



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305889

FACHMANN

GEORG HANSEN & CO

ALTONA

xx
644

Der
Turbinenbau

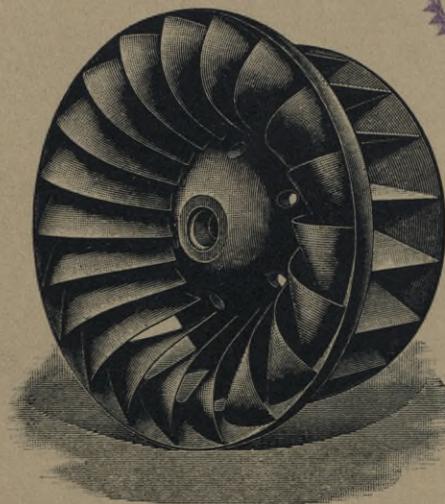
von

BRIEGLEB, HANSEN & C^o.

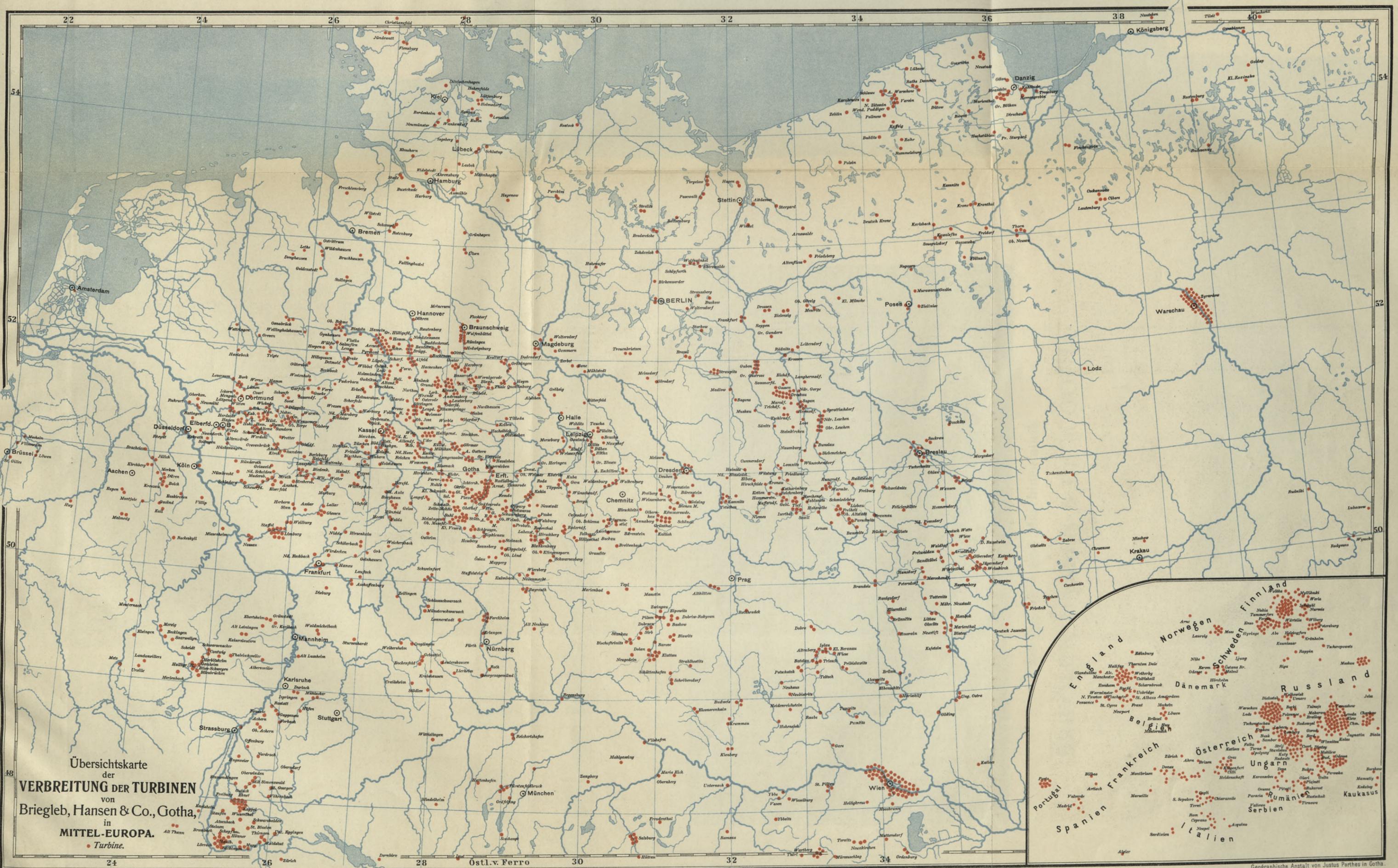
in

GOTHA.

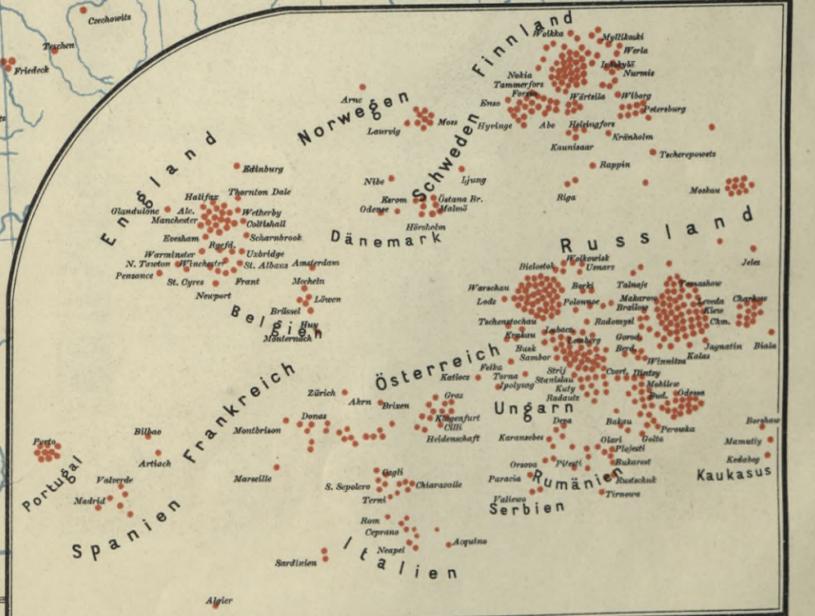
F. Nr. 25303

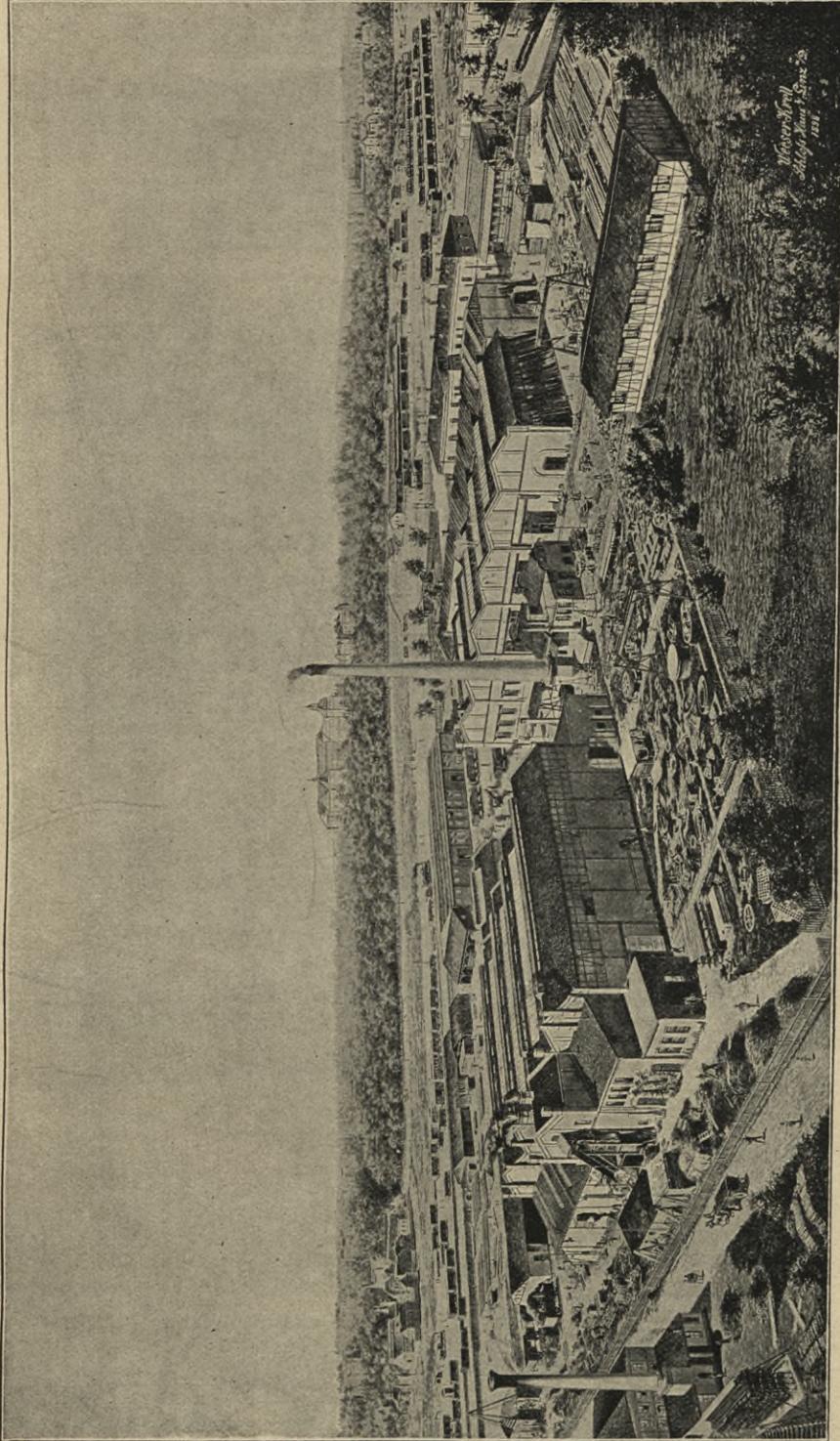


1903.



Übersichtskarte der VERBREITUNG DER TURBINEN von Briegleb, Hansen & Co., Gotha, in MITTEL-EUROPA. Turbine.





Eisengießerei und Maschinenfabrik

VON

BRIEGLEB, HANSEN & CO. in GÖTTA.

DER
TURBINENBAU
VON
BRIEGLEB, HANSEN & C_o.
IN
GOTHA.



Spezielle Nachweisung über mehr als 2000 ausgeführte Turbinen
erfolgt in einem Sonderhefte.

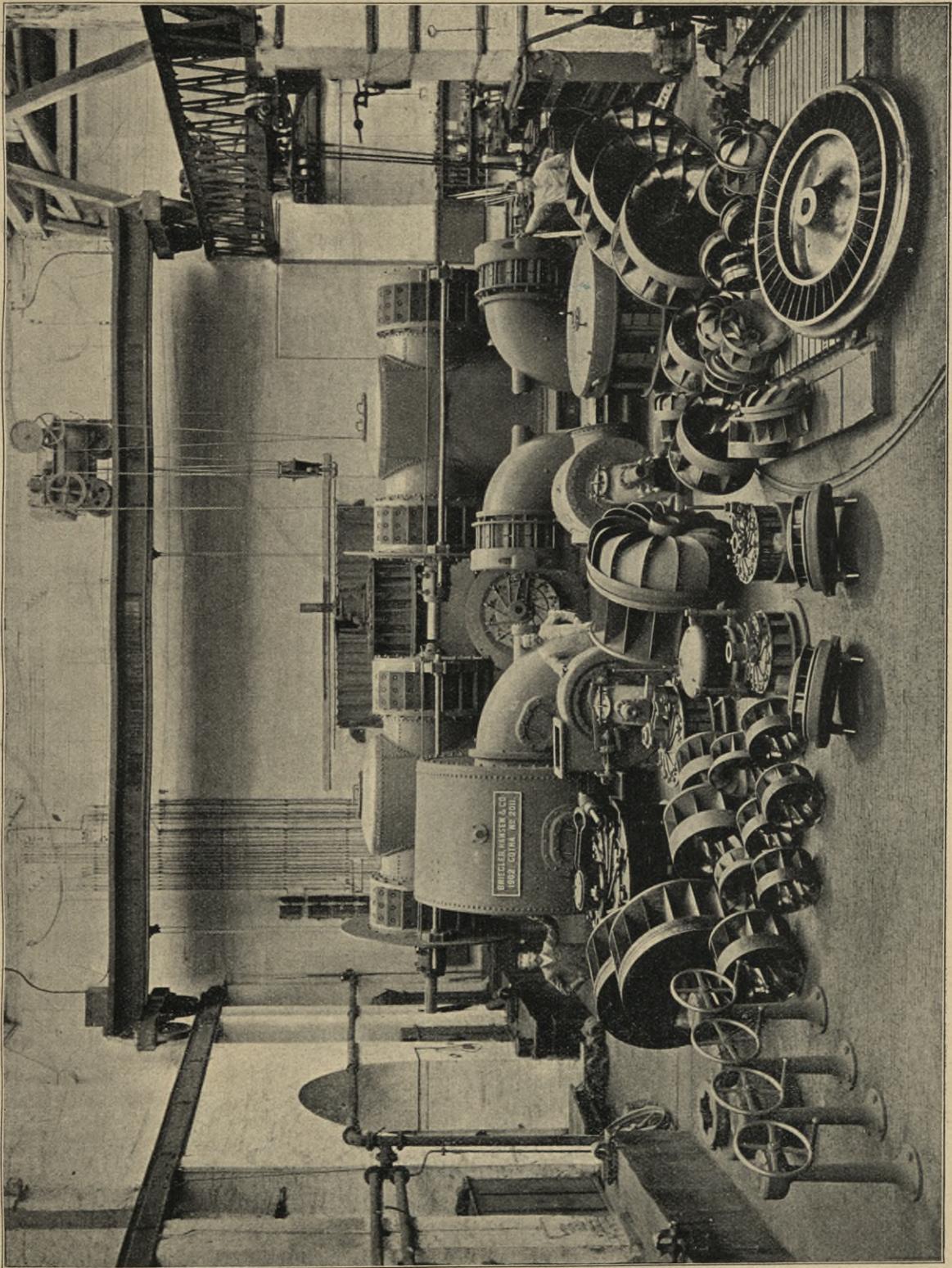
Nachdruck verboten.

GOTHA 1902/03.



III 34069

Akc. Nr. 453/52



Inhaltsverzeichnis.

Übersichtskarte über die Verbreitung unserer Turbinen in Mittel- und Nord-Europa.	Seite
Kapitel I. Über die Entwicklung unseres Turbinenbaues	1
Kapitel II. Grundlegende Erläuterungen	5
Kapitel III. Die Pelton-Turbinen	7
1. Beschreibung der Pelton-Turbinen	8
2. Über die Ausführung der Pelton-Turbinen	9
3. Über die Regulierung der Pelton-Turbinen	10
4. Abbildung einer ausgeführten unterirdischen Anlage	12
Kapitel IV. Die Francis-Turbinen	14
1. Über die Ausführung der Francis-Turbinen	17
2. Bildliche Darstellung einiger Ausführungsarten der Francis-Turbinen	19
3. Einige Aufstellungsarten der Francis-Turbinen	27
4. Einige ausgeführte Anlagen	39
Kapitel V. Über die automatische Regulierung der Geschwindigkeit der Turbinen	47
1. Die hydraulischen Bremsregulatoren	47
2. Die hydraulischen Regulatoren	48
3. Die rein mechanisch wirkenden Regulatoren	49
4. Beschreibung des hydraulischen Bremsregulators	51



I. Kapitel.

Über die Entwicklung unseres Turbinenbaues.

