bis 122. Seine Wirkungsweise erhellt am besten aus der schematischen Fig. 118¹⁾. Ein Pendelregler *C* bethätigt einen

¹⁾ Z. 1896 S. 1278 mit Taf. XIX.
¹⁾ Von Prof. Prasil-Zürich entworfen und der Schweizerischen Bauzeitung Bd. XXXVII mit deren freundlicher Genehmigung entnommen.

Fig. 121.



gen gleicht, fehlte das Riemengetriebe; vielmehr stand das Klinkensegment unmittelbar mit der Regulirvorrichtung der Turbine in Verbindung. Dabei war es aber schwer möglich, den immer größer werdenden Kräften, welche die eigentlichen Regulierungen zu ihrer Bedienung erfordern, zu genügen und Stöße ohne schädliche Rückwirkung auf den Regulator aufzunehmen; durch Einschaltung des mechanischen Servomotors in Gestalt des Riemen-Kehrgetriebes ist dieser Nachteil beseitigt.

Im einzelnen vollzieht sich nun der Regulirvorgang wie folgt. Durch ein Exzenter E wird eine zwei Sperrklinken tragende Scheibe S in beständiger Schwingung um eine Achse a erhalten, wobei die Klinken für gewöhnlich durch Federwirkung an zwei Anschlägen festgehalten werden. Ihnen gegenüber befindet sich ein bogenförmiges gezahntes Schaltsegment B , welches, um den Punkt b drehbar, nach unten in zwei schräge Hebel F ausläuft. Diese sind mit den beiden gebogenen Armen G eines dreiarmligen, um den festen Punkt c drehbaren Hebels gelenkig verbunden, und zwar durch Feder-Kraftschluss derart, dass sie ihn, der nach unten an der Muffe der Reibkupplung angreift, in jeder einmal erteilten Lage festhalten. Steigt nun z. B. bei Entlastung der Turbine der Pendelregler C , so hebt er mit dem Bolzen d den gewichtbelasteten Hebel H ; alsdann sinkt der um e exzentrisch zu b gelagerte dreiarmlige Hebel J infolge eines an seinem linken Arme wirkenden Gewichtes nach links hinüber und löst mit seinem senkrechten Arme die linksseitige Klinke aus. Diese schnappt in das Schaltsegment ein und verdreht es nach links; die beiden Arme F nehmen G mit nach links hinüber, indem sie den Fe-

rung des Hebels J die Einleitung der Rückführbewegung beschleunigen soll. Gegen zu weit gehende Bewegungen ist J durch einen festen Anschlag P gesichert. Das Pendel C , die Scheibe S und der geschränkte Riemetrieb erhalten ihre Bewegung von der Haupttriebwellen O aus (E ist auf O aufgekeilt); um die nach Ausrücken der Reibscheiben noch vorhandene lebendige Kraft der Regulirwelle R zu zerstören, ist daran eine selbstthätig in Kraft tretende Bremse angebracht. Statt des selbstthätigen Betriebes des ganzen Regulators kann

endlich auch durch einen Gewichthebel Q ein Handtrieb eingerückt werden. Einstellvorrichtungen sind überall angebracht.

Die Konstruktion muss als ein Muster sinnreicher und gedrängter Anordnung angesehen werden; alle ihre Teile sind auf einen denkbar geringen Raum zusammengebracht und dabei doch leicht zugänglich. Indessen kann man sich gegenüber der verwickelten Gesamtanordnung und der Menge bewegter, der Abnutzung unterworfenen Teile des Gedankens nicht erwehren, dass der Vorzug größerer Einfachheit jedenfalls für die hydraulischen Regulator spricht, und dass wohl vor allem die tadellose und peinlich genaue Ausführung, die man bei allen Konstruktionen

Fig. 123 und 124.
Francis-Doppelturbine von 2500 PS von Escher Wyfs & Co.

Fig. 123.

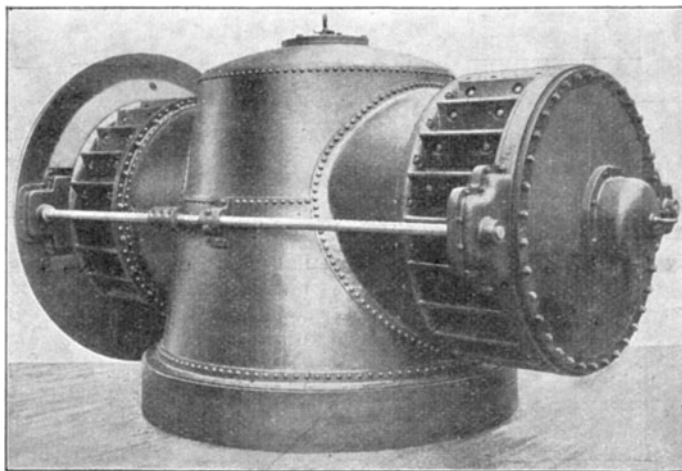
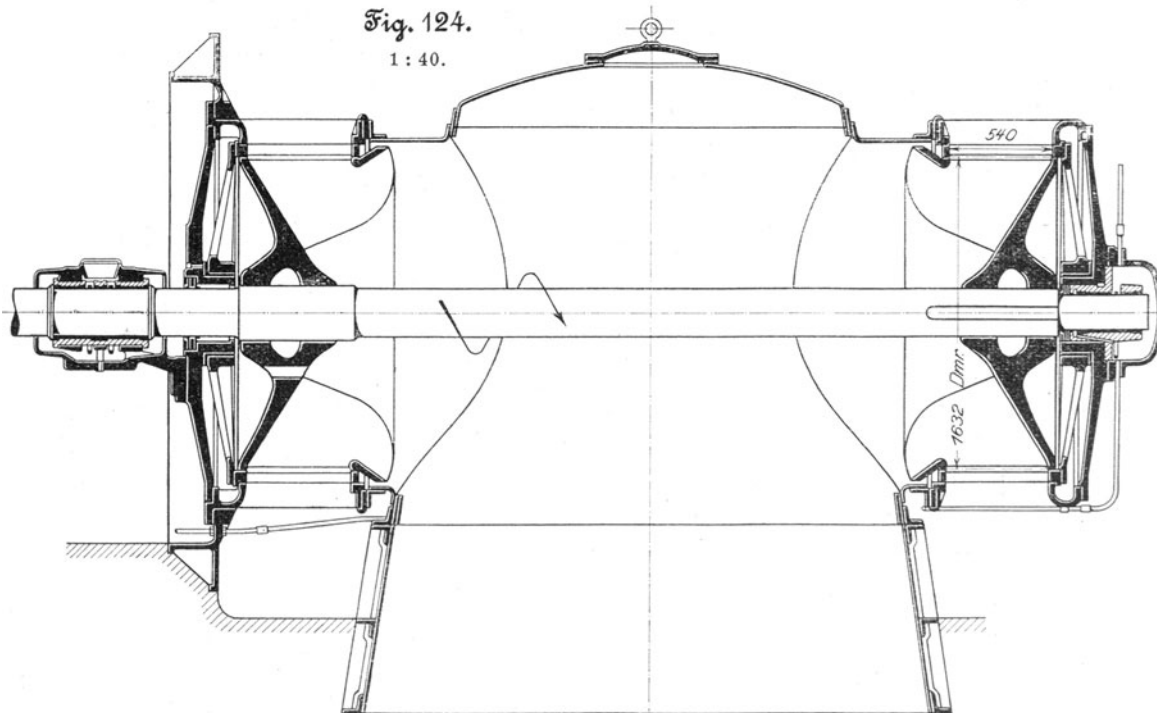


Fig. 124.

1:40.



dern Spiel geben, und die Reibkupplung kommt mit der rechtsseitigen, die Schließung bewirkenden Riemenscheibe in Eingriff. Gleichzeitig wird aber durch den Schneckentrieb K und eine kleine Kurbel L der Hebel Z nach unten gezogen, H sinkt durch sein Gewicht mit und drückt J wieder nach rechts hinüber; dabei kommt die rechtsseitige Klinke zum Einfallen und schaltet das Segment und die Kupplungsmuffe in die Mittellage zurück, wodurch nun auch wieder Z in seinen Ruhepunkt gelangt. Entsprechend vollzieht sich der Vorgang bei einer Regulirung im entgegengesetzten Sinne, nur dass hierbei bereits die zu b exzentrische Lage-

der Firma Piccard, Pictet & Co. gewohnt ist, die mit diesem Regulator erzielten guten Erfolge veranlasst hat¹⁾.

¹⁾ Hierzu schreiben Piccard, Pictet & Co.:

»Wir gestatten uns, Ihnen über eine Wendung im letzten Absatz Ihres Artikels einige Erläuterungen zu geben, wo Sie sagen: »Indessen kann man sich gegenüber dem verwickelten Gesamteindruck und der Menge bewegter, der Abnutzung unterworfenen Teile des Gedankens nicht erwehren, dass der Vorzug größerer Einfachheit jedenfalls für die hydraulischen Regulator spricht . . .«

Indem Sie diesen Satz schrieben, haben Sie wahrscheinlich nicht daran gedacht, dass man, um den von Ihnen bevorzugten Regulator

Die

**Aktiengesellschaft der Maschinenfabriken von
Escher Wyfs & Co. in Zürich.**

steht, was Alter und Gröfse der Erzeugung anlangt, an der Spitze der schweizerischen Turbinenindustrie. Sie hatte die

Fig. 125.

Francis-Turbine von 1000 PS
von Escher Wyfs & Co. 1:30.

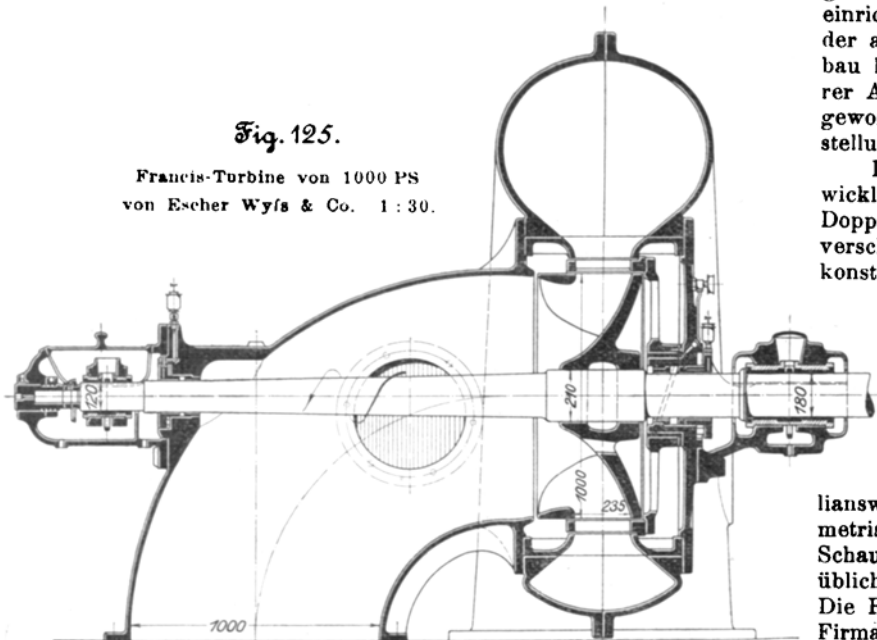
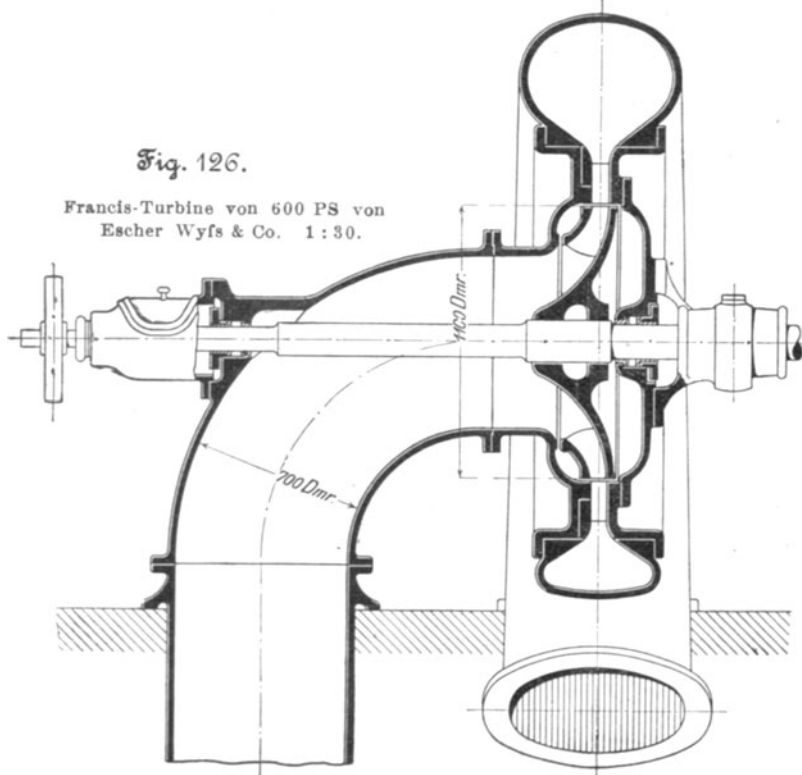


Fig. 126.

Francis-Turbine von 600 PS von
Escher Wyfs & Co. 1:30.



zu speisen, über zwei Dinge verfügen muss, welche nur sehr selten zusammen sich vorfinden:

- 1) Wasser von starker Pressung,
- 2) stets reines Betriebswasser.

Bei Saut Mortier z. B., wo das Gefälle zwischen 14 und 17 m liegt, würde ein sehr grosser Kolben nötig sein, um den Schützen der Turbine mit Sicherheit bewegen zu können, und alle Organe des Apparates müssten dazu im Verhältnis stehen, d. h. grosse Abmessungen erhalten. Er würde sehr platzraubend und kostspielig werden und könnte keinesfalls auf der Turbine angebracht werden.

Außerdem wird das Wasser der meisten Flüsse sehr trübe bei Gewittern oder Regenfällen; zu solchen Zeiten kann der Regulator nicht mehr arbeiten, wenn man nicht auf Filter zurückgreift, welche

verschiedenen Erzeugnisse ihrer ausgedehnten Fabriken in der Maschinenhalle in mehreren Gruppen ausgestellt. Die Turbinen waren in diesen Gruppen verteilt, und ihre Ausstellung machte daher nicht den geschlossenen, mächtigen Eindruck, der bei der umfangreichen Auswahl der von der Firma vorgeführten Turbinengattungen mit den dazu gehörigen Reguliereinrichtungen verschiedenster Art möglich gewesen wäre. Von der außerordentlichen Vielseitigkeit der Firma im Turbinenbau legen zahlreiche Veröffentlichungen ausgeführter gröfserer Anlagen Zeugnis ab¹⁾. Auf die hierdurch bereits bekannt gewordenen Einzelheiten kann, soweit sie sich an den Ausstellungsgegenständen wiederfinden, verwiesen werden.

Das Schwergewicht finden wir auch hier auf die Entwicklung der Francis-Bauart gelegt. Außer einer grossen Doppelturbine waren drei einfache mit Spiralgehäuse und mit verschiedenen Anordnungen der Regulierung ausgestellt. Ihre konstruktive Durchbildung im einzelnen bietet indessen gegenüber den bereits bekannten Anordnungen keine Veranlassung zu besonderen Bemerkungen.

Fig. 123 und 124 geben einen Schnitt und ein Schaubild der ausgestellten Doppelturbine, welche bei 11,6 m Gefälle und 160 Uml./min bis zu 2500 PS leisten soll; sie war für die Entreprise des Tramways du Littoral et de Nice bestimmt, sollte in gleicher Ausführung aber auch im Maximilianswerk in München aufgestellt werden. Die beiden symmetrisch angeordneten Laufräder mit stark eingezogenen Schaufeln laufen in einem geschlossenen Gehäuse, das in der üblichen Weise in eine offene Wasserkammer eingebaut wird. Die Regulierung erfolgt durch den vom Obergeringenieur der Firma, Hrn. Zodel (früher bei Riva Monneret & Co. in Mailand), konstruirten Gitterschieber, dessen Anordnung bereits früher in dieser Zeitschrift²⁾ beschrieben und auch aus späteren Figuren ersichtlich ist. Die beiden Regulirwellen, welche in Stopfbüchsen die Wand der Kammer durchdringen, werden durch Hebelwerk von einem hydraulischen Geschwindigkeitsregler für künstlichen Druck bis zu 50 at betrieben.

Von den im Spiralgehäuse angeordneten Turbinen zeigt Fig. 125 eine der für das Elektrizitätswerk St. Maurice in Wallis bestimmten Einheiten von 1000 PS. Die Turbine läuft bei einem Laufraddurchmesser von rd. 1000 mm und einem Gefälle von 32 bis 34 m mit 300 Uml./min und ist unmittelbar mit einer Drehstromdynamo Patent Thury ge-

sich verstopfen, sich abnutzen, niemals gut arbeiten und eine sorgfältige Handhabung verlangen.