Die Voraussicht, daß, abgesehen von vereinzelt Fällen, in absehbarer Zeit zur Ausnutzung von Wasserkraften nur noch Turbinen zur Verwendung kommen werden, veranlaßte uns, den Turbinenbau, mit welchem sich unser Firmenmitglied *W. Hansen* schon vor ca. 42 Jahren im Auslande und hier in Gotha seit ca. 34 Jahren erfolgreich beschäftigt hatte, im Anfang der siebziger Jahre zur Hauptspezialität zu erheben.

Die energische Durchführung dieses Unternehmens wurde sehr wesentlich erleichtert durch den Umstand, daß es uns im Jahre 1875 gelang, den als Turbinenkonstrukteur rühmlichst bekannten Ingenieur *Gustav Knop* als Mitarbeiter zu gewinnen.

Die nach dessen Plänen gebauten Turbinen lieferten schon damals so günstige Resultate, daß weitere Verbesserungen nur möglich erscheinen konnten, wenn der Einfluß jeder einzelnen Variation an den wichtigeren Teilen der Turbine durch eine sehr genaue Prüfung auf Leistung und Wasserverbrauch festgestellt werden würde.

Um nicht nur letzteres zu ermöglichen, sondern auch um zu verhüten, Turbinen, an welchen nicht auf den Erfolg bereits geprüfte Konstruktionsänderungen angebracht waren, zur Versendung an Turbinenbesteller gelangen lassen zu müssen, erbauten wir eine mit allen Mitteln der modernen Meßkunst ausgerüstete hydraulische Versuchsanstalt an einem natürlichen Wasserlaufe in der Nähe von Gotha.

Hier stellte es sich im Laufe der Versuche heraus, daß man zu widerspruchsvollen Resultaten gelangte, wenn man bei der Berechnung der Wassermengen sich der bis dahin bekannten Überfallkoeffizienten bediente, so daß es unmöglich war, sichere Schlüsse auf den Wert oder Unwert von Konstruktionsänderungen an den Turbinen zu ziehen.

Dies veranlaßte unser Firmenmitglied *W. Hansen*, sich der mühevollen und zeitraubenden Arbeit, welche in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure (Bd. XXXVI, S. 1057) unter der Überschrift: „Über die Bestimmung von Wassermengen mittels Überfälle ohne Seiten-Kontraktion“ veröffentlicht worden ist, nach einer von ihm ersonnenen neuen Methode, zu unterziehen. Die von dem Genannten ermittelten Überfallkoeffizienten weichen von den bis dahin bekannten mehr oder weniger erheblich ab, so daß deren Benutzung, je nach den jeweiligen Überfallhöhen, teils

zu geringeren, teils zu größeren Wassermengen führt. Durch Anwendung dieser neuen Koeffizienten auf die Berechnung der früheren Versuche wurden aber, und darin kann u. a. ein Beweis für die Richtigkeit der Koeffizienten erblickt werden, die vorerwähnten Widersprüche völlig aufgeklärt.

Mit solchen Mitteln ausgerüstet, gelang es *Knop*, seine Turbinen bis zu der heute erreichten Vollkommenheit auszubilden, und die Folge war eine außergewöhnlich rasche Verbreitung derselben.

Der Umstand aber, daß die *Knop*-Turbinen, wie alle bisher bekannten Turbinen, an dem Übelstande leiden, daß bei verhältnismäßig kleinen Wassermengen und großen Gefällen die erreichbaren Wirkungsgrade sehr bedeutend unter diejenigen herabsinken, welche man unter anderen Verhältnissen zu erreichen pflegt, veranlaßte uns, im Jahre 1893 eine Pelton-Turbine (gewöhnlich Pelton-Rad genannt) in unseren Besitz zu bringen, um dieselbe einer sehr ernsten praktischen Prüfung zu unterwerfen.

Diese Prüfung ergab ein so günstiges Resultat, wie es unter gleichen Verhältnissen mit allen bisher bekannten Turbinen nicht erreicht werden konnte. Infolgedessen erwarben wir das Ausführungsrecht dieser in allen Kulturstaaten durch Patente geschützten Erfindung für die meisten europäischen und eine Anzahl außereuropäischer Staaten.

Im ferneren Verlauf der Zeit traten durch die Forderungen der Elektriker neue Aufgaben an den Turbinenbau heran. Diese verlangten Turbinen von hoher Regulierfähigkeit und hoher Umlaufzahl bei hoher Leistung.

Diese Bedingungen lassen sich am vollkommensten erfüllen durch Verwendung außenbeaufschlagter Radial-Turbinen, wenn der Leitschaukelapparat mit den von Professor Fink vor etwa 40 Jahren erfundenen Drehschaukeln oder mit dem Zodelschen Drehschieber (siehe S. 15) versehen wird.

Solche Turbinen werden heute schlechtweg Francis-Turbinen genannt. Obgleich sie mit der ursprünglichen Francis-Turbine weiter nichts gemein haben, als daß sie von außen beaufschlagt sind, so soll dennoch diese Benennung im folgenden beibehalten werden.

Die Francis-Turbinen in ihrer ursprünglichen Gestalt konnten sich, selbst wenn sie mit dem Finkschen Drehschaukel-Leitrad versehen waren, in Deutschland nicht recht einbürgern, weil sie u. a. den Nachteil hatten, daß der Wirkungsgrad bei partieller Beaufschlagung ein ungenügender war, und weil die mit demselben Nachteil behafteten Jonval-Turbinen in praktischer Hinsicht gewisse Vorzüge hatten.

Erst in der Neuzeit gelang es den deutschen Turbinenbauern, namentlich aber dem ehemaligen Oberingenieur und jetzigen Geh. Baurat Professor Pfarr, Lehrer an der technischen Hochschule in Darmstadt, den Francis-Turbinen eine Gestaltung zu geben, welche den Anforderungen der Neuzeit in den meisten Fällen gerecht wird.

Der Umstand nun, daß die vorerwähnten Eigenschaften der verbesserten Francis-Turbinen, nämlich hohe Regulierfähigkeit bei großen Umlaufzahlen und großen Leistungen, die Aktions-turbinen, welche in der *Knop*-Turbine die vollendetste Gestaltung erhalten hatten, in den Hintergrund drängten, veranlaßte uns nunmehr, auch den Bau der Francis-Turbinen tatkräftig in die Hand zu nehmen und an der weiteren Vervollkommnung derselben selbst mitzuarbeiten.

Hierbei kam es uns zustatten, daß wir schon früher die Entwicklung des Turbinenbaues auch in anderen Ländern, namentlich in Nordamerika, scharf beobachtet hatten.

Dort war man im wesentlichen von vornherein von der Francis-Turbine ausgegangen und hatte derselben nach und nach eine der in Deutschland jetzt gebauten Francis-Turbine ähnliche Gestaltung gegeben.

Als Regulierorgane dienen zum Teil einfache Ringschützen, zumeist aber, wie beim Fink-schen Leitrade, Drehschaufeln von sehr verschiedenen Formen.

Im übrigen aber trat mit großer Entschiedenheit das Bestreben auf, Turbinen zu bauen, welche bei gegebenen Wassermengen und Gefällen die höchste Umlaufzahl und die höchste Leistung gewähren, und tatsächlich hält man dort diejenige Turbine für die beste, welche diesen Bedingungen entspricht.

In Deutschland dagegen war das Bestreben der Turbinenbauer vorwiegend auf die Erzielung höchstmöglicher Nutzeffekte gerichtet, und daher kam es, daß man die Erfüllung der anderen Bedingungen mehr oder weniger vernachlässigte, in Bezug auf die Erzielung hoher Nutzeffekte aber die Nordamerikaner, wie am Schlusse dieses Kapitels gezeigt werden wird, sehr weit übertroffen hat.

Diese Umstände in Verbindung mit der Tatsache, daß einzelne nordamerikanische Turbinenbau-firmen auf einem sehr wichtigen europäischen Absatzgebiet den deutschen Turbinenbau nicht ohne Erfolg hauptsächlich infolge der höheren Umlaufzahlen zu verdrängen suchten, veranlaßten uns, sogleich bei Inangriffnahme des Baues von Francis-Turbinen, nicht nur auf höchstmöglichen Nutzeffekt, sondern auch auf Erhöhung der Umlaufzahl bei gegebenen Wassermengen und Gefällen Bedacht zu nehmen.

Mit Hilfe unserer Versuchsstation ist es uns schon vor mehreren Jahren gelungen, eine Normal-Turbine (siehe Kap. IV, S. 16) zu konstruieren, welche bei hohem Nutzeffekt eine erheblich größere Umlaufzahl gewährt, als sämtliche deutsche Konkurrenz-Turbinen bis dahin erreicht hatten. **Dies bedeutet aber einen wesentlichen Fortschritt im deutschen Francis-Turbinenbau.**

Die Konkurrenz ist gegenwärtig bestrebt, uns auf diesem Wege zu folgen.

Dabei sind wir aber nicht stehen geblieben. Vor etwa einem Jahre ist es unserem damaligen Chefkonstrukteur im Turbinenbau, dem jetzigen Professor an der technischen Hochschule in München, Herrn Dr. Rud. Camerer, mit Hilfe unserer Versuchsanstalt gelungen, Turbinen zu konstruieren, welche Nutzeffekte bei voller und partieller Beaufschlagung liefern, die den vom deutschen Turbinenbau erstrebten entsprechen (siehe Kap. IV, S. 17) und bei gleicher Umlaufzahl in Bezug auf Leistung die in dieser Richtung am weitesten vorgeschrittenen amerikanischen Turbinen übertreffen.

Unsere Versuchsanstalt steht dem Herrn Professor Dr. Camerer auch fernerhin zur Fortsetzung seiner wissenschaftlichen und praktischen Untersuchungen zur Verfügung. Dagegen hat derselbe die Tätigkeit eines beratenden Ingenieurs für unsere Firma übernommen.

Der Umstand, daß uns die Anpreisungen der nordamerikanischen Turbinenfabrikanten übertrieben erschienen, veranlaßte uns, schon seit dem Jahre 1893 Turbinen der hervorragendsten dortigen Fabrikanten, welche uns auf dem Weltmarkte begegnet waren, zu kaufen und in unserer Versuchsanstalt zu prüfen. Hierbei ergab sich, daß die von uns ermittelten Nutzeffekte sehr wesentlich geringer waren als die angepriesenen.

Da wir um so weniger annehmen konnten, daß die betreffenden Fabrikanten wissentlich unrichtige Angaben machten, weil sie sich alle auf die Atteste der Prüfungsanstalt in Holyoke stützten, so kauften wir neuerdings wieder durch Vermittlung eines amerikanischen Exporthauses eine in Holyoke geprüfte Turbine, ließen uns diese nebst dem Prüfungsattest zuschicken und durch Herrn Geh. Baurat Professor Pfarr in unserer Versuchsanstalt nachprüfen. In welcher gründlicher Weise letzteres geschehen, ist durch die Veröffentlichung in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure (Bd. XXXVI, S. 845) weiten Fachkreisen bekannt geworden.

Die Ergebnisse der Pfarrschen Prüfung decken sich mit den von uns selbst erzielten. Das Schlußwort des Herrn Professor Pfarr in der zitierten Abhandlung lautet:

„die Zahlen des Bremsberichts des Holyoke Testing Flume überschreiten also weit-
aus die zulässige Grenze, sie sind zu hoch und deshalb für die Beurteilung der Turbine
einfach unbrauchbar und irreführend“ u. s. w.

Um aber einen ganz einwandfreien Vergleich zwischen dieser amerikanischen Turbine und den Turbinen unserer Konstruktion zu ermöglichen, haben wir eine Turbine von fast gleichem Durchmesser für fast denselben Wasserverbrauch und dieselbe Umlaufzahl angefertigt und von Herrn Geh. Baurat Professor Pfarr unter genau denselben Verhältnissen in unserer Versuchsanstalt prüfen lassen.

Bei dieser Prüfung hat sich herausgestellt, daß diese Turbine bei einem Beaufschlagungsgrad von 0,8 einen ca. 14 Proz. höheren Nutzeffekt bei ca. 20 Proz. Mehrleistung bei gleichem Wasserverbrauch liefert und bei den kleineren Beaufschlagungsgraden eine noch viel größere Überlegenheit zeigte*).

*) Vgl. den in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure S. 639, Jahrgang 1903 erschienenen Prüfungsbericht.

II. Kapitel.

Grundlegende Erläuterungen.

1. Die allgemein übliche Maßeinheit für die Leistung irgend eines Motors ist die Pferdestärke zu 75 Sekunden-Meterkilogrammen. Wenn ein Motor ein Gewicht von 75 kg in 1 Sekunde 1 m hoch oder, was auf dasselbe hinaus kommt, ein Gewicht von 1 kg in 1 Sekunde 75 m hoch hebt, so leistet derselbe 1 Pferdestärke oder 75 Sekunden-Meterkilogramme.

Hieraus folgt, daß das Produkt, welches man durch Multiplikation der während einer Sekunde erfolgten Hubhöhe (in Metern) mit dem Gewichte (in Kilogrammen) der gehobenen Last erhält, die geleistete Arbeit in Meterkilogrammen angibt und daß ferner die Division dieses Produkts durch die Zahl 75 die der geleisteten Arbeit entsprechende Anzahl Pferdestärken liefert.

2. Die Leistung einer Turbine hängt von dem wirksamen Gefälle, von der sekundlich durch dieselbe fließenden Wassermenge und von dem der Turbine eigenen relativen Nutzeffekt ab.

Multipliziert man folgende Zahlen miteinander:

- a) die Anzahl Liter*) Aufschlagwasser, welche eine Turbine sekundlich verbraucht,
 - b) die dem wirksamen Gefälle entsprechende Anzahl von Metern,
 - c) den hundertsten Teil der dem relativen Nutzeffekt in Prozenten entsprechenden Zahl,
- so erhält man die Leistung der Turbine in Meterkilogrammen und, wenn man dieses Produkt durch die Zahl 75 dividiert, die Pferdestärken.

Beispiel: Es betrage das Aufschlagwasser sekundlich 3420 Liter, das wirksame Gefälle 3,645 m und der relative Nutzeffekt 75 Proz., so ist die Leistung:

$$3,645 \times 3420 \times 0,75 = 9349,5 \text{ Meterkilogramme}$$

oder

$$\frac{9349,5}{75} = 124,6 \text{ Pferdestärken.}$$

3. Unter dem wirksamen Gefälle versteht man:

- a) Bei Turbinen ohne Saugrohr: den lotrechten Abstand des Oberwasserspiegels unmittelbar über der Turbine bis zu der horizontalen Ebene, in welcher die Schwerpunkte der Ausflußöffnung der Laufradzellen liegen, wenn das Laufrad über Wasser

*) 1 Liter Wasser wiegt 1 kg, 1 Kubikfuß engl. wiegt 28,3 kg, 1 Fuß engl. = 0,305 Meter.

arbeitet. Dagegen versteht man unter dem wirksamen Gefälle den lotrechten Abstand des Oberwasserspiegels unmittelbar über der Turbine bis zum Unterwasserspiegel, wenn das Laufrad unter Wasser arbeitet. In dem letzteren Falle ist von diesem lotrechten Abstand noch die Geschwindigkeitshöhe in Abzug zu bringen, welche der Geschwindigkeit des aus der Turbinenkammer abfließenden Wassers entspricht.

- b) Bei Turbinen mit Saugrohr: den lotrechten Abstand des Oberwasserspiegels unmittelbar über der Turbine gemessen bis zum Unterwasserspiegel.

In beiden Fällen wird bei Turbinen, welchen das Aufschlagwasser durch ein Rohr zugeführt wird, das wirksame Gefälle durch die Ablesungen an einem Manometer bestimmt.