Man hat allerdings versucht, die beiden obigen Unzuträglichkeiten zu vermeiden, indem man das Betriebswasser durch Drucköl ersetzte, welches durch Pumpen künstlich erzeugt wird, um den Regulator zu treiben. Aber diese Ölpumpenanlage ist nicht frei von vielfachen Uebelständen und bedeutet zum mindesten eine erhebliche Komplikation.

Kurz gefasst, wenn das Gefälle gering ist und das Betriebswasser zuweilen getrübt wird, bedeutet unser mechanischer Regulator trotz seiner mehr scheinbaren wie wirklichen Komplizirtheit eine viel einfachere Lösung als der hydraulische Regulator mit Filter und niedriger Pressung oder gar die Anwendung des durch Pumpen erzeugten Drucköles.

Wir fügen noch zum Schluss hinzu, dass wir den Regulator mit hydraulischem Servomotor im Jahre 1885 erfunden und von 1885 bis 1890 keinen andern Regulator gebaut haben. Während dieser Zeit haben wir davon eine grosse Zahl installiert. Erst nachdem wir die in den oben erwähnten Fällen eintretenden schweren Unzuträglichkeiten erkannt hatten, haben wir versucht, einen Regulator mit vollständig mechanischem Servomotor zu konstruiren. Seitdem wir diesen Apparat erfunden haben, haben wir den hydraulischen Regulator beinahe gänzlich aufgegeben, weil man nur in äufserst seltenen Fällen über Betriebswasser mit hohem Druck verfügt, welches vollständig klar ist.

Und erst seitdem wir ihn aufgegeben haben, hat die Firma Escher-Wyfs zunächst, hernach auch unsere andern Konkurrenten, darauf zurückgegriffen, und, viel später als wir, davon zahlreiche Anwendungen gemacht, und zwar mit Rücksicht darauf, dass es, als wir ihn im Jahre 1885 erfanden, noch keine Patente in der Schweiz gab.

Wir hoffen, dass diese Ausführungen einiges Interesse für Sie haben werden, sei es auch nur vom historischen Standpunkt aus.

Genehmigen Sie, mein Herr, unsere verbindlichsten Grüfse.
Piccard, Pictet & Cie.

¹⁾ s. u. a. Z. 1901 S. 1189.

²⁾ Z. 1899 S. 1123 Fig. 7 und 8.

kuppelt. Die Regulierung ist die Zodelsche; der Gitterschieber wird von einer seitlich auf der Welle sich drehenden Armscheibe bewegt, die ihren Antrieb durch 2 Zahnradsegmente von einem selbstthätigen hydroelektrischen Regulator erhält; über die Wirkungsweise dieses Regulators waren Angaben vonseiten der Firma nicht zu erhalten. Das einer guten Wasserführung möglichst angepasste Gehäuse ist in einer senkrechten Ebene geteilt und stützt sich einerseits auf das von unten kommende Einlaufrohr, andererseits auf einen kräftigen Fuß und das Saugrohr. Die Welle läuft an beiden Enden außerhalb des Gehäuses in angeschraubten geschlossenen Ringschmierlagern, deren eines zugleich als Spurlager ausgebildet ist.

Eine ganz ähnliche Anordnung zeigt Fig. 126. Die Turbine leistet mit 1100 mm Laufraddurchmesser bei 450 Uml./min 600 PS und bildet eine der Einheiten des Elektrizitätswerkes Vézère am Allasac. Das Gehäuse ist hier ungeteilt; die Regulierung erfolgt durch Finksche Drehschaufeln und wird vonhand oder von einem hydraulischen Geschwindigkeitsregler gewöhnlicher Bauart bethätigt.

Fig. 127 bis 129¹⁾ zeigen dieselbe Form, durchgebildet als Hochdruckturbine, bei welcher die sehr lange, schmale Schaufel einen nahezu geraden Verlauf nimmt. Der den

¹⁾ Fig. 129, 133, 134 und 136 sind der Schweizerischen Bauzeitung mit deren freundlicher Genehmigung entnommen.

Zodel-Schieber bethätigende Geschwindigkeitsregler ist hier mit seinem hydraulischen Servomotor unmittelbar auf dem Spiralgehäuse angebracht. Die Turbine leistet rd. 200 PS bei 600 Uml./min.

Eine beachtenswerte Konstruktion war das ausgestellte Laufrad für die neuen Turbinen des Elektrizitätswerkes in Chèvres bei Genf, Fig. 130. Diese sehr bemerkenswerte Anlage, über die bereits mehrfach berichtet worden ist²⁾, kennzeichnet sehr

²⁾ Z. 1896 S. 1229; 1901 S. 1192.

Fig. 127 bis 129. Francis-Hochdruckturbine von 200 PS von Escher Wyfs & Co. 1:25.

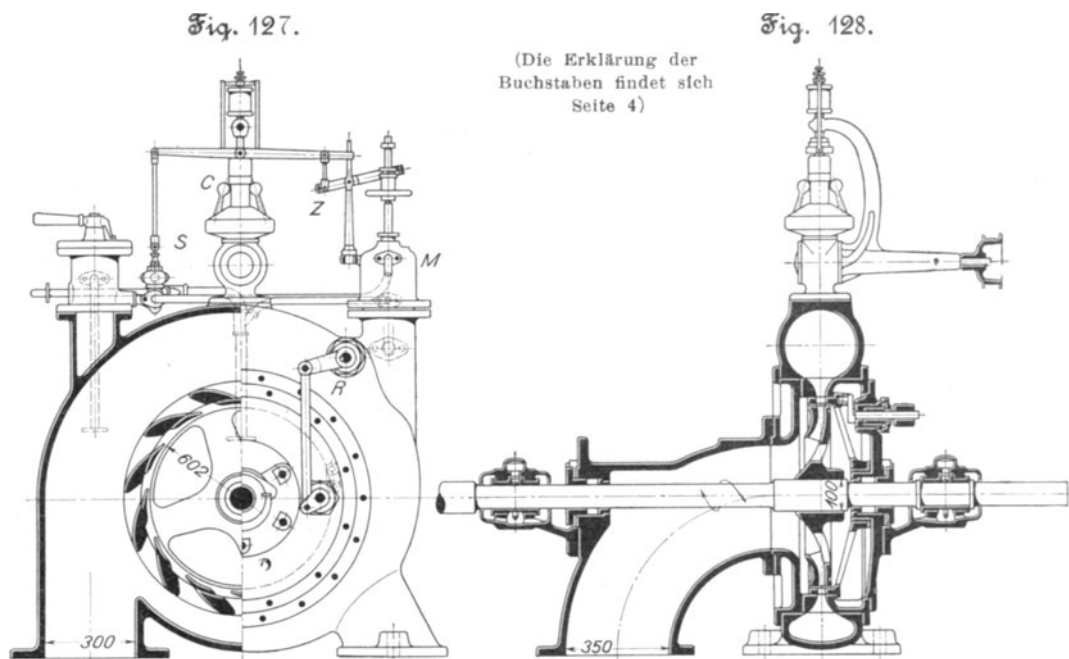
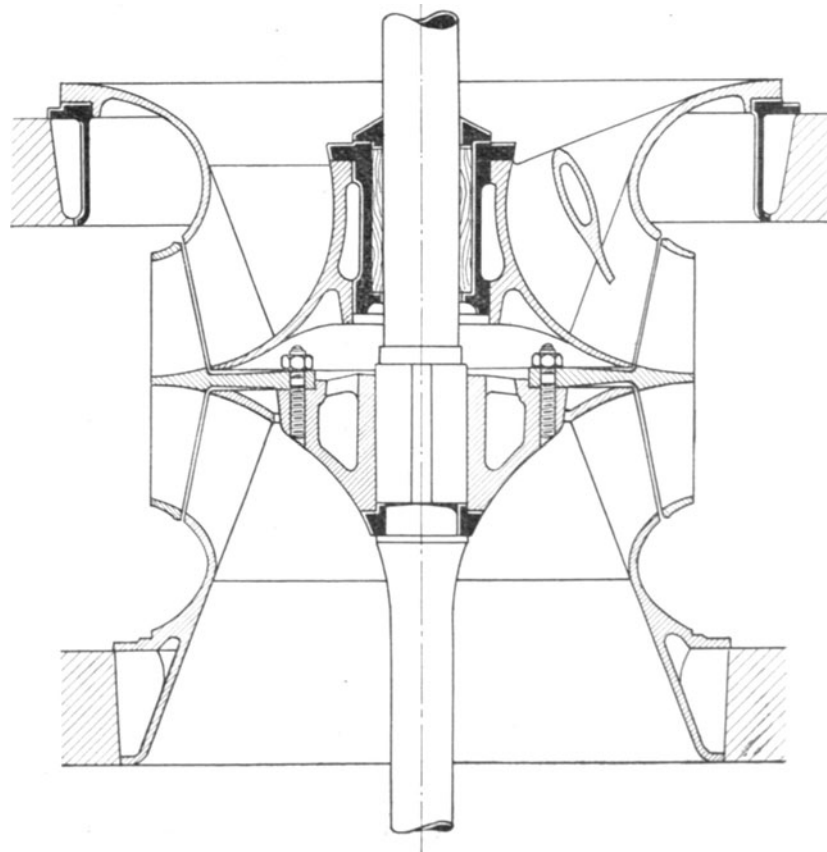
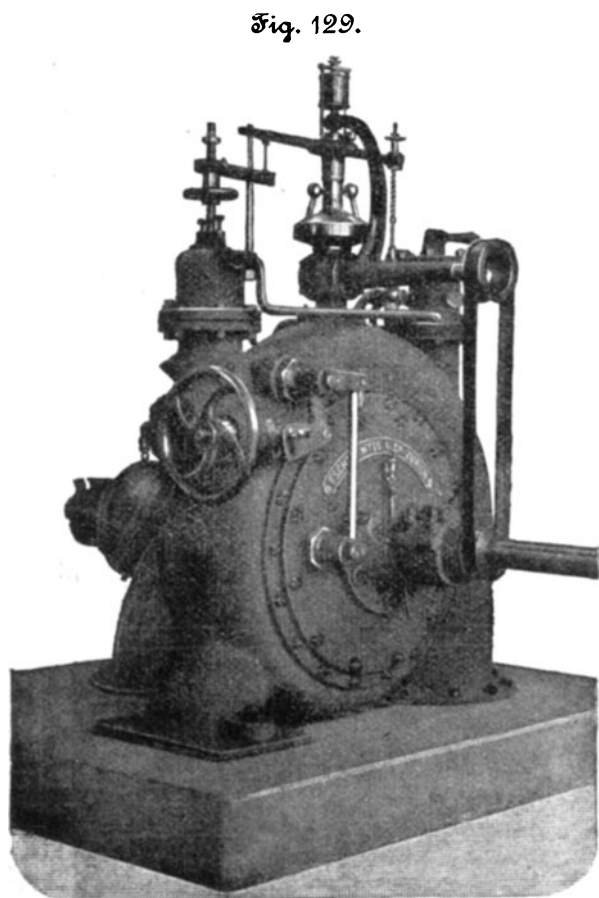
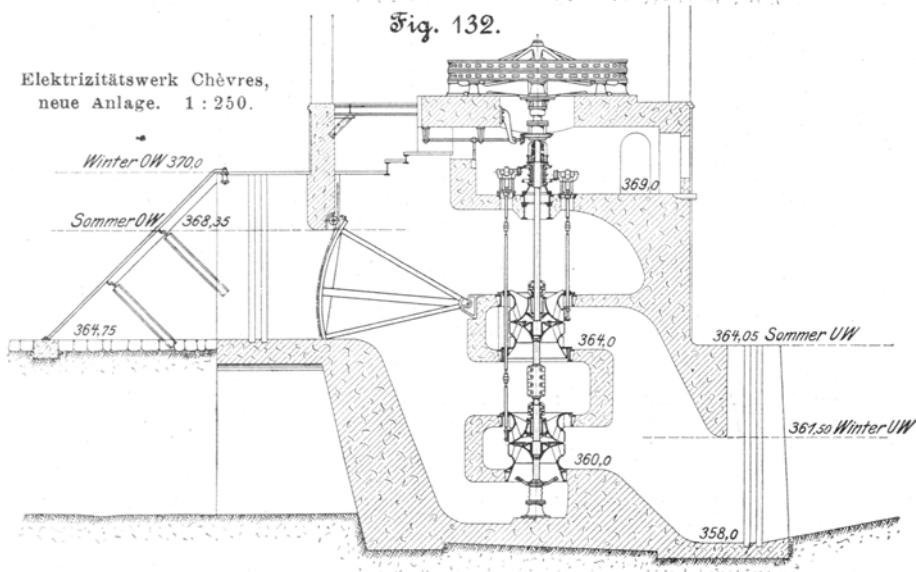
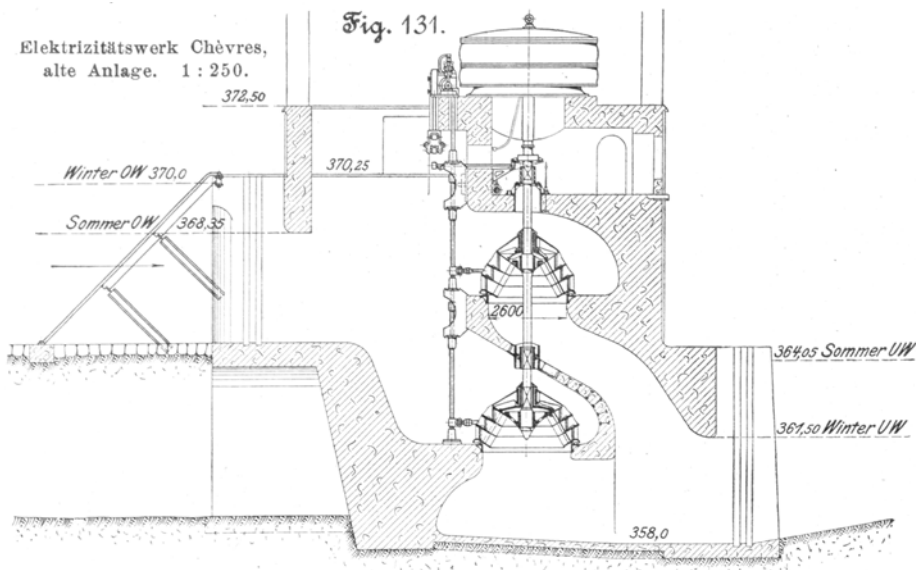


Fig. 130.

Laufrad für die Turbinen des Elektrizitätswerkes in Chèvres. 1:25.





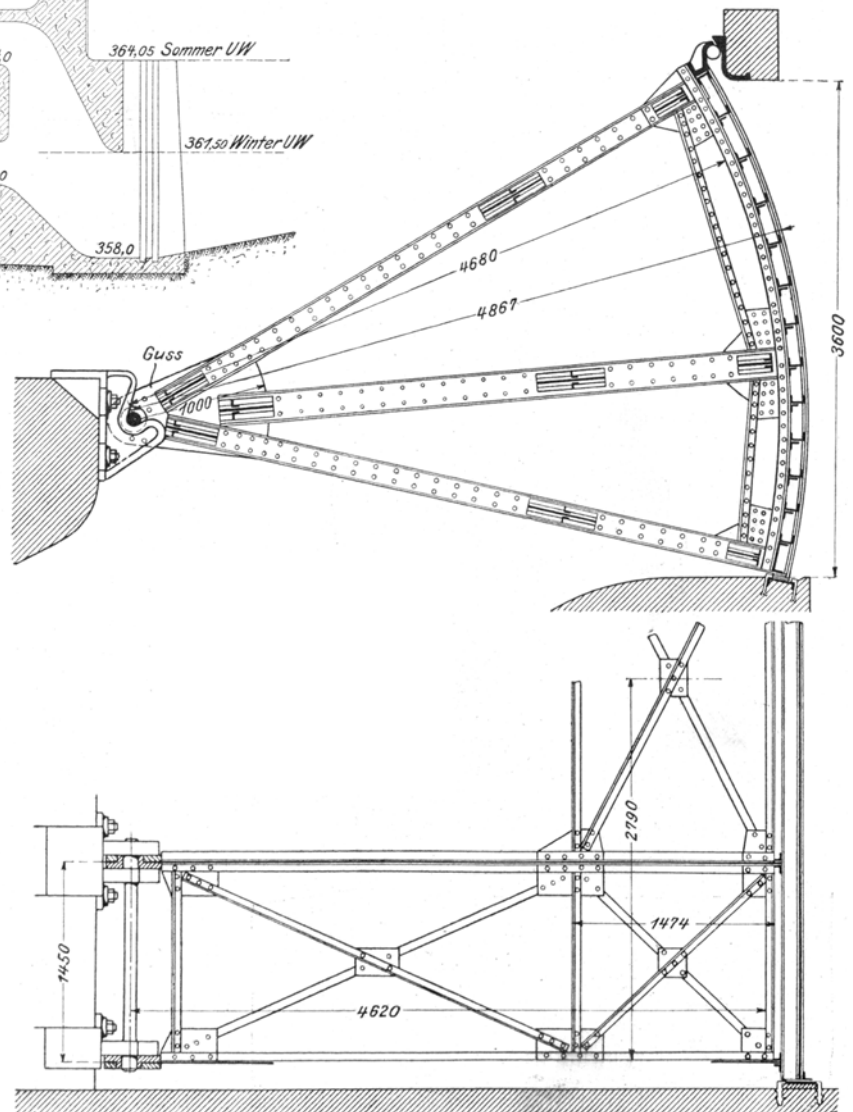
des hydraulischen Druckes liefs sich eine nahezu vollständige Entlastung herbeiführen. Wie aus Fig. 130 hervorgeht, hat das obere Laufrad eine volle Scheibe, nimmt also einen nach oben gerichteten hydraulischen Druck auf, während das untere Laufrad offen ausgeführt ist und nur einen geringen, abwärts wirkenden Druck erfährt. Die Konstruktion ist der Firma patentirt.