Dieses Manometer wird an dem geschlossenen Gehäuse angebracht, in welches die Turbine eingebaut ist.

4. Unter dem relativen Nutzeffekt einer Turbine versteht man das Verhältnis der an der Turbinenspindel mittels einer Bremse ermittelten Leistung zu der theoretischen Leistungsfähigkeit der von der Höhe des wirksamen Gefälles herabfallenden Menge des Aufschlagwassers. Bei der Ermittlung dieses Verhältnisses ist zu der durch die Bremse ermittelten Leistung die Reibungsarbeit der Turbinenspur noch hinzuzurechnen, welche durch das Gewicht der an der Turbinenspindel befestigten Transmissionsteile und der Bremsscheibe nebst Zubehör verursacht wird.

Beispiel: Es betrage*) das Aufschlagwasser sekundlich 3420 Liter, das wirksame Gefälle 3,645 m und die an der Turbinenspindel mit Hilfe des Dynamometers, unter Zurechnung der vorerwähnten Reibungsarbeit, ermittelte Leistung 9349,5 Meterkilogramme, dann ist der relative Nutzeffekt der Turbine

$$\frac{3,645 \times 3420}{9349,5} = 0,75$$

und in Prozenten

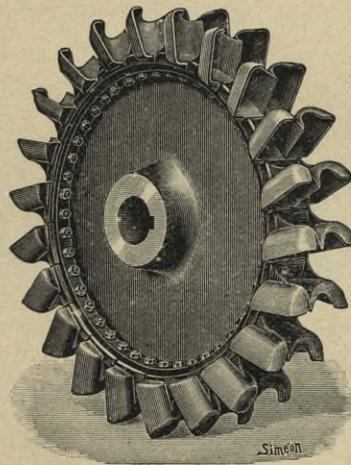
$$100 \times 0,75 = 75.$$

*) Siehe voriges Beispiel.



III. Kapitel.

Die Pelton-Turbinen.



Alle bisher bekannten Turbinen leiden an dem Übelstande, daß bei verhältnismäßig kleinen Wassermengen und hohen Gefällen der erreichbare Wirkungsgrad, mit anderen Worten der relative Nutzeffekt, sehr bedeutend unter denjenigen herabsinkt, welchen man unter anderen Verhältnissen zu erreichen pflegt.

Es bestand demnach im Turbinenbau eine Lücke, und diese Lücke ist ausgefüllt worden durch die Erfindung der Pelton-Turbinen, welche gewöhnlich kurzweg Pelton-Räder genannt werden.

Die Erfolge, welche in den Vereinigten Staaten von Nordamerika mit diesem Rade angeblich erzielt worden waren, veranlaßten uns, dieser Erfindung näher zu treten und zunächst ein von dem deutschen Vertreter der Peltonrad-Kompagnie uns bereitwilligst zur Verfügung gestelltes Rad einer ersten Prüfung zu unterwerfen.

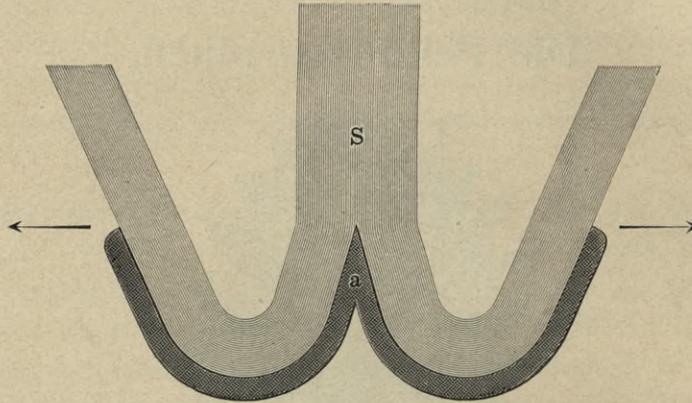
Diese Prüfung ergab ein so günstiges Resultat, wie es unter gleichen Verhältnissen mit allen bisher bekannten Turbinen nicht annähernd erreicht werden konnte.

Diese Tatsache veranlaßte uns, das Ausführungsrecht dieser in allen Kulturstaaten durch Patente geschützten Erfindung für die meisten europäischen und eine Anzahl außereuropäischer Staaten zu erwerben.

1. Beschreibung der Pelton-Turbinen.*)

Die Pelton-Turbine ist eine Aktions-Turbine mit freiem Strahl, welcher in tangentialer Richtung die am Umfang des Rades angebrachten Schaufeln trifft.

Die letzteren, in einer parallel zur Radachse gelegenen Ebene durchschnitten gedacht, haben die in nachstehender Figur verzeichnete Gestalt.



Der Strahl S wird durch die Schneiden a geteilt, beide Hälften folgen den Schaufelflächen und treten, wenn das Rad still steht, in der in der Figur dargestellten Richtung, wenn aber das Rad die richtige Geschwindigkeit angenommen hat, in der Richtung der Pfeile, also ungefähr parallel zur Radachse, aus dem Rade aus.

Weil der Strahl wegen des verhältnismäßig großen Abstandes der Schaufeln voneinander ganz unbehindert austreten kann, so steht nichts im Wege, den Winkel zwischen dem letzten Schaufelelement und der Radebene sehr klein auszuführen. Hierdurch ist man in die Lage versetzt, einen sehr großen Teil der lebendigen Kraft des Aufschlagwassers nutzbar zu machen.

Diese Räder werden fast immer mit horizontal liegender Achse montiert, jedoch können dieselben in vereinzelt Fällen auch mit vertikaler Achse in Anwendung gebracht werden.

Die Beaufschlagung kann sowohl durch einen Wasserstrahl als auch durch mehrere bewirkt werden, nur müssen dieselben in solchen Abständen voneinander das Rad treffen, daß gegenseitige Störungen nahezu als ausgeschlossen betrachtet werden können.

Die Pelton-Räder sind mit Vorteil nur für Nutzbarmachung verhältnismäßig kleiner Wassermengen bei hohen Gefällen verwendbar. Wo aber die Grenze liegt, d. h. wo man die altbewährten Turbinensysteme verlassen muß, um zum Pelton-Rad zu greifen oder umgekehrt, läßt sich durch wenige Worte nicht auseinandersetzen. Hier muß von Fall zu Fall entschieden werden.

Über den Wirkungsgrad der Pelton-Turbinen liegt eine längere Reihe von Versuchen, welche wir an einem für die Herren Bally Söhne in Säkingen ausgeführten Rade angestellt haben, vor.

*) Siehe auch Reuleaux, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1892, Seite 1181.

Das Rad arbeitet unter einem Gefälle von ca. 55 m und verschiedenen Wassermengen bis zu ca. 76 Pferdestärken.

Die aus den verbrauchten Wassermengen und durch die Bremse ermittelten Wirkungsgrade (relative Nutzeffekte) schwanken, je nach den zur Anwendung gebrachten Düsendurchmessern und je nachdem mit einer oder mit zwei Düsen von 30, 40 oder 50 mm Öffnungsweite gearbeitet worden war, zwischen **84** und **88** Proz.

Noch höhere Nutzeffekte wurden von dem Ingenieur Karl Morgenstern in Stuttgart in Gemeinschaft mit dem Herrn Berginspektor Ferdinand in Freiburg und dem Zivilingenieur Herrn Karl Müller ebendasselbst an einer von uns an die Gewerkschaft „Schwarzwälder Erzbergwerke“ gelieferten Pelton-Turbine von ca. 92 Pferdestärken im Kappeler Tal bei Freiburg i. B. festgestellt.

Die Prüfung erfolgte am 23. Mai 1898 im Auftrag der Gewerkschaft.

Die Turbine hat ein Schaufelrad von 800 mm Durchmesser und 160 mm Breite und zwei bis zum vollständigen Schlusse verstellbare Strahldüsen von rechteckigem Ausfluß-Querschnitt.

Die Leistung wurde mittels Prony'schen Zaumes gemessen.

Die verbrauchte Wassermenge wurde vertragsmäßig berechnet aus der wirksamen Druckhöhe des Wassers und den Querschnitten der Ausflußöffnungen der Strahldüsen unter Zugrundelegung eines Ausflußkoeffizienten von 0,98.

Die Gefällshöhen wurden mittels eines Manometers gemessen. Dabei ergaben sich folgende Nutzeffekte:

87,7	Proz.	bei	voller	Öffnung	einer	Düse
90	„	„	halber	„	„	„
81,2	„	„	viertel	„	„	„

bei einer konstanten Umdrehungszahl von 430 in der Minute und einem Gefälle von ca. 80 m.

2. Über die Ausführung der Pelton-Turbinen.

Wir führen die Pelton-Turbinen, je nach Bedürfnis, mit einer, zwei oder drei Düsen aus.

Die Achsen werden in der Regel horizontal gelagert. Die Zapfenlager werden entweder, wie umstehende Fig. 20 zeigt, auf den Wänden eines Gehäuses von Gußeisen oder auf einer auf Mauerwerk liegenden gußeisernen Grundplatte gelagert.

In beiden Fällen wird durch eine sogenannte Spritzhaube von Eisenblech der Raum, in welchem das Schaufelrad sich befindet, geschlossen.

Die Zapfenlager sind sogenannte Ringschmierlager.

In den wenigen Fällen, in welchen der Kraftbedarf bei hinreichendem Wasserzufluß nicht veränderlich ist, werden die Ansatzstücke (Düsen), aus welchen das Aufschlagwasser austritt, mit kreisförmigen Öffnungen versehen. In den bei weitem am häufigsten vorkommenden Fällen aber,

in welchen der Kraftbedarf ein wechselnder und der Wasserzufluß ein unregelmäßiger ist und sogar unter den vollen Bedarf bisweilen zu sinken pflegt, bringen wir sogenannte Stelldüsen zur Anwendung. Die Mündungen derselben sind nicht kreisförmig, sondern rechteckig und in der

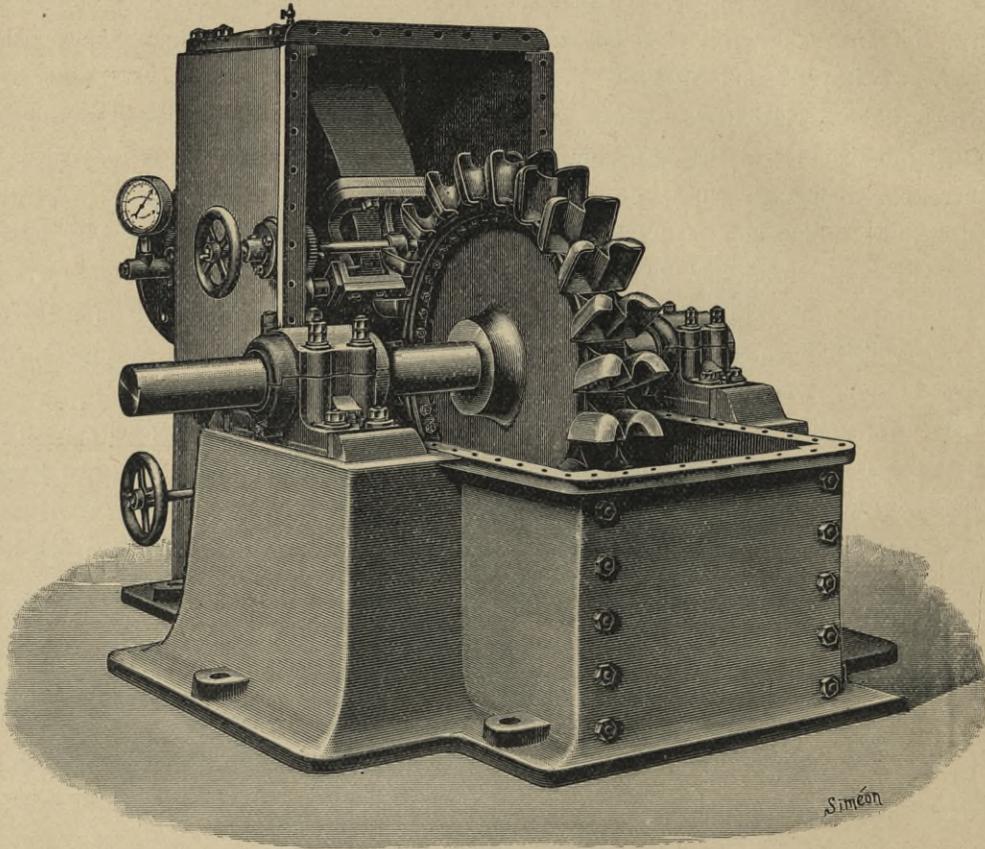


Fig. 20.*)

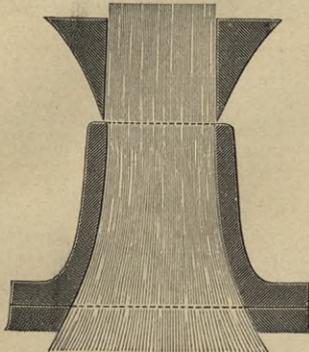
horizontalen Richtung mittels Handräder bis zum völligen Schlusse verstellbar, so daß man die Menge des Aufschlagwassers *ohne Verlust an lebendiger Kraft* jederzeit nach Erfordernis regeln kann.

3. Über die Regulierung der Pelton-Turbinen.

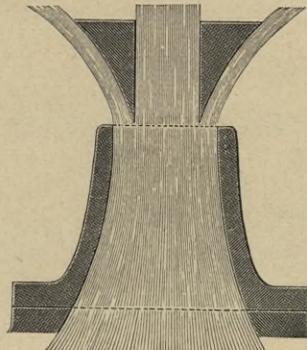
Die Regulierorgane der Pelton-Turbinen sind, je nach den örtlichen Verhältnissen, von verschiedener Beschaffenheit. Wenn es darauf ankommt, bei zeitweilig geringerem Kraftbedarf Wasser zu sparen und zu diesem Zwecke anzusammeln, so bewirkt der Regulator eine Veränderung der Ausflußöffnungen der Düsen; wenn es aber darauf ankommt, den Wasserzufluß nach

*) Die oben abgebildete Pelton-Turbine von 800 mm Raddurchmesser leistet bei 80 m Gefälle, 98 Liter Wasser in der Sekunde und 430 minutlichen Umdrehungen 92 Pferdestärken.

den unterhalb liegenden Werken nicht zu stören, d. h. konstant zu erhalten, so bewirkt, wie bei-



Der volle Strahl.



Der gespaltene Strahl.

stehende Skizze veranschaulicht, der Regulator eine Spaltung der aus den Düsen austretenden Wasserstrahlen derart, daß bei geringerem Kraftbedarf ein Teil des Aufschlagwassers seitlich abgelenkt wird, so daß nur soviel zur Wirkung gelangt, als zur Deckung des jeweiligen Kraftbedarfs erforderlich ist.

Durch diese Einrichtung (D. R.-P. Nr. 120128) erreicht man außerdem, daß die sonst durch die Wirkungsweise des Regulators auftretenden, mitunter sogar zerstörend wirkenden *Druckschwankungen* in der Zuflußrohrleitung der Turbinen *vollständig vermieden werden*, so daß man nicht nötig hat, kostspielige Vorrichtungen zur Abschwächung dieser Druckschwankungen in Anwendung zu bringen.