Als bemerkenswerte Einzelheit der Anlage sei die in Fig. 133 und 134 wiedergegebene mächtige Drehschütze hervorgehoben, die in gediegener Eisenkonstruktion ausgeführt und in einem Drehzapfen derart an dem Turbinenmauerwerk gelagert ist, dass das dem Öffnen entgegenwirkende Moment des Wasserdruckes nahezu aufgehoben ist, daher bei der Bewegung im wesentlichen nur das Eigengewicht und Reibungswiderstände zu überwinden sind.

Die ausgestellten fünf Hochdruckturbinen mit Löffelradschaufelung zeigten in ihrer grundsätzlichen Anordnung und Regulierung keine wesentlichen Veränderungen gegenüber der bereits von der

Fig. 133 und 134.

Drehschütze für das Elektrizitätswerk
Chèvres. 1 : 55.



zutreffend die Entwicklung des Turbinenbaues in den letzten Jahren.

In Fig. 131 und 132 sind vergleichsweise die alten und die neuen Turbinensätze nebeneinander gestellt; jene — je 5 Sätze — sind als von aussen beaufschlagte Kegelturbinen ausgeführt, die bei 80 Uml./min 800 bis 1000 PS leisten, während die 10 neuen Einheiten, ebenfalls in 2 übereinander liegenden Geschossen untergebracht, 900 bis 1200 PS bei 120 Uml./min abgeben. Beide Ausführungen zeigen die Schwierigkeiten, die einer guten Ausnutzung des sehr stark — zwischen 4,3 und 8,1 m — schwankenden Gefälles und einer von 120 cbm/sk bis 1200 cbm/sk veränderlichen Wassermenge im Wege stehen, und lassen die mit der Etagen-anordnung verbundenen verwickelten und kostspieligen Wasserbauten erkennen. Bei der älteren Anordnung ist der veränderlichen Beaufschlagung noch durch verschiedene Verschäufelung der einzelnen Kränze Rechnung getragen, dabei aber infolge der gewählten Strömungsrichtung die Welle mit erheblichen hydraulischen Drücken belastet, sodass die Spurlager durch Drucköl von 15 at entlastet werden müssen. Für die neuen Einheiten sind darum, und um eine wesentlich höhere Umlaufzahl zu erzielen, Radialturbinen mit innerer Beaufschlagung gewählt. Durch den entgegengesetzt nach oben und unten gerichteten axialen Wasser-austritt und durch zweckmäßige Ausnutzung

Schweizerischen Nationalausstellung in Genf bekannten Anordnung; neu hinzugekommen ist nur die selbstthätige Druckregelung zur Vermeidung plötzlicher Druckschwankungen in den Zuleitungsrohren. Die Firma wendet diese Turbinen als einfache und als Doppelturbine an, deren selbstthätige Regelung von einem Pendelregler besorgt wird. Die auf der Ausstellung gezeigte Doppelturbine von 550 PS und 375 Uml./min war für das Elektrizitätswerk Barcelona bestimmt.

Als Beispiel einer Anlage mit Hochdruckturbinen möge das Elektrizitätswerk Kubel bei St. Gallen¹⁾ gewählt werden; es ist von einer Gesellschaft unter Leitung des Civilingenieurs Kürsteiner in St. Gallen und der Elektrizitäts-A.-G. vorm. W. Lahmeyer & Co., Frankfurt a/M., erbaut

Ueber die vereinigte Urnäsch und Sitter ist die Leitung auf einer Brücke geführt; unmittelbar dahinter mündet sie rechtwinklig in die eigentliche Verteilleitung, Fig. 135 und 137, ein. Das T-Stück, das den Uebergang vermittelt, hat den ganzen, wagerechten Schub, der sich auf 180 t berechnet, aufzunehmen, ist infolgedessen durch eine besondere Fachwerkkonstruktion verankert, und die tragenden Betonpfeiler sind gegen das Turbinenhaus hin verstärkt.

Zurzeit sind 4 Löffelradturbinen von je 500 PS bei 375 Uml./min für ein Bruttogefälle von 93,8 m und eine Wassermenge von je 550 bis 770 ltr/sk in Betrieb, die mit Drehstromdynamos gekuppelt sind. Später sollen noch zwei weitere Turbinen von je 1000 PS aufgestellt werden. Jede Turbine, Fig. 138 bis 141, hat auf einer gemeinschaftlichen Welle zwei

Fig. 135.

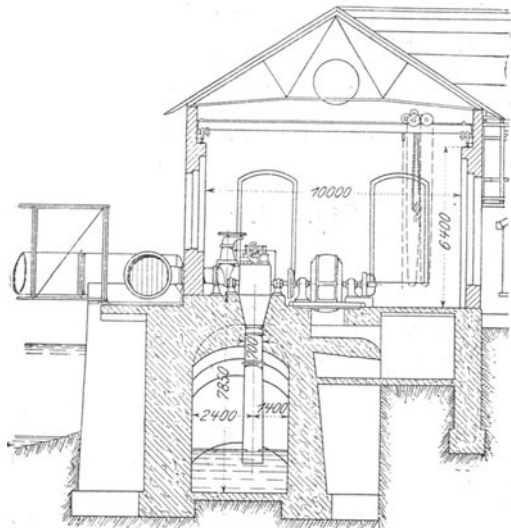


Fig. 136.

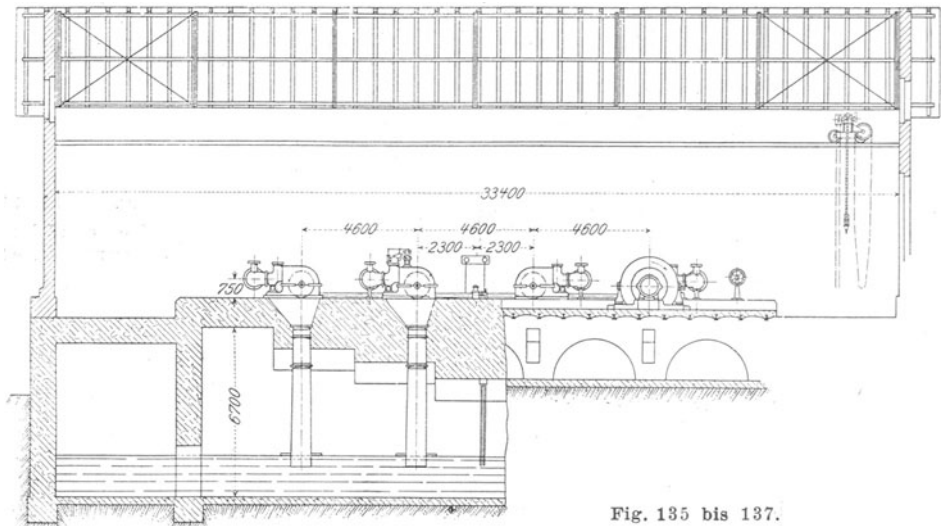


Fig. 135 bis 137.

Elektrizitätswerk Kubel.

worden, um für St. Gallen, Herisau und die Umgebung Kraft und Licht zu liefern. Das vorhandene Gefälle beträgt 90 m, die verfügbare Wassermenge 4 cbm/sk. Das Werk kann bis zu einer Leistung von 3500 PS vergrößert werden.