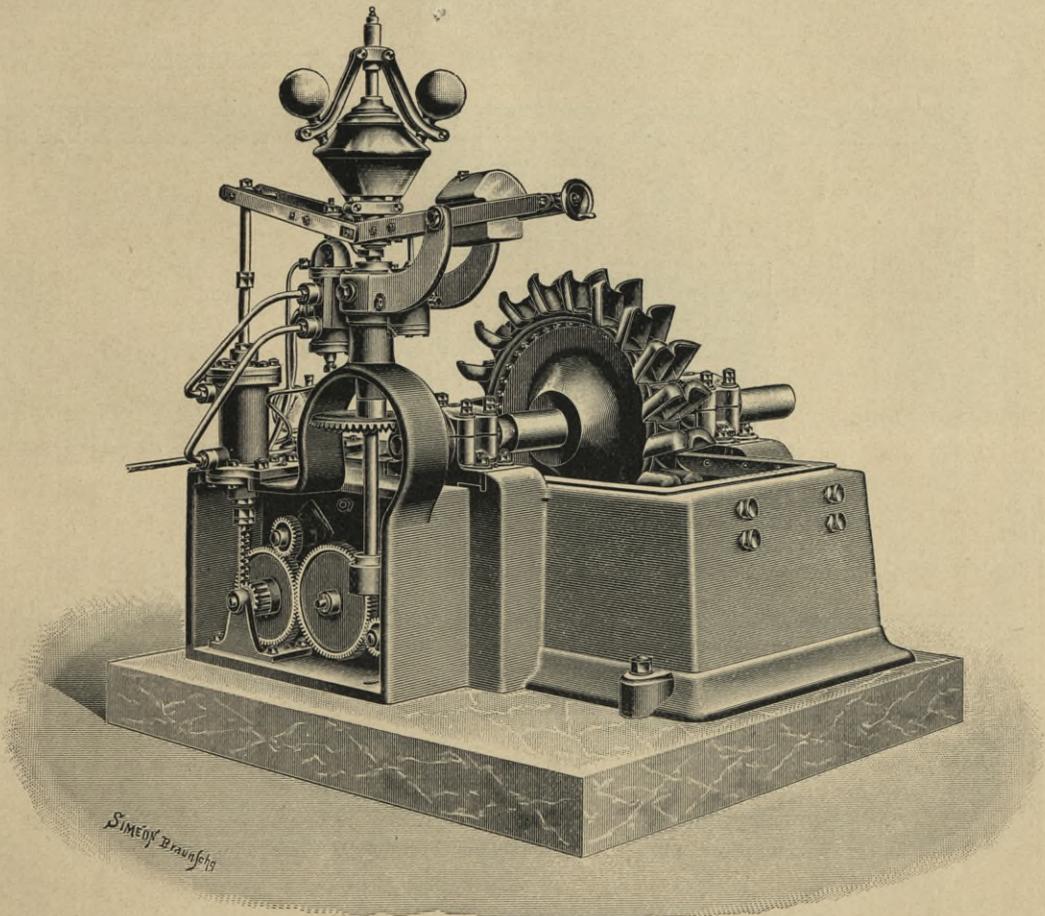
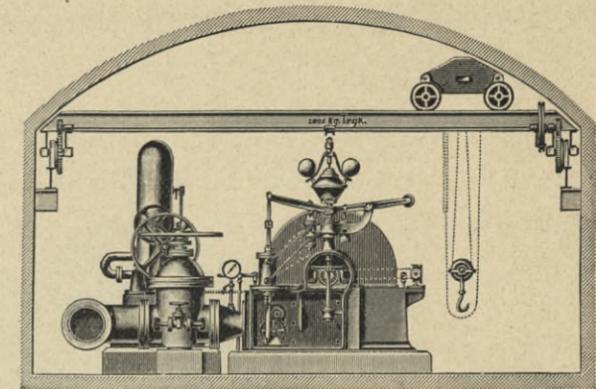
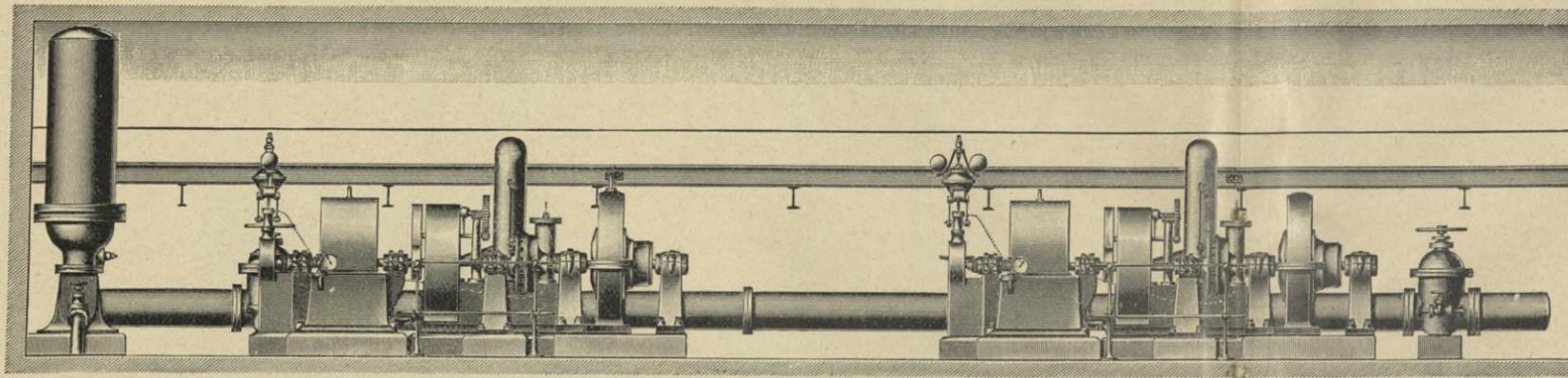


Fig. 21. Pelton-Turbine mit hydraulischem Regulator.



4. Pelton-Turbinenanlage

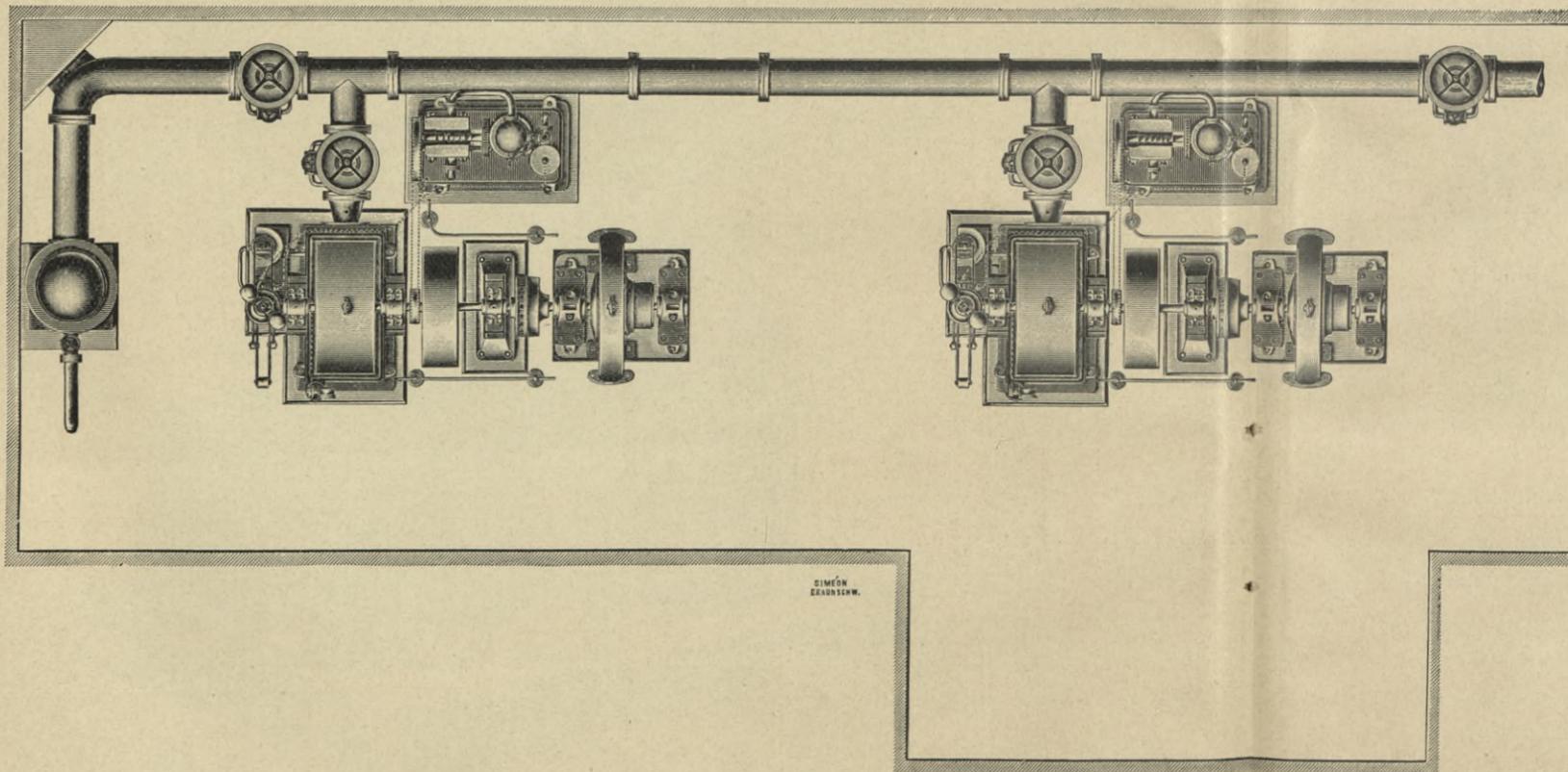
mit

hydraulischen Regulatoren

ausgeführt für die

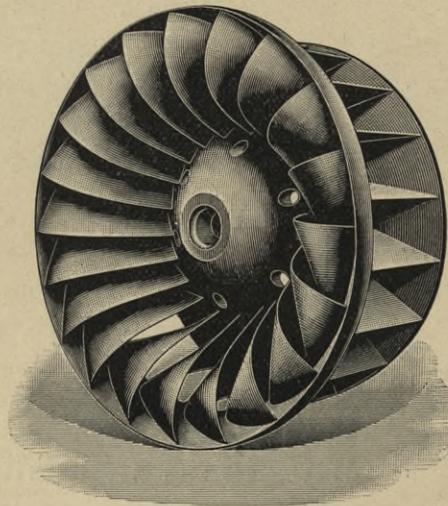
Königliche Berginspektion zu Grund (Schacht Meding).

157 m Gefälle, jede Turbine 140 Pferdestärken.



IV. Kapitel.

Die Francis-Turbinen.



Radial-Turbinen, welche von außen beaufschlagt werden, und bei welchen das Wasser nahezu axial aus dem Laufrade austritt, nennt man kurz „Francis-Turbinen“.

Diese Turbinen werden als Reaktionsturbinen gebaut und gewähren folgende sehr wesentliche Vorteile:

- a) Die jeweilig vorhandenen Gefälle können durch Anbringung von Saugrohren stets voll ausgenützt werden.
- b) Sie brauchen nicht dicht auf den Unterwasserspiegel gesetzt zu werden, sondern können in einer den jeweiligen lokalen Verhältnissen angemessenen Höhe und leicht zugänglich eingebaut werden.
- c) Es lassen sich anderen Turbinen gegenüber bei gleichen Gefällen und Wassermengen höhere Umdrehungszahlen mit denselben erzielen, so daß in den meisten Fällen die Triebwerke einfacher und leichter ausgeführt werden können.
- d) Sie können in den meisten Fällen ebensowohl mit vertikaler als horizontaler Treibachse eingerichtet werden, so daß in letzterem Falle ohne Zwischenräder die Turbinenspindel direkt mit der Haupttransmissionswelle oder z. B. mit der Achse einer Dynamomaschine gekuppelt werden kann.
- e) Sie besitzen allen anderen Turbinensystemen gegenüber die größte Regulierfähigkeit, weil von voller Beaufschlagung bis zum vollen Schlusse die Regulierorgane, seien es die Finkschen Drehschaufeln oder der Zodelsche Regulierschieber, nur eine sehr kleine Winkelbewegung zu machen haben.

Der unter e) erwähnte Vorteil gestattet bei wechselnder Kraftentnahme den Gang der Turbinen völlig gleichmäßig zu erhalten, wenn man die Regulierorgane mit einem automatisch wirkenden Geschwindigkeitsregulator in Verbindung setzt.

Deshalb eignen sich die Francis-Turbinen ganz besonders für Betriebe, welche einen sehr gleichmäßigen Gang erfordern.

Wir bewirken die Regulierung der Francis-Turbinen mit Finkschen drehbaren Leitschaufeln oder bei sehr hohen Gefällen mit Zodels Patentregulierung (D. R.-P. 91931).

Die Finksche Regulierung ist so allgemein bekannt, daß eine Beschreibung sich erübrigt. (Siehe auch Fig. 25, S. 19 und Fig. 32, S. 23.)

Die Zodelsche Regulierung ist in den Fig. 22 (siehe unten) und 23, S. 16, dargestellt.

Wie ersichtlich, sind die Leitschaufeln *b b* nicht bis zum Laufrade durchgeführt. In dem hierdurch entstehenden Zwischenraume ist konzentrisch zur Turbinenachse der drehbare Ringschieber *a a*, Fig. 22 und 23, angeordnet. Dieser Ringschieber aber ist mit den gewissermaßen die Fortsetzung der unbeweglichen Leitschaufeln *b b* bildenden Schaufelstücken *a' a'*, Fig. 23, versehen.

Diese Schaufelstücke bilden mit dem Ringschieber ein Ganzes, so daß sie an jeder Bewegung des Ringschiebers teilnehmen müssen.

Diese Anordnung hat zur Folge, daß bei jeder Linksdrehung des Ringschiebers eine Ver-

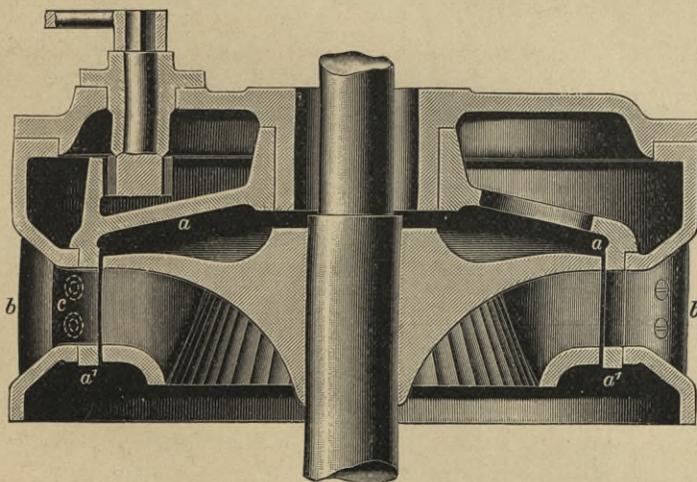


Fig. 22.

kleinerung sämtlicher Leitzellenquerschnitte bis zum vollen Schlusse und bei jeder Rechtsdrehung eine Vergrößerung dieser Querschnitte bis zur vollen Öffnung bewirkt werden kann, ohne eine größere als dem Abstände zweier Leitschaufeln voneinander entsprechende Winkelbewegung ausführen zu müssen. Diese Bewegung wird vermittelt durch ein in den Fig. 22 und 23 dargestelltes Getriebe, welches in ein am Schieber befestigtes kurzes Zahnsegment eingreift.

Um aber in den verschiedenen Schieberstellungen eine gute Wasserführung zu erhalten, so sind an den festen Leitschaufeln, die Fortsetzung der inneren Flächen derselben bildend, Zungen von dünnem Stahlblech *c c*, Fig. 23, befestigt, welche bis an das Laufrad heranreichen.

Zur Orientierung des Lesers sind in Fig. 23 drei verschiedene Schieberverstellungen dargestellt, und zwar wird man bemerken, daß einige Leitzellen voll, einige ungefähr halb geöffnet und einige ganz geschlossen sind. Daß aber gleichzeitig verschiedene Schieberstellungen in Wirklichkeit nicht vorkommen können, bedarf einer weiteren Auseinandersetzung nicht.