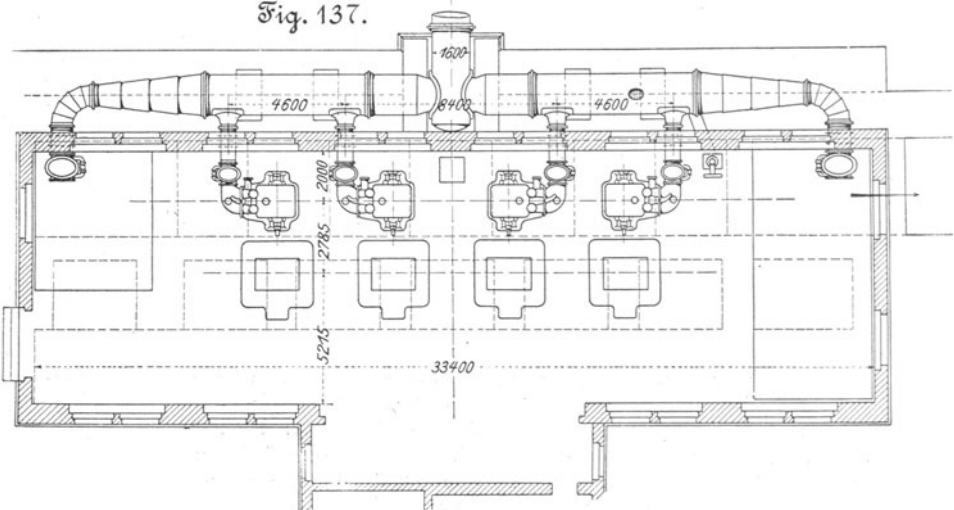
Das Wasser wird dem Flüsschen Urnäsch entnommen; für später plant man, auch das Wasser der Sitter für das Kraftwerk auszunutzen. In der Nähe von Herisau ist ein Ueberlaufwehr quer durch den Fluss gebaut worden. Oberhalb des Wehrs soll später ein 500 m langer Stollen münden, der das Wasser der Sitter in das Thal der Urnäsch herüber bringt. Von dem Ueberfallwehr geht ein Stollen aus, der mit zwei Abschlussfallen und einem Rechen versehen ist. Der Stollen ist aus Beton hergestellt und hat 1,8 m Breite bei 1,9 m Höhe; sein Gefälle beträgt 0,75 ‰. Durch den ganz gefüllten Kanal fließt eine Wassermenge von 4,16 cbm/sk²⁾.

Der Stollen ist 4626 m lang. An seinem Ende liegt ein Sammelbecken von 17 ha Oberfläche, das durch eine gemauerte Thalsperre von 105 m Länge, 23,5 m Höhe, 15 m Breite an der Sohle und 3 m Breite am Kamm gewonnen ist. Unten aus der Mauer tritt eine Rohrleitung heraus, die das Wasser 293 m weit zum Kraftwerk führt. Die Leitung von 1600 mm Dmr. ist aus Stahlblech hergestellt und mit einer Abschlussfalle und einem Rechen versehen, an die sich noch eine Drosselklappe mit Umleitung schließt; außerdem enthält sie zwei Ausdehnungsvorrichtungen.

¹⁾ Z. 1901 S. 1244.

²⁾ Nach der Formel von Ganguillet und Kutter würde sich bei einem Rauigkeitskoeffizienten von 0,01 eine Durchflussmenge von 5,3 cbm/sk ergeben; doch haben Versuche Kürsteiners gezeigt, dass dieser Wert bei weitem zu hoch ist.

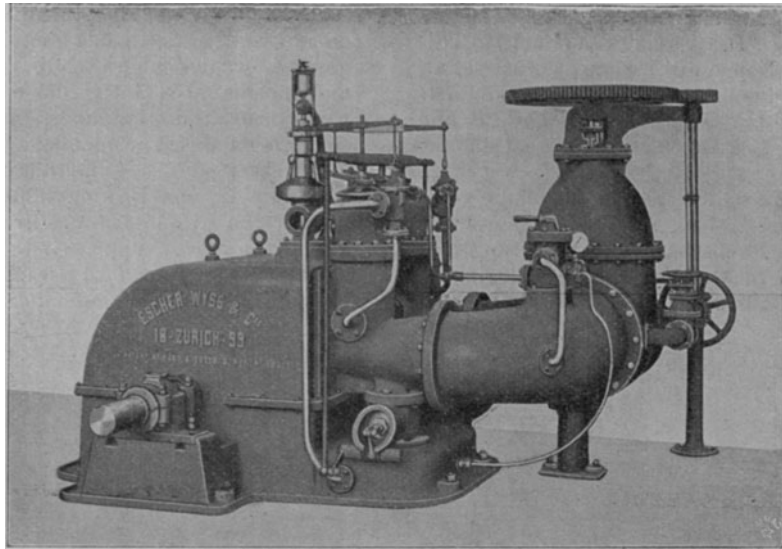
Fig. 137.



Laufräder, und für jedes ist eine Einlaufdüse von 140 mm Breite und 75 mm Höhe angeordnet. In den Düsen befinden sich bewegliche Zungen, mittels deren der Ausströmquerschnitt entsprechend dem Kraftbedarf geregelt wird. Die Zunge wird durch einen hydraulischen Differentialkolben verstellt, dessen Betriebswasser der Hauptleitung entnommen wird. Zur Steuerung des Kolbens dient ein Regulator. Die Bewegungen des Regulators, des Steuerventiles und des Druckwasserkolbens sind durch einen gemeinschaftlichen Hebel derart von einander abhängig gemacht, dass jeder Regulatorstellung eine bestimmte Stellung der Zunge entspricht, gerade so, als ob der Regulator die Zunge unmittelbar verstellte. Mit dieser Regulierung ist eine Hülfeinrichtung verbunden, welche Wasserschlägd in der Rohrleitung verhindern soll. Zu diesem Zweck hat man nahe der Düse eine gleich große

Oeffnung angebracht, die in dem Mafse durch einen besonderen, ebenfalls vom Regulator gesteuerten Servomotor geöffnet wird, wie sich die Düse selbst verengt. Blicke nun diese Hülfsdüse dauernd offen, so würden außerordentlich grofse Wasserverluste entstehen. Es ist deshalb ein Gewicht mit einem Katarakt angebracht, das die Hülfsdüse, nachdem sie einmal geöffnet ist, selbstthätig langsam schließt. Durch Einstellen des Kataraktes kann die Schliefszeit hinreichend lang bemessen werden, sodass Wasserschläge in der Leitung nicht vorkommen.

Fig. 138.



faltigkeit der Ausführungen, woraus geschlossen werden kann, dass es noch nicht gelungen ist, eine für alle Fälle zuverlässige und betriebssichere Regulirvorrichtung zu konstruiren.

Die meisten ausgestellten Turbinen waren mit einem hydraulischen Servomotor verbunden, der zumteil mit natürlichem, der Zuleitung entnommenem, zumteil mit künstlich erzeugtem Wasser- oder Oeldruck arbeitete und in seiner Zusammensetzung der üblichen, in der Einleitung gegebenen Anordnung entsprach. Fig. 142 und 143 geben die Anordnung eines solchen

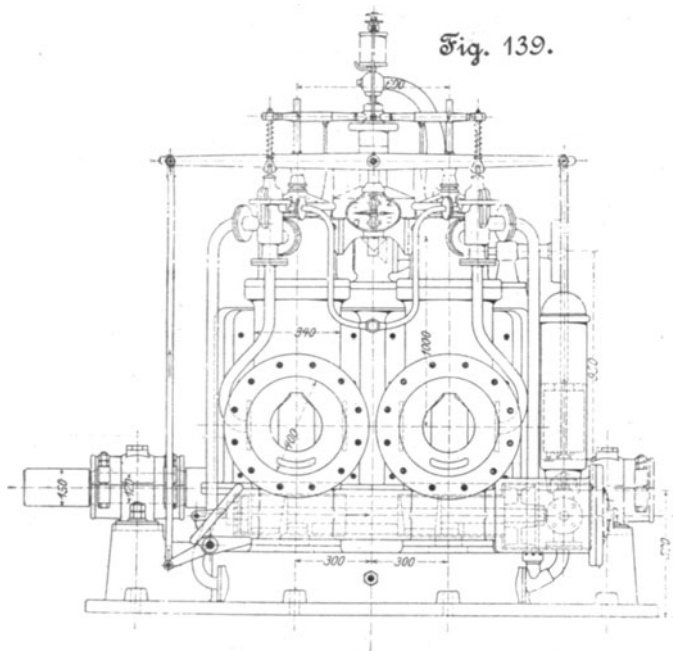


Fig. 139.