Für die Leistung unserer Turbinen garantieren wir von Fall zu Fall bestimmte Nutzeffekte.

Die Sicherheit, welche unsere Garantie gewährt, beruht erstens auf ernsten praktischen Versuchen in unserer mit allen Mitteln moderner Meßkunst ausgerüsteten Versuchsanstalt und zweitens auf der vollendeten Ausbildung der zur Herstellung der Leit- und Laufräder benutzten Einrichtungen unserer Fabrik.

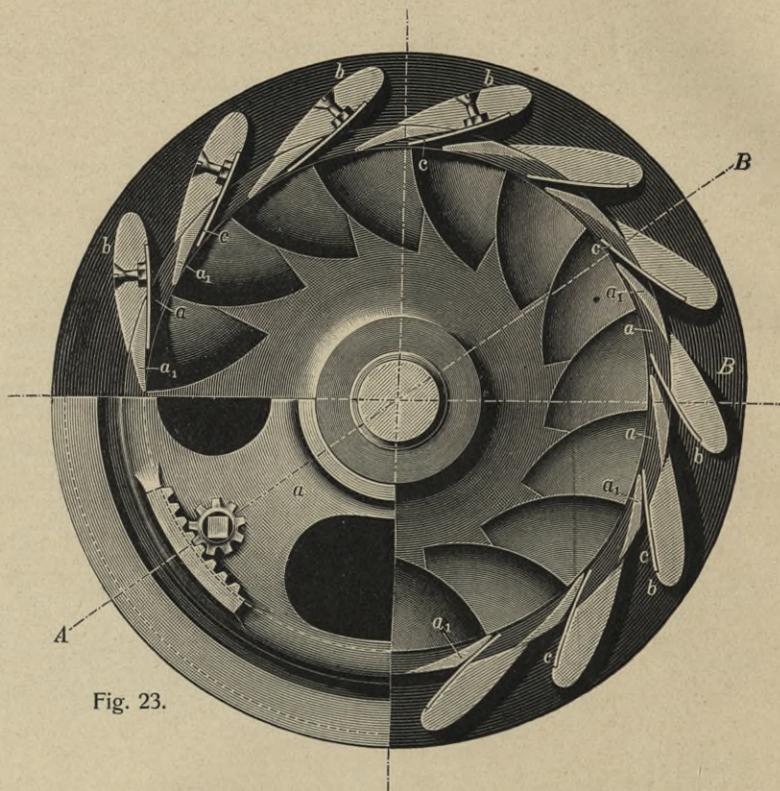
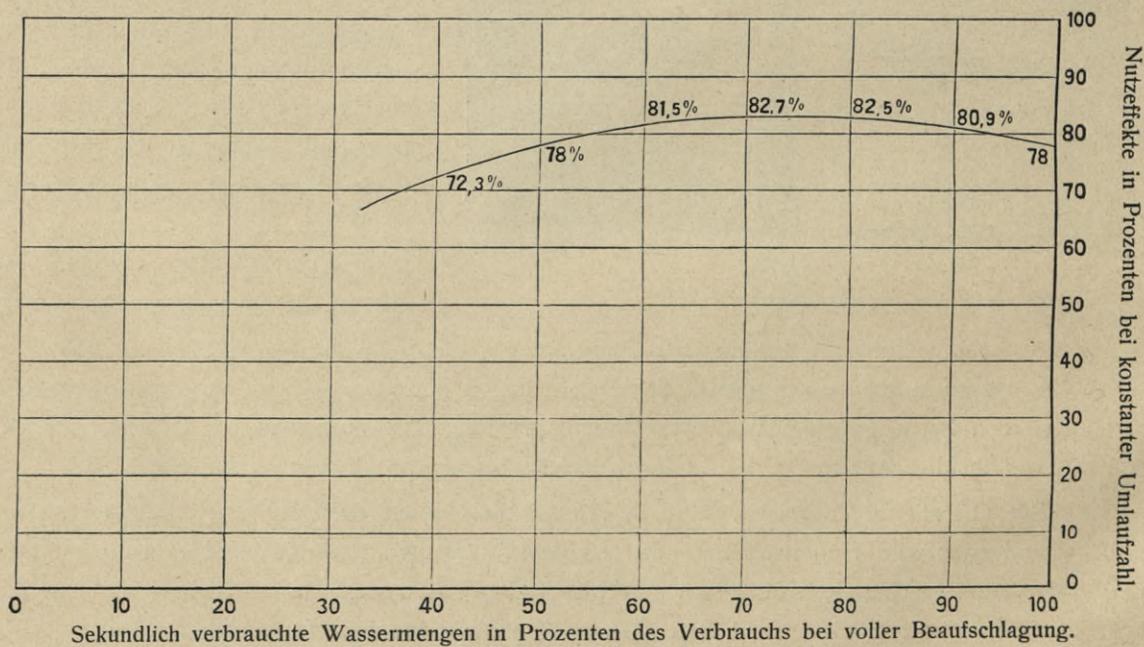


Fig. 23.

Nachstehendes Diagramm zeigt die Resultate einer sehr genauen, in unserer Versuchsanstalt vorgenommenen Prüfung einer unserer Francis-Turbinen normaler Konstruktion.

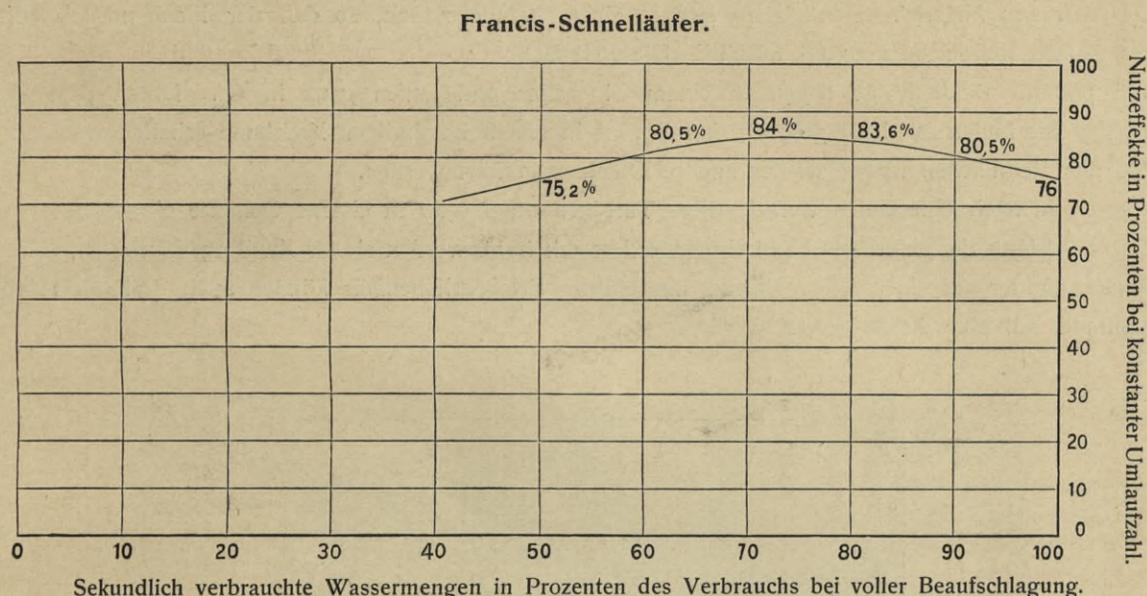
Normal-Serie.



Durch unsere Versuchsanstalt sind wir inzwischen in die Lage versetzt worden, auch Schaufelkonstruktionen festzustellen, welche bei sehr hoher Umlaufzahl der Turbine und verhältnismäßig großer Wasserdurchlaßfähigkeit noch hohe Nutzeffekte gewähren.

Wir nennen diese Turbinen Francis-Schnellläufer. Sie sind hauptsächlich da am rechten Platze, wo Arbeitsmaschinen angetrieben werden sollen, welche sehr hohe Umlaufzahlen erfordern. Sie eignen sich daher ganz besonders für elektrische Betriebe.

Nachstehendes Diagramm zeigt die Resultate der Prüfung eines solchen Schnellläufers. (Wir verweisen auch auf einen in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Jahrgang 1903, Seite 639 erschienenen Bericht des Geh. Baurats Professor Pfarr über die Prüfung eines unserer Schnellläufer.)



1. Über die Ausführung der Francis-Turbinen.

Die Leiträder werden von Gußeisen, die Laufradkränze ebenfalls, die Schaufeln der Laufräder aber von Stahlblech hergestellt. Das dazu verwendete Gußmaterial besteht nur aus den besten und reinsten deutschen Roheisensorten in einer Gattierung, welche Zähigkeit mit einer gewissen Härte verbindet.

Die Gußformen für die Leit- und Laufräder, sowie für die Schieber werden mittels Präzisions-Formmaschinen hergestellt.

Die Herstellungsweise ist derart, daß alle Turbinen gleicher Größe auch in Bezug auf Schaufelwinkel, Teilung und Zellenquerschnitte genau gleich ausfallen müssen, so daß es aus-

geschlossen ist, daß unter einer beliebig großen Anzahl von Turbinen einzelne Exemplare vorkommen, welche infolge von Abweichungen abweichende Leistungen liefern könnten.

Diese Turbinen werden, je nach Erfordernis, entweder für senkrecht stehende oder für wagrecht montierte Spindeln eingerichtet. In beiden Fällen werden die letzteren aus Stahl hergestellt. Im letzteren Falle kommt ein über Wasser liegendes Ringspurlager zur Anwendung. Im zweiten Falle läuft die Spindel in Metallagern, während der stets auftretende Horizontalschub durch ein Kammlager aufgenommen wird. Mit dem Spurlager ist das obere Halslager für die Turbinenspindel und eine Einrichtung verbunden, welche ein bequemes Einstellen der richtigen Lage des Laufrades zum Leitrade ermöglicht. Der festliegende Spurring ist von sehr harter Bronze, der andere mit der Turbinenspindel sich drehende ist entweder von glashartem Stahl oder von einem noch härteren Material. Der letztere sitzt in einem Balancierstück, so daß der Flächendruck auf der ganzen Reibfläche konstant ausfällt. Die Reibflächen werden auf Spezialmaschinen bearbeitet und poliert. Beide Ringe liegen in einem Ölbehälter und laufen ganz in Öl. Durch passend angebrachte Nuten ist dafür gesorgt, daß das Öl in einem beständigen Kreislaufe erhalten wird, so daß den Reibflächen immer wieder andere Ölteile zugeführt werden.

Je nach Umständen werden diese Turbinen offen oder in eiserne Gehäuse eingebaut.

Wenn die geforderte Umdrehungszahl es erheischt, werden sie als Zwillings-Turbinen, d. h. zwei Laufräder auf einer Achse sitzend, ausgeführt. Erforderlichenfalls können auch drei oder vier Laufräder auf eine Achse gesetzt werden.

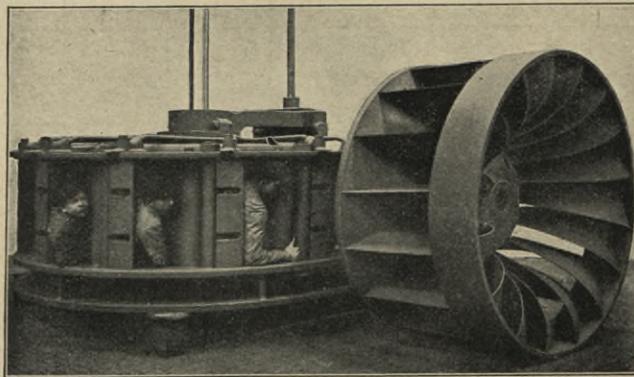


Fig. 24.

Zwillings-Turbinen wenden wir auch noch an, wenn der Wasserzufluß außergewöhnlich veränderlich ist. In diesem Falle bekommen die Turbinen zwei getrennte Saugrohre, wodurch es ermöglicht wird, die eine Turbine ganz abzustellen, um mit der anderen mit größerem Beaufschlagungsgrade, also günstigerem Wirkungsgrade, zu arbeiten.

Das vorhandene Gefälle wird geteilt und der unter der Turbine liegende Teil desselben durch ein Saugrohr zur Wirkung gebracht. Diese Anordnung gewährt die großen Vorteile, daß

man die Laufräder nicht dicht auf den Unterwasserspiegel zu setzen braucht, sondern sie leicht zugänglich und in den Höhen einbauen kann, welche den lokalen Verhältnissen am besten entsprechen, und daß bei steigendem und fallendem Unterwasserspiegel das jeweilig vorhandene Gefälle voll ausgenutzt werden kann.

Die Saugrohre werden von Eisen und, wenn die gegebenen Verhältnisse es angezeigt erscheinen lassen, in Mauerwerk oder Beton hergestellt.

In jedem Falle wird für größtmögliche Zugänglichkeit der Hauptorgane gesorgt.

Besonders hat sich unser Bestreben nach Anpassung an die praktischen Bedürfnisse in der Richtung bewegt, daß wir unseren Francis-Turbinen möglichst weite Zellenquerschnitte geben ohne Beeinträchtigung des Nutzeffekts. Wie weit uns dies gelungen ist, zeigt das auf nebenstehender Seite nach einer photographischen Aufnahme hergestellte Bild. (Fig. 24.)

2. Bildliche Darstellung einiger Ausführungsarten unserer Francis-Turbinen.

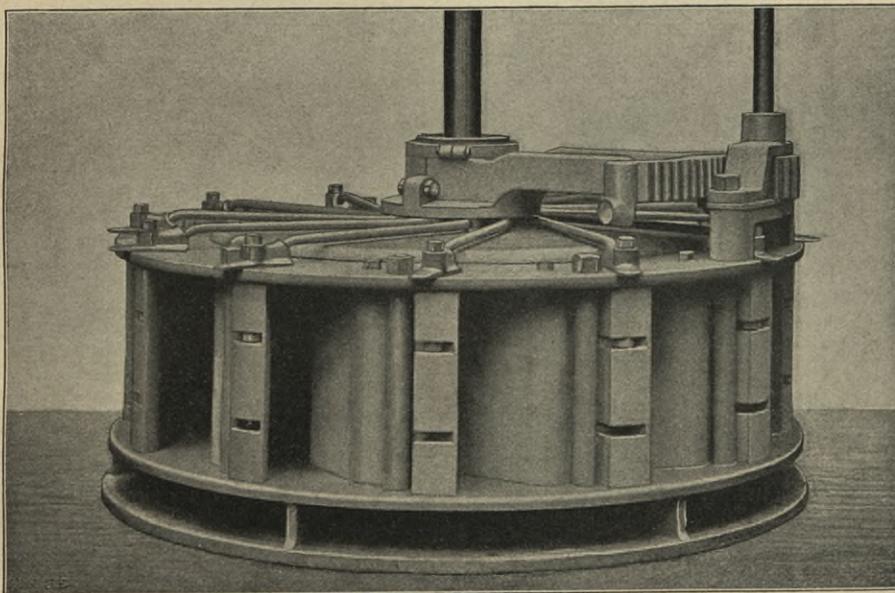


Fig. 25

zeigt eine Francis-Turbine mit vertikaler Welle, für kleine und mittlere Gefälle geeignet.