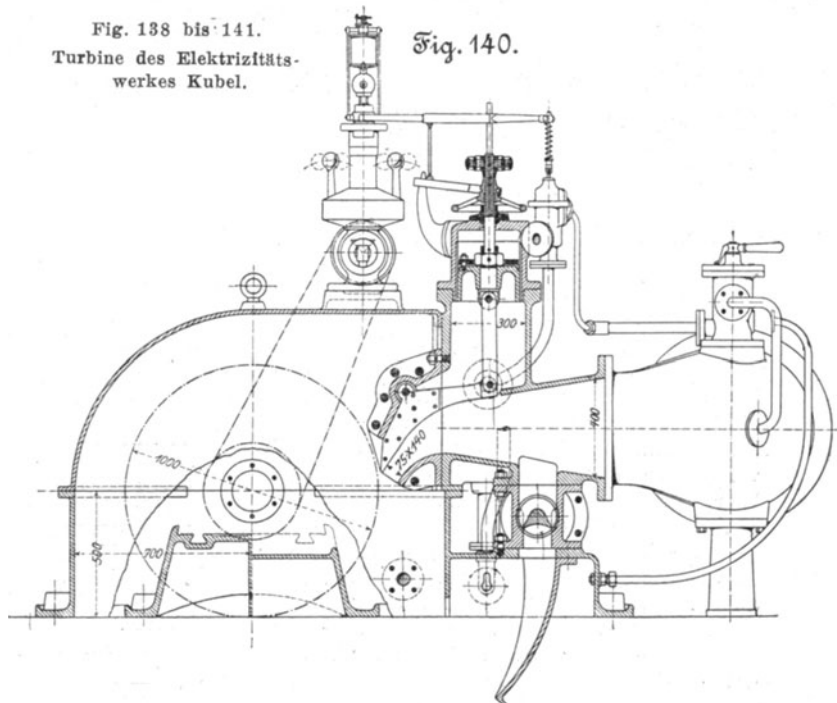
Fig. 138 bis 141.
Turbine des Elektrizitätswerkes Kubel.

Fig. 140.

Oertlicher Verhältnisse wegen mussten die Turbinen ziemlich hoch über das Unterwasser gestellt werden. Um dadurch nicht zu grofse Kraftverluste zu erhalten, lässt man die Turbinen, obwohl sie Aktionsturbinen sind, mit Sauggefälle arbeiten. Man hat nämlich das Turbinengehäuse luftdicht abgeschlossen und lässt durch das aus der Turbine tretende Wasser Luft mitreißen, sodass im Gehäuse eine Luftverdünnung eintritt. Infolgedessen wird die Druckhöhe, unter welcher das Wasser aus der Aufschlagdüse austritt, vergrößert. Das Sauggefälle wird natürlich nur in dem Mafse ausgenutzt, wie es die Luftverdünnung gestattet. Würde die Luftverdünnung zu grofs, so würde der Unterwasserspiegel ansteigen und schliesslich das Gehäuse anfüllen, wodurch der Wirkungsgrad, wenn das Laufrad im Wasser liefe, außerordentlich verschlechtert würde. Um zu verhindern, dass das Wasser zu hoch steigt, sind im Krafthaus ein Schwimmer und ein Luftventil angebracht; sobald das Wasser zu hoch steigt, wird das Ventil durch den Schwimmer geöffnet, und es strömt so lange Luft in das Turbinengehäuse, bis der Schwimmer durch das Sinken der Wassersäule wieder in seine normale Stellung gebracht ist. Diese Hülfsvorrichtung soll so genau arbeiten, dass der Unterwasserspiegel nur um wenige Zentimeter schwankt.

Die selbstthätigen Regulirvorrichtungen, mit denen die Firma ihre Turbinen ausrüstet, zeigen eine grofse Mannig-

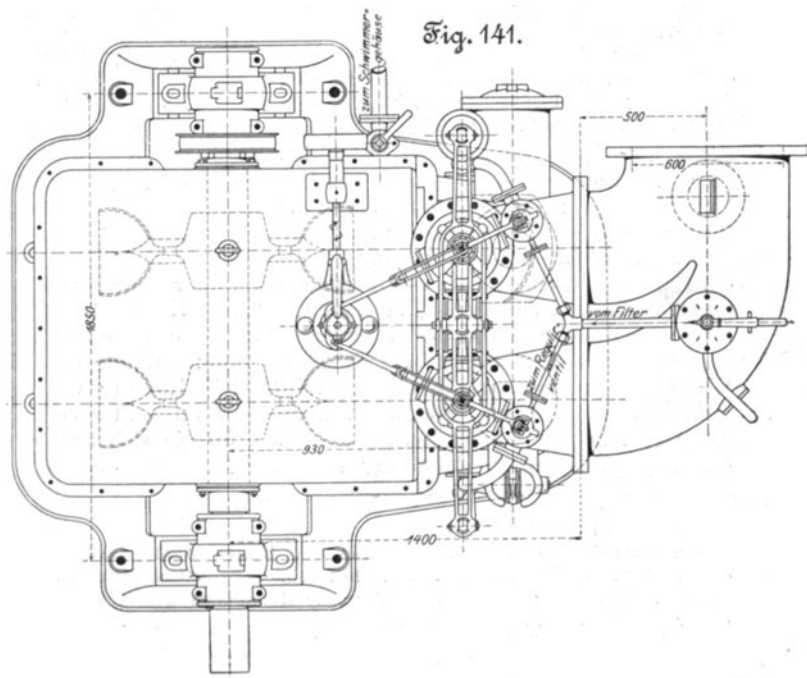


Fig. 141.

Regulators im allgemeinen wieder; genauere Angaben über die Konstruktionseinzelheiten waren nicht zu erhalten.

Als Neuigkeit auf diesem Gebiet brachten Escher Wyfs & Co. einen hydromechanischen »Universal«-Regulator zur Ausstellung, der eine Kombination des hydraulischen und des mechanischen Servomotors darstellt und sich wesentlich von allen bisher bekannten Ausführungen unterscheidet. Fig. 144 bis 146 zeigen seine Anordnung nach der Ankündigung der Firma. Ueber die Wirkungsweise heifst es darin:

»Der Regulator besteht aus einem mit Oel gefüllten Gehäuse *A* mit zwei aus je zwei Stirnrädern und einem sie dicht umschließenden Gehäuse bestehenden Kapselwerken *B*, welche mit je einem ihrer Stirnräder fest auf einer Welle *C* sitzen, die von *D* her angetrieben wird. Beide Kapselwerke greifen mittels Verzahnung in ein gemeinschaftliches Winkelrad *E*, welches fest auf einer Welle *F* sitzt. Zwischen beiden Kapselwerken sitzt ebenfalls eine gemeinschaftliche Steuervorrichtung *G*, die mittels Gestänges *H*, *J*, *K* von dem auf der Welle *C* sitzenden Pendel *L* aus bethätigt wird. Mutter *M*, Spindel *N* und die Räder *O*, *P* bilden die sogenannte Rückführung, eine Vorrichtung, welche zur Verhinderung des Ueberregulirens allgemein bekannt und gebräuchlich ist.

Zur Beschreibung der Wirkungsweise sei zuerst erwähnt, dass ein Kapselwerk, welches in der in Fig. 145 angegebenen Drehrichtung angetrieben wird, als Pumpe wirkt, und zwar bei *Q* saugend, bei *R* fördernd. Wird nun die Oeffnung *R* geschlossen, sodass kein Oel mehr aus dem Kapselgehäuse entweichen kann, so können die beiden Kapselräder nicht mehr weiter ineinander rollen, und die Welle *C* nimmt das ganze Gehäuse *B* in der Drehrichtung mit.

Die Oeffnung *Q* steht in Verbindung mit der Füllung des Gehäuses *A*, Oeffnung *R* durch einen Kanal in Verbindung mit der Steuervorrichtung *G*, welche derart eingerichtet ist, dass das Pendel *L* nur eine kleine Bewegung ausführen muss, um entweder den Druckkanal *R* des unteren oder des oberen Kapselwerkes *B* zu schliessen und dadurch eine Kuppelung des betreffenden Kapselwerkes mit der Welle *C* zu bewerkstelligen. Je nachdem nun das untere oder das obere Kapselwerk gekuppelt ist, wird die Welle *F* im einen oder im andern Sinne getrieben und kann vermittels des Getriebes *S* auf die Regulirung der Turbine im Sinne des Oeffnens (oder des Schliessens einwirken.«

¹⁾ Z. 1896 S. 1277.

Fig. 142 und 143.

Servomotor von Escher Wyfs & Co.

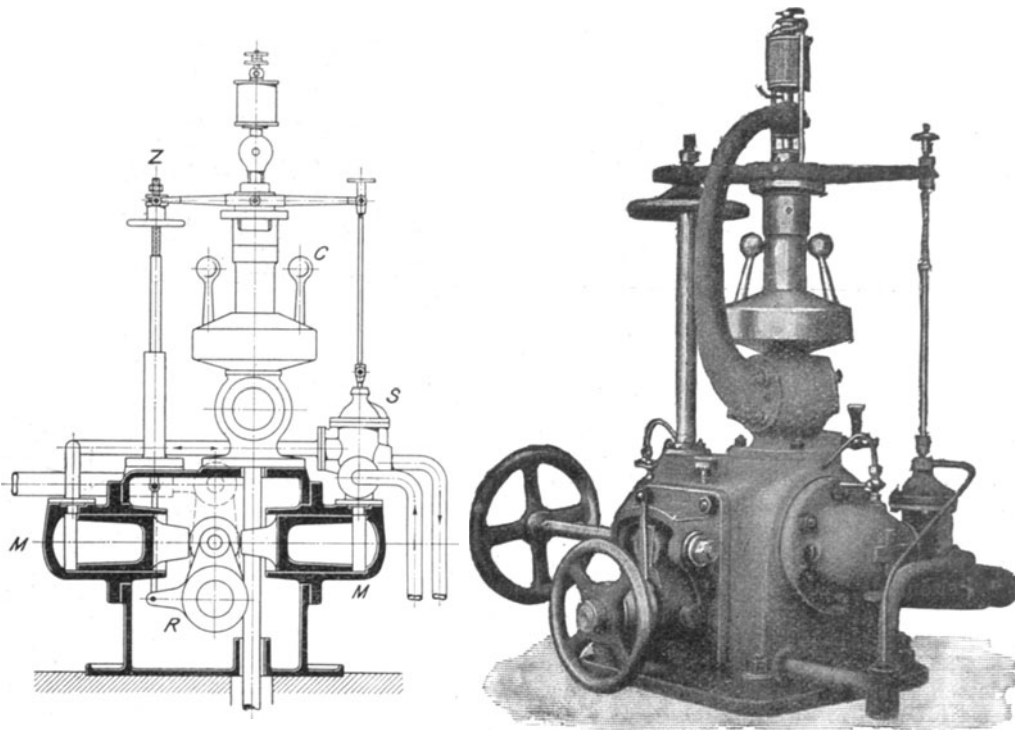


Fig. 144 bis 146. Universal-Regulator von Escher Wyfs & Co.

Fig. 144.

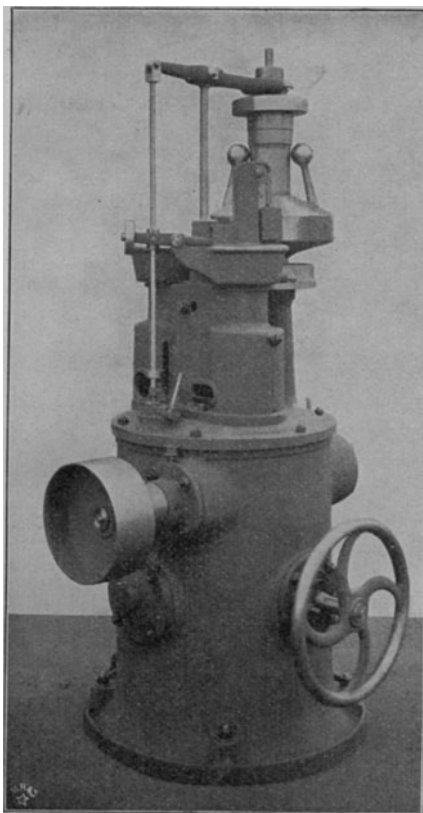


Fig. 145.

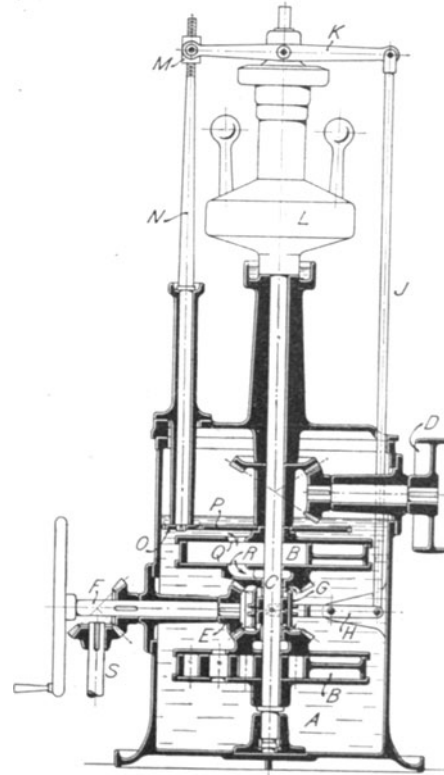
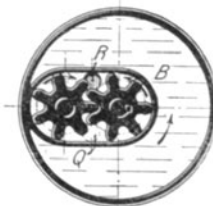


Fig. 146.



Der Regulator, dessen Pendel nur einen ganz geringen Ausschlag auszuführen hat, soll äusserst energisch wirken und wegen der Einfachheit der einzelnen Teile Betriebsstörungen nur in geringem Masse ausgesetzt sein.

Die französischen Aussteller haben, wie in der Einleitung bereits bemerkt worden ist, mit wenigen Ausnahmen amerikanische Turbinenformen, und zwar in grosser Anzahl, vorgeführt. Besonders Singrün frères in Epinal und Teisset, Vve. Brault & Chaprou in Paris-Chartres boten, was Reichhaltigkeit der Ausstellungsgegenstände in Form und Grösse anbelangt, Hervorragendes. Auch die Ausführung war durchweg gut.

Die Verbesserungen, welche an den amerikanischen Originalkonstruktionen¹⁾ vorgenommen sind beziehen sich, abgesehen von geringen Aenderungen an den Schaufeln, hauptsächlich auf die Zapfenlagerung. Neben den amerikanischen Pockholz-Unterwasserzapfen ist die Aufhängung in Fontaineschen Oberwasserzapfen (wie auch bei Rieter) durchgeführt. Neu ist die Anwendung von Kugelrolllagern sowohl für senkrechte wie wagerechte Anordnung der Achse. Nach den Versuchsergebnissen und Betriebserfahrungen, die in neuerer Zeit über solche Lager bekannt geworden sind, dürfte es an der Zeit sein, auch bei uns dieser Frage, wenn auch mit der gebotenen sehr grossen Vorsicht, näher zu treten.

Peltonräder waren in Originalkonstruktionen mit kreisrundem und auch mit rechteckigem Wasserstrahlquerschnitt ausgestellt.

Für den vorliegenden Bericht brauchbares Material war indessen von den französischen Ausstellern nicht zu erhalten; es sei darum auf die Ausführungen von Prof. Prasil in der Schweizerischen Bauzeitung²⁾ verwiesen, welche nähere Angaben enthalten.

Prasil leitet dort aus dem ihm vorgelegten Material an Zeichnungen und Prospekten folgende Werte ab:

a) Eintrittsdurchmesser des Laufrades:

$$D_e = 1,9 \text{ bis } 2,1 \sqrt{\frac{Q}{2gH}};$$

¹⁾ Z. 1893 S. 893.

²⁾ Bd. XXXVI und XXXVII.

b) Verhältnis von Laufradhöhe zu Laufraddurchmesser am Wassereintritt:

$$B_e : D_e = 1 : 2,26 \text{ bis } 1 : 2,34;$$

c) Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades am Eintrittsdurchmesser:

$$v_e = 0,68 \text{ bis } 0,75 \sqrt{2gH},$$

wobei H das Gefälle in m, Q die Wassermenge in cbm/sk bedeutet.

Aus dem neuesten Katalog der Stilwell-Bierce & Smith-Vaile Co. in Dayton (Ohio), welche als eine der leistungsfähigsten Firmen im Turbinenbau in den Vereinigten Staaten Nordamerikas bekannt ist, ergeben sich für die Viktor-Turbine die Werte:

$$a) D_e = 1,57 \text{ bis } 1,63 \sqrt{\frac{Q}{2gH}}$$

$$b) B_e : D_e = 1 : 2,0 \text{ bis } 1 : 2,12$$

$$c) v_e = 0,705 \text{ bis } 0,77 \sqrt{2gH}.$$

Vergleicht man diese Werte mit denen für europäische Konstruktionen, so ist ersichtlich, dass die Amerikaner bei Katalogturbinen mit anscheinend hohem Ueberdruck im Spalt arbeiten, sehr grosse Radhöhen verwenden und infolgedessen zu viel kleineren Raddurchmessern und bedeutend grösseren Umlaufzahlen gelangen, als sie bei uns zurzeit üblich sind. Es ist nicht zu zweifeln, dass man sich bei andauernd scharfem Wettbewerb in den europäischen Konstruktionen diesen amerikanischen Werten immer mehr nähern wird, was, wie neuere sachgemässe Ausführungen zeigen, auch geschehen kann, ohne dass damit der Wirkungsgrad zu stark geschädigt wird. In dieser Beziehung, sowie was die leichte Montage, bequeme Zugänglichkeit und den einfachen Einbau der Turbinen anbelangt, ist, wie in der Einleitung bereits bemerkt worden ist, noch eine weitere Beeinflussung unserer Konstruktionen durch den amerikanischen Turbinenbau zu erwarten.

Mit dem verbindlichsten Danke an alle Firmen und deren Ingenieure, welche dem Verfasser über die ausgestellten Turbinen und ihren Einbau Aufklärung gegeben haben oder ihm durch die freundliche Ueberlassung von Zeichnungen und sonstigem Stoff behülflich waren, sei der Bericht geschlossen.