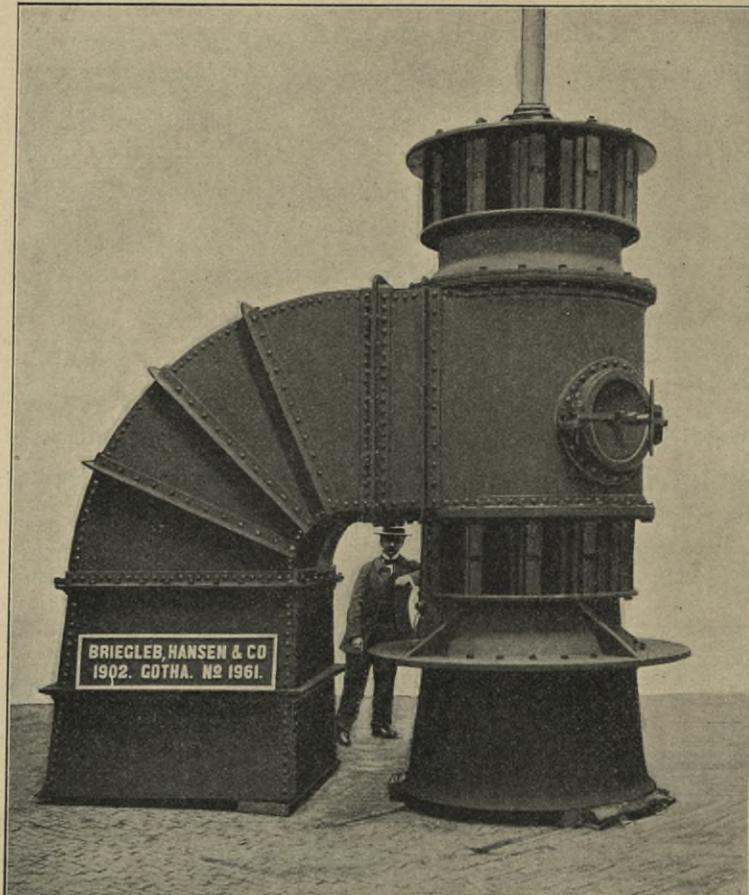


Fig. 26

zeigt eine Zwillings-Francis-Turbine für Einbau im offenen Wasserkasten mit vertikaler Spindel. Das von der oberen Turbine verbrauchte Betriebswasser wird durch das gekrümmte Saugrohr, das von der unteren Turbine verbrauchte durch das kurze gerade Saugrohr abgeführt.

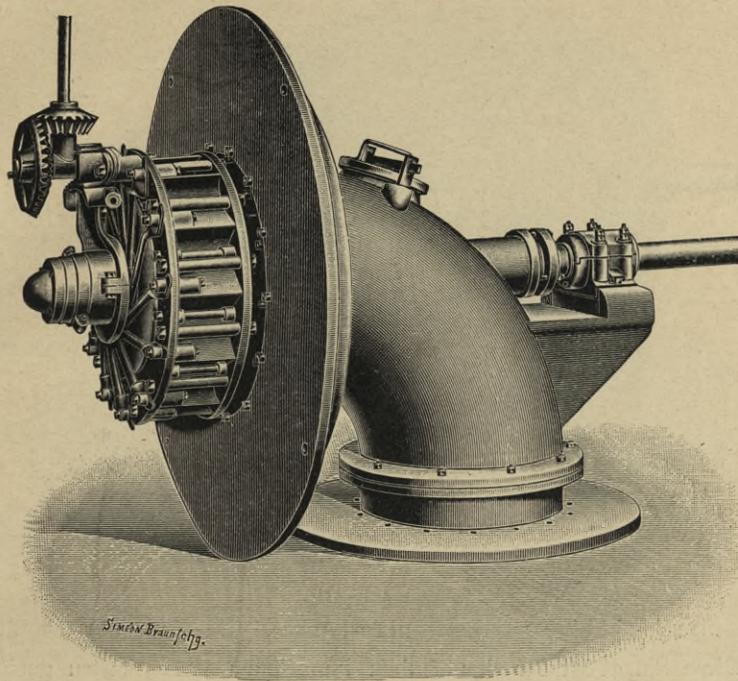


Fig. 27

zeigt eine Francis-Turbine mit horizontaler Achse, wie sie beim Einbau im offenen Wasserkasten angewandt wird.

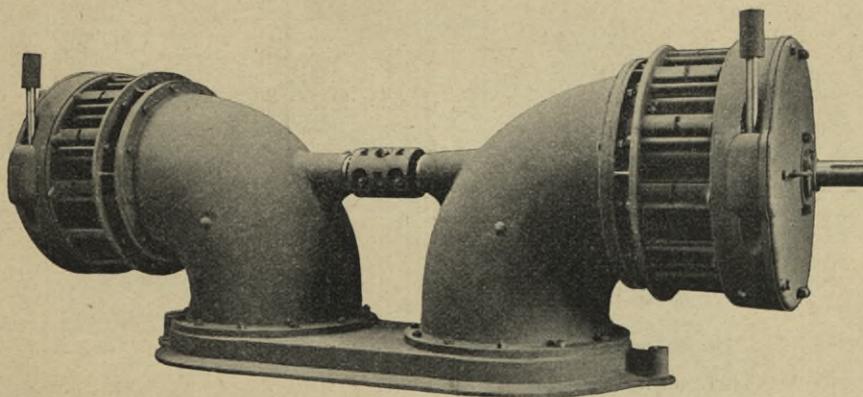


Fig. 28

zeigt zwei gekuppelte in gemeinschaftlichem offenen Wasserkasten einzubauende Francis-Turbinen. Jede ist mit einem Saugrohr versehen und jede für sich regulierbar. Die Kuppelung, welche beide Turbinenwellen verbindet, ist lösbar, so daß bei Wassermangel die eine Turbine außer Betrieb gesetzt werden kann.

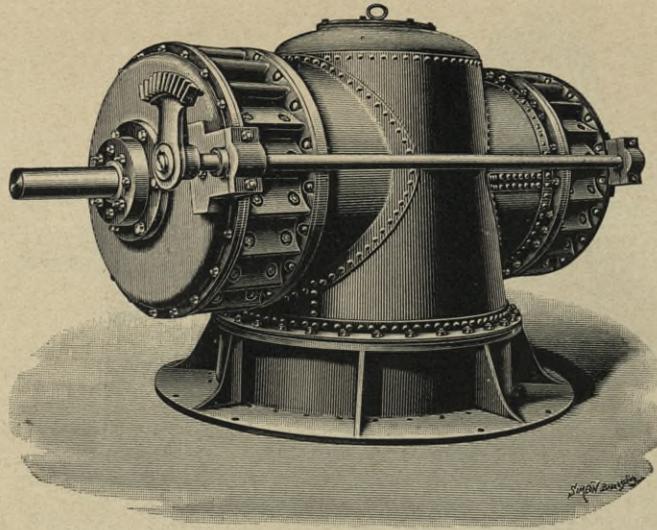


Fig. 29

zeigt eine Zwillings-Francis-Turbine mit horizontaler Achse. Das Saugrohr ist für beide Turbinen gemeinschaftlich. Diese Bauart ist für den Einbau im offenen Wasserkasten geeignet. (Vgl. auch Fig. 30.)

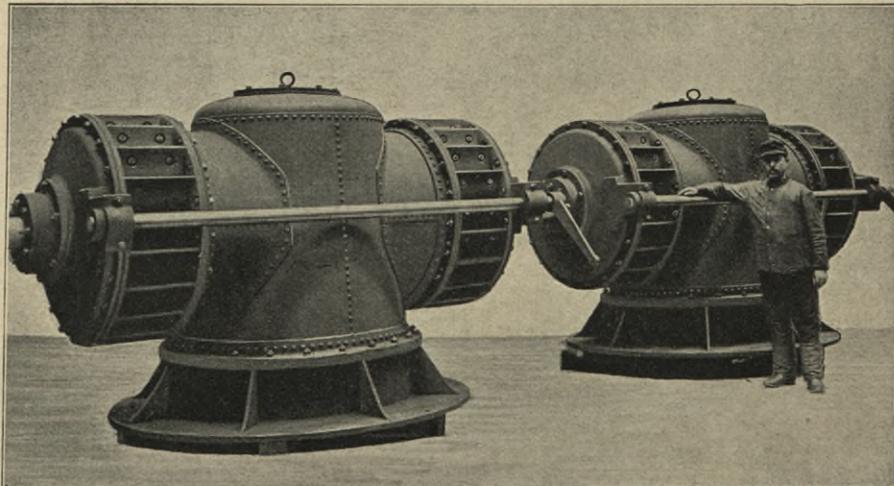


Fig. 30

zeigt zwei gekuppelte Zwillings-Francis-Turbinen von der Bauart der Fig. 29. Diese Anordnung wird zur Erreichung einer höheren Umlaufzahl gewählt.

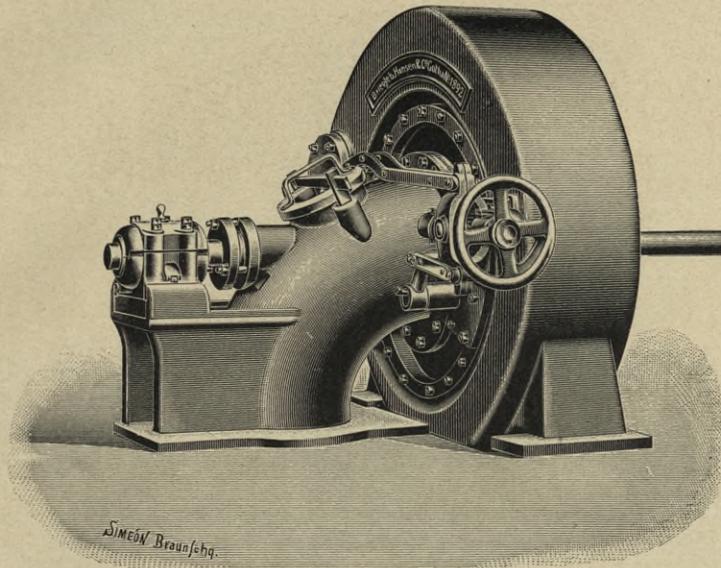


Fig. 31

zeigt eine Francis-Turbine mit horizontaler Achse im spiralförmigen gußeisernen Gehäuse zum Anschluß an eine Rohrleitung. Diese Bauart ist für mittlere und höhere Gefälle geeignet. Diese Turbinen werden auch kurz „Spiral-Turbinen“ genannt.

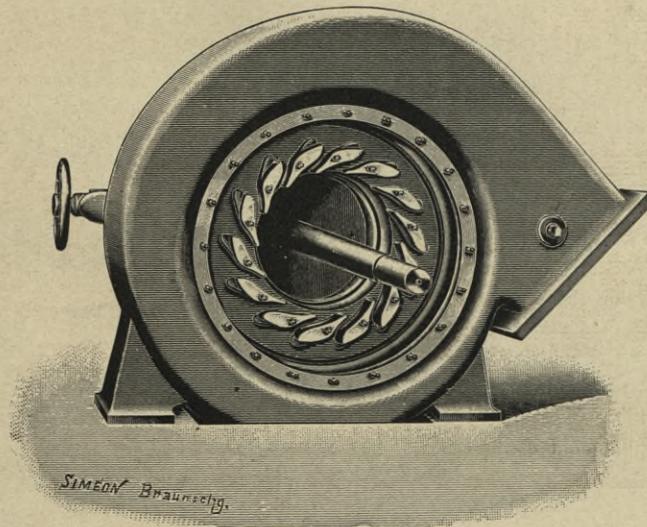


Fig. 32

zeigt dieselbe Turbine von der anderen Seite gesehen mit weggenommenem Leitraddeckel und herausgenommenem Laufrade.

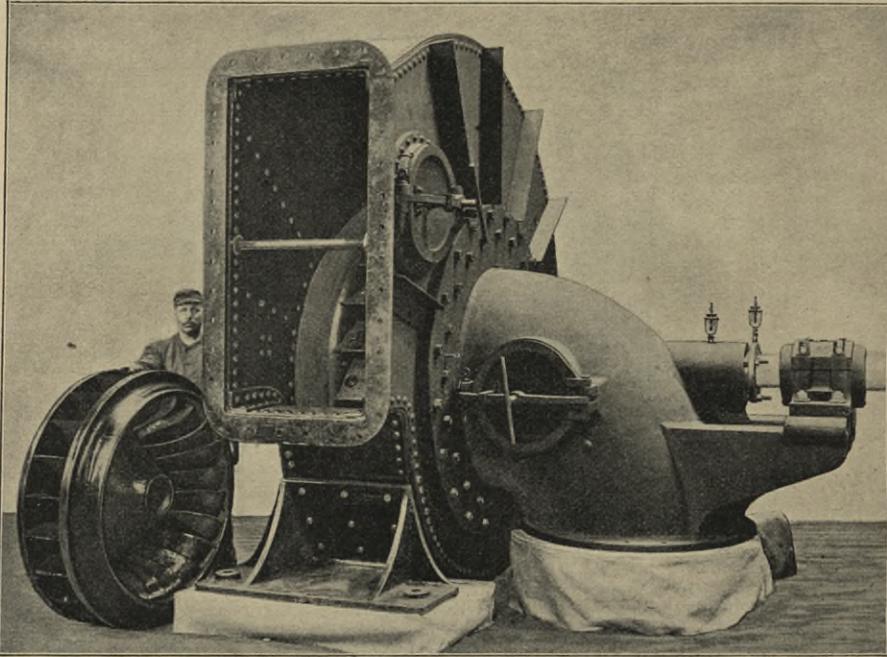


Fig. 33

zeigt eine geschlossene Francis-Turbine mit Zedelregulierung und spiralförmigem Gehäuse von Schmiedeeisen.

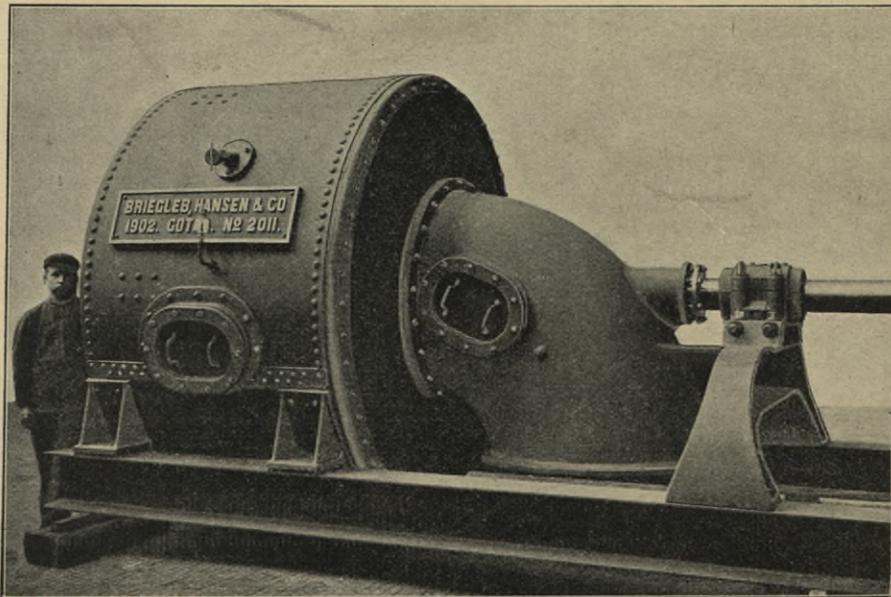


Fig. 34

zeigt eine geschlossene Francis-Turbine mit cylindrischem Gehäuse von Schmiedeeisen zum Anschluß an eine Rohrleitung.

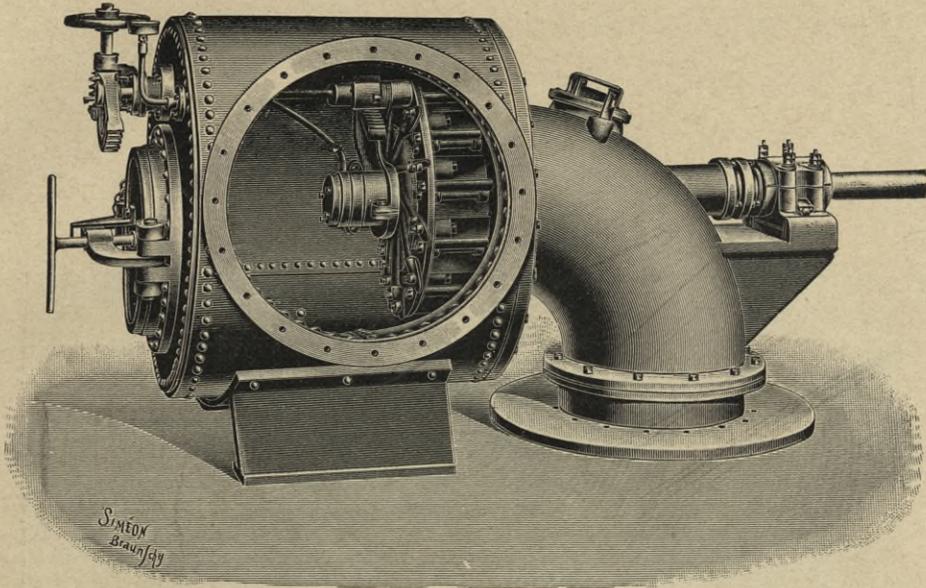


Fig. 35

zeigt eine Francis-Turbine mit horizontaler Welle in cylindrischem schmiedeeisernen Gehäuse zum Anschluß an eine Rohrleitung.

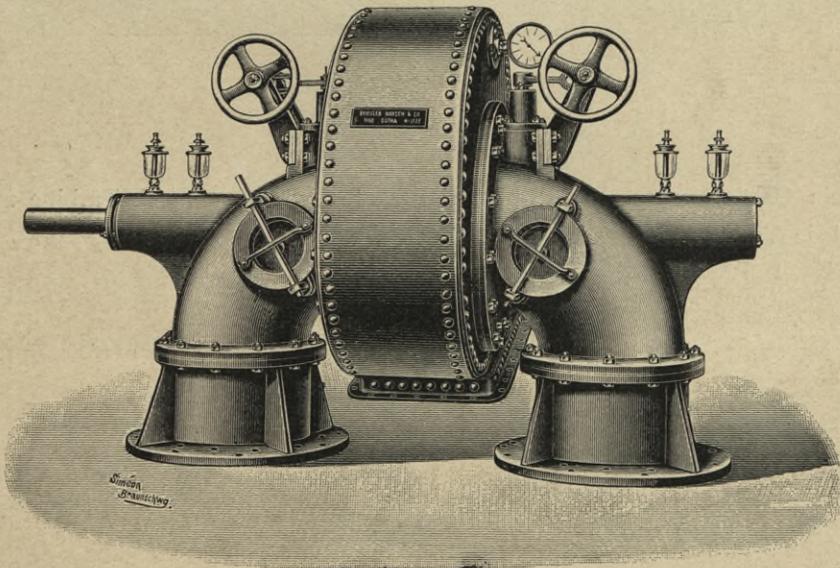


Fig. 36

zeigt eine Zwillings-Francis-Turbine mit schmiedeeisernem Gehäuse und getrennten Saugrohren. Jede Einzelturbine ist für sich regulierbar. Diese Bauart ist gleichfalls für mittlere und höhere Gefälle geeignet.

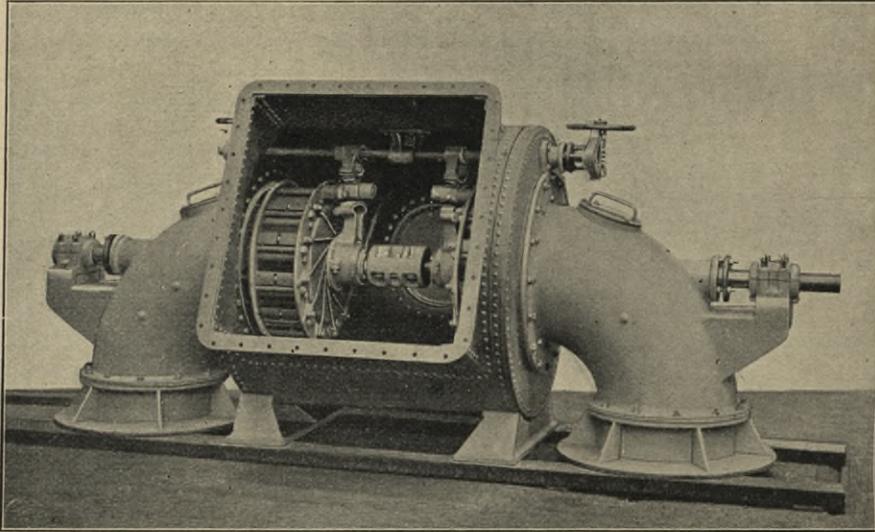


Fig. 37

zeigt eine in ein Gehäuse von Schmiedeeisen eingebaute Zwillings-Francis-Turbine mit getrennten Saugrohren. Jede Turbine ist für sich regulierbar.

3. Einige Aufstellungsarten der Francis-Turbinen.

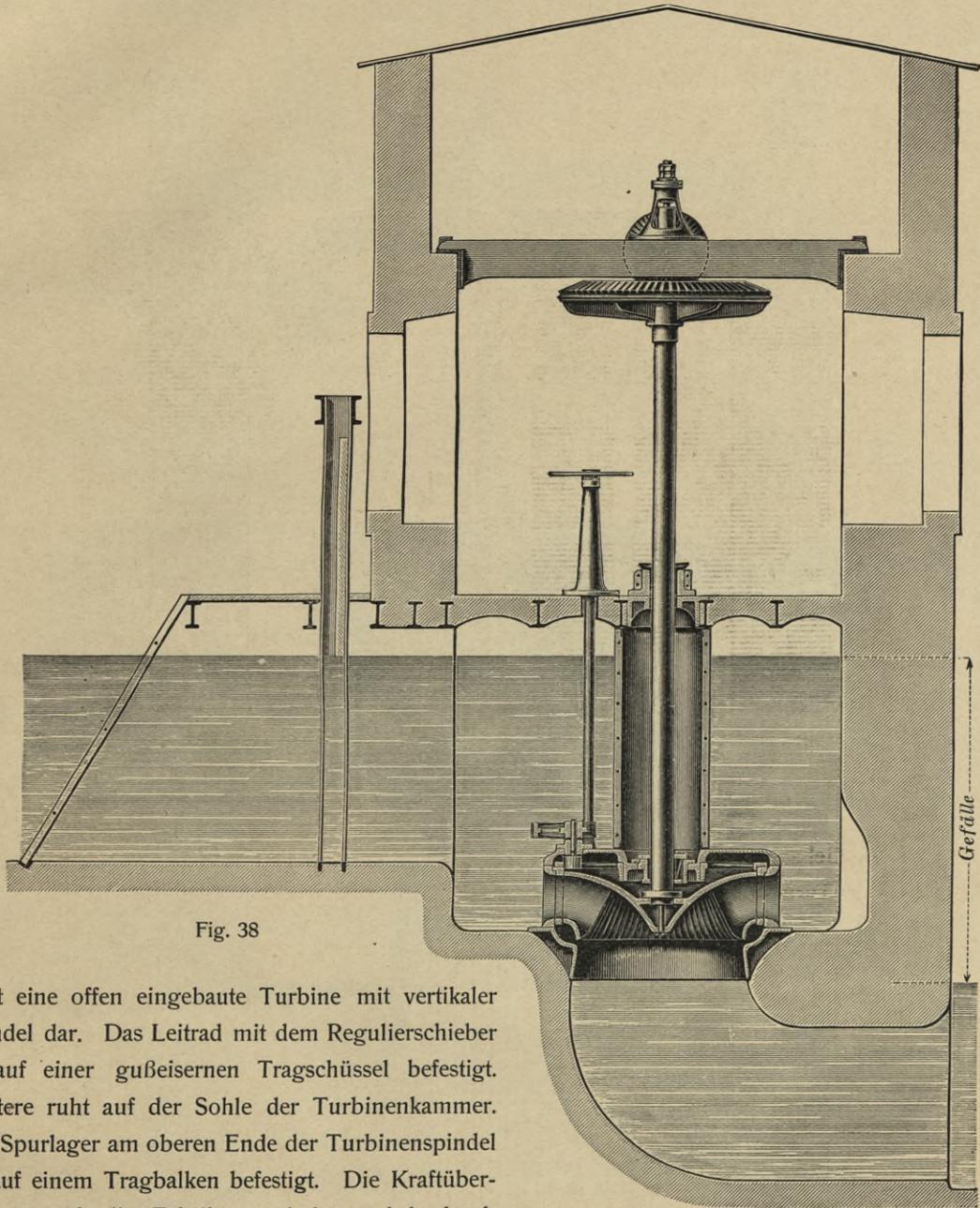


Fig. 38

stellt eine offen eingebaute Turbine mit vertikaler Spindel dar. Das Leitrad mit dem Regulierschieber ist auf einer gußeisernen Tragschüssel befestigt. Letztere ruht auf der Sohle der Turbinenkammer. Das Spurlager am oberen Ende der Turbinenspindel ist auf einem Tragbalken befestigt. Die Kraftübertragung auf die Fabriktransmission wird durch Kegelräder bewirkt. Die Regulierung wird mittels eines in passender Höhe über dem Fußboden des Turbinenhauses angebrachten Handrades bewirkt. Das Laufrad liegt über dem Unterwasserspiegel, das demselben entströmende Wasser wird durch einen gekrümmten Kanal von Mauerwerk dem Abflußgraben zugeführt. Dieser Kanal dient zugleich als Saugrohr.

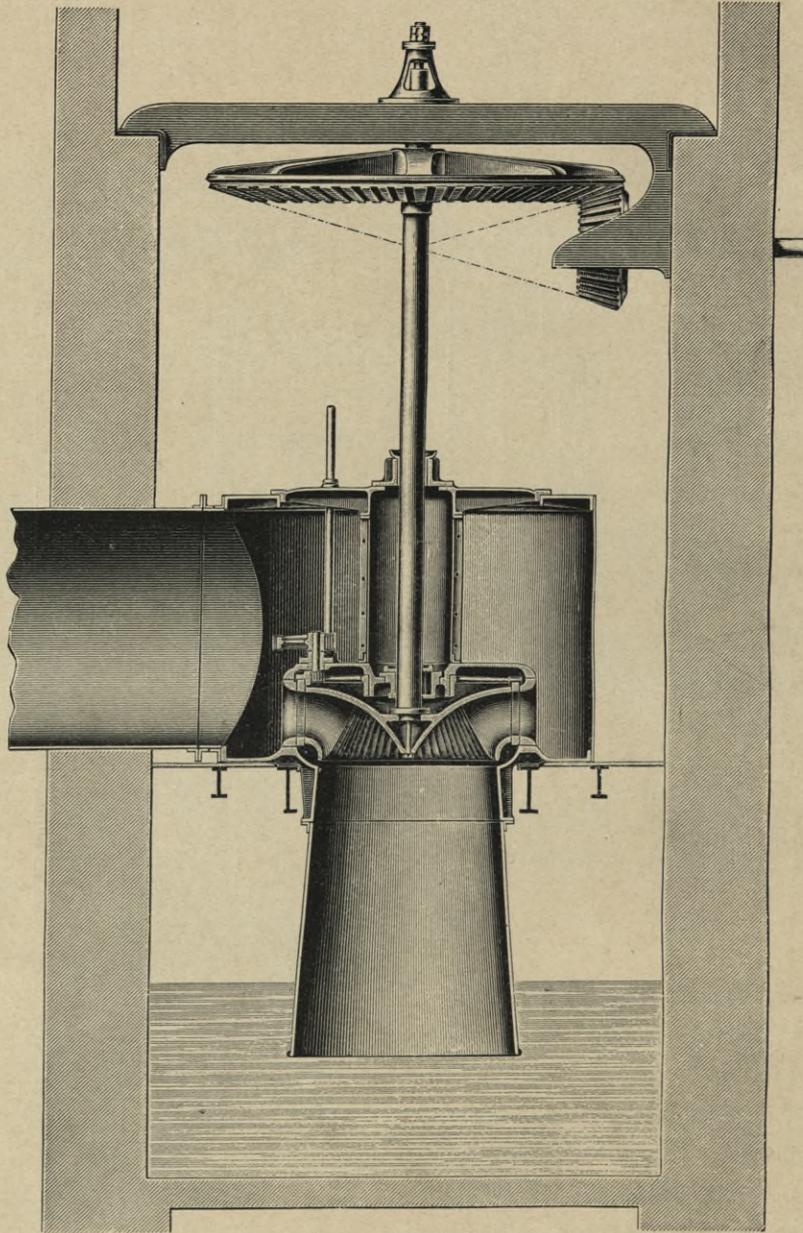


Fig. 39.

Fig. 39

stellt eine geschlossene, d. h. eine in einem Gehäuse eingebaute Turbine mit vertikaler Spindel dar.

Der Abtrieb erfolgt wie in dem vorbeschriebenen Falle durch Kegelräder.

Das Gehäuse, auf dessen Boden das Leitrad befestigt ist, ruht auf eisernen, in den Wänden der Turbinenkammer eingemauerten Tragbalken.

Die Wasserzuführung erfolgt durch ein an das Gehäuse angeschlossenes eisernes Rohr, die Wasserabführung durch ein eisernes Saugrohr.

Die Regulierung wird durch eine in der Figur abgebrochen dargestellte, aus dem oberen Boden herausragende Spindel bewirkt.

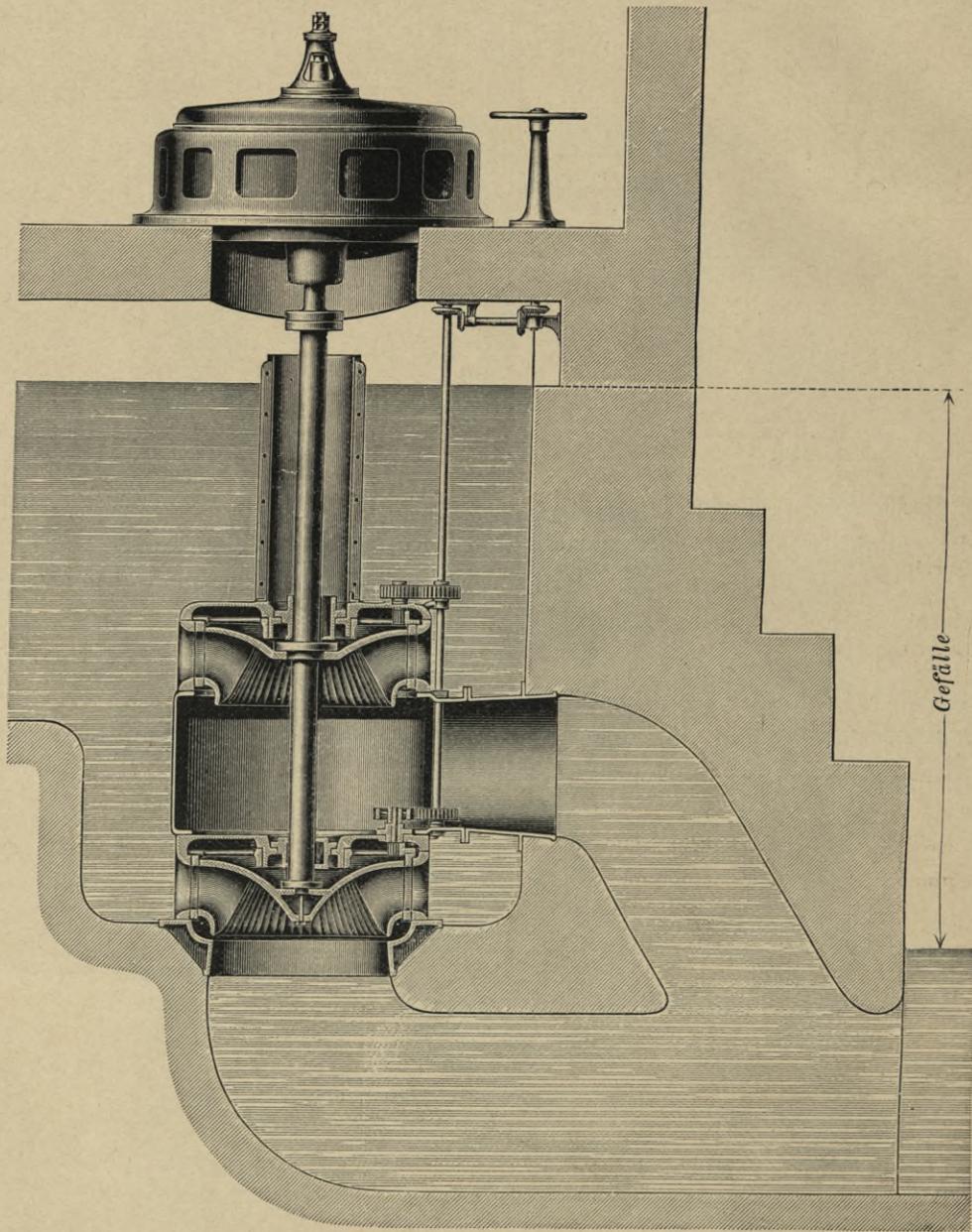


Fig. 40.

Fig. 40

stellt eine offen eingebaute Doppel-Turbine mit vertikaler Spindel dar.

Auf letzterer sind zwei gleichgroße Laufräder befestigt. Die zugehörigen Leiträder sind durch einen mit seitlichem Abflußstutzen versehenen eisernen cylindrischen Kasten verbunden.

Das Aufschlagwasser tritt von außen in die Leiträder ein. Der Teil, welcher das obere Laufrad durchlaufen hat, gelangt durch den cylindrischen Kasten fließend in den schrägen gemauerten Kanal. Der Teil, welcher aus dem unteren Laufrade austritt, fließt durch den horizontalen gemauerten Kanal und, nachdem er sich mit dem vom oberen Rade kommenden Wasser vereinigt hat, in den Unterwassergraben der Turbine.

Die gemauerten Kanäle dienen zugleich als Saugrohre.

Die Regulierorgane werden gleichzeitig mittels Faustrades und der in der Figur ersichtlichen Transmissionsteile bewegt.

Der obere Teil der Figur stellt eine Dynamomaschine dar, deren Anker direkt auf der Turbinenspindel befestigt ist.

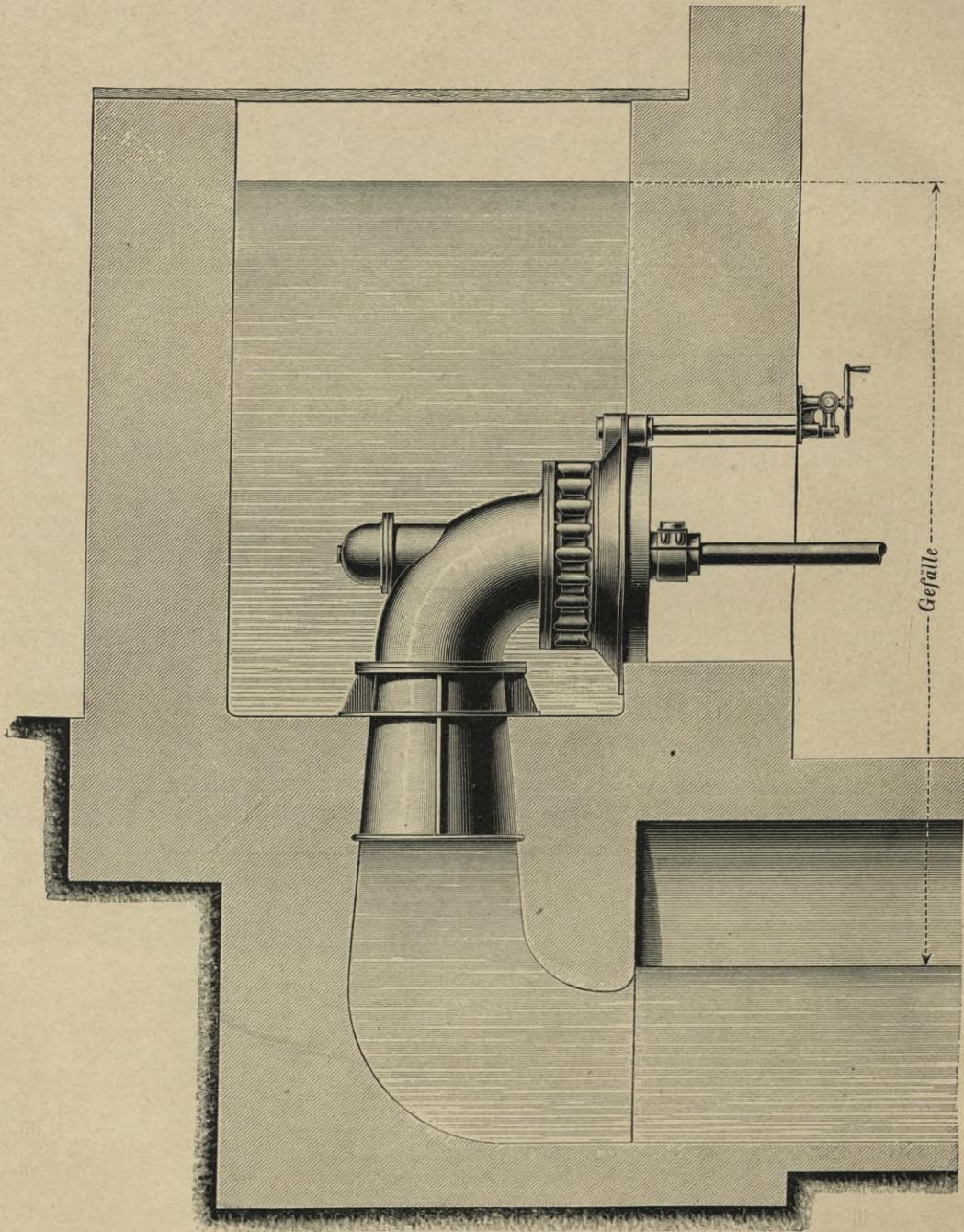


Fig. 41.

Fig. 41

stellt eine offen eingebaute Turbine mit horizontaler Spindel dar.

Das Aufschlagwasser tritt unmittelbar aus der Turbinenkammer in das Leitrad ein und fließt, nachdem es seine Arbeitskraft an das Laufrad abgegeben hat, durch einen eisernen Krümmer und einen gemauerten Kanal in den Abflußgraben.

Die horizontale Turbinenspindel ist einmal dicht neben dem Leitrade rechts und einmal links in einem am Abflußkrümmer angegossenen, mit Kapsel gegen das Eindringen des Wassers verschlossenen Rohre gelagert und tritt durch eine in der Wand der Turbinenkammer angebrachte, durch die Turbine selbst verschlossene Öffnung aus behufs Weiterleitung der Kraft nach den Stellen, wo sie Verwendung finden soll.

Die Regulierung wird mittels des in der Zeichnung ersichtlichen Faustrades bewirkt.

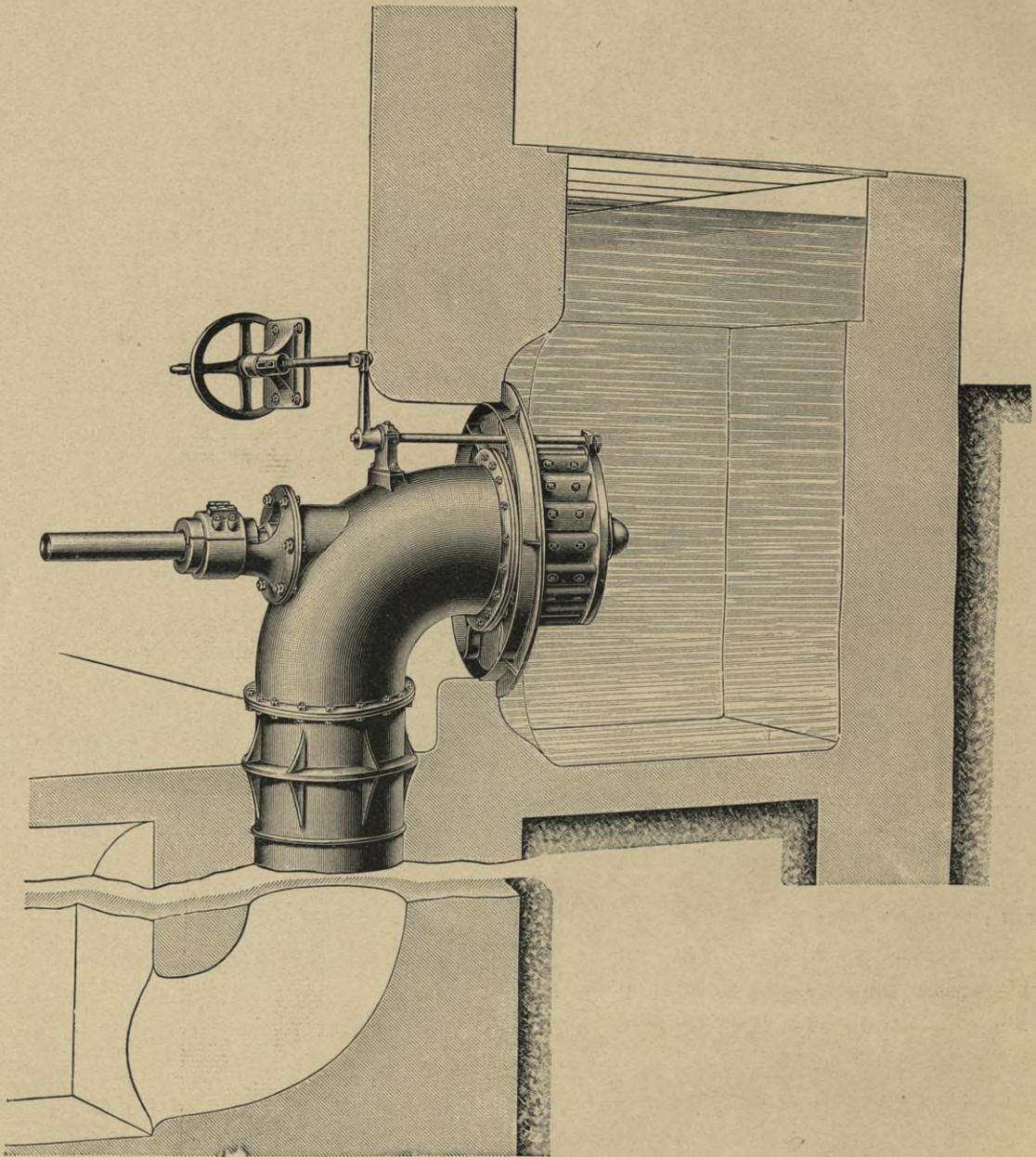


Fig. 42.

Die durch Fig. 42 dargestellte Turbine unterscheidet sich von Fig. 41 nur dadurch, daß die Turbinenspindel behufs Weiterleitung der Kraft nach dem Orte der Verwendung nicht direkt aus dem Leitrade, sondern an der entgegengesetzten Seite und zwar aus dem Abflußrohre austritt.

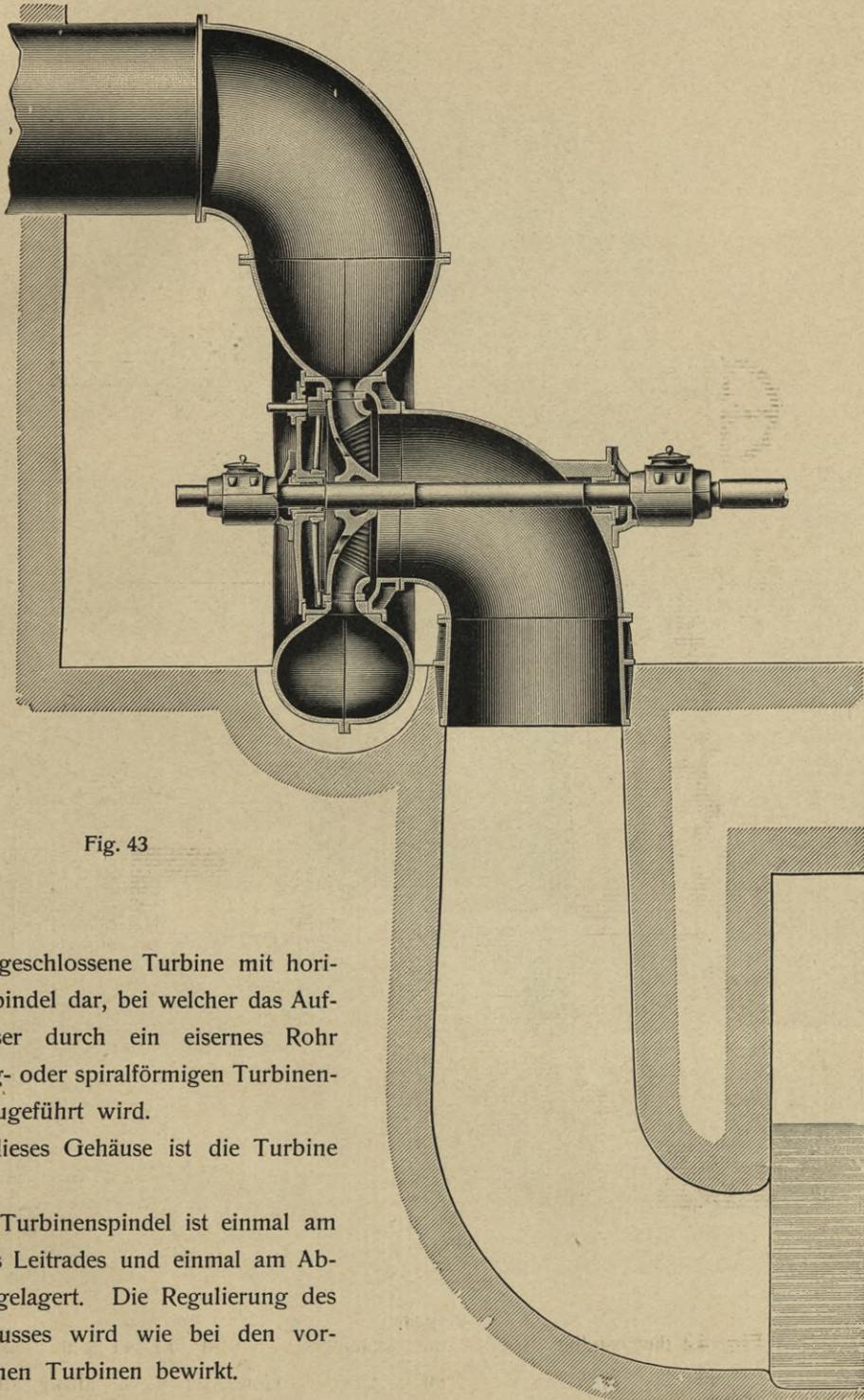


Fig. 43

stellt eine geschlossene Turbine mit horizontaler Spindel dar, bei welcher das Aufschlagwasser durch ein eisernes Rohr einem ring- oder spiralförmigen Turbinengehäuse zugeführt wird.

In dieses Gehäuse ist die Turbine eingebaut.

Die Turbinenspindel ist einmal am Boden des Leitrades und einmal am Abflußrohre gelagert. Die Regulierung des Wasserzufflusses wird wie bei den vorherbeschriebenen Turbinen bewirkt.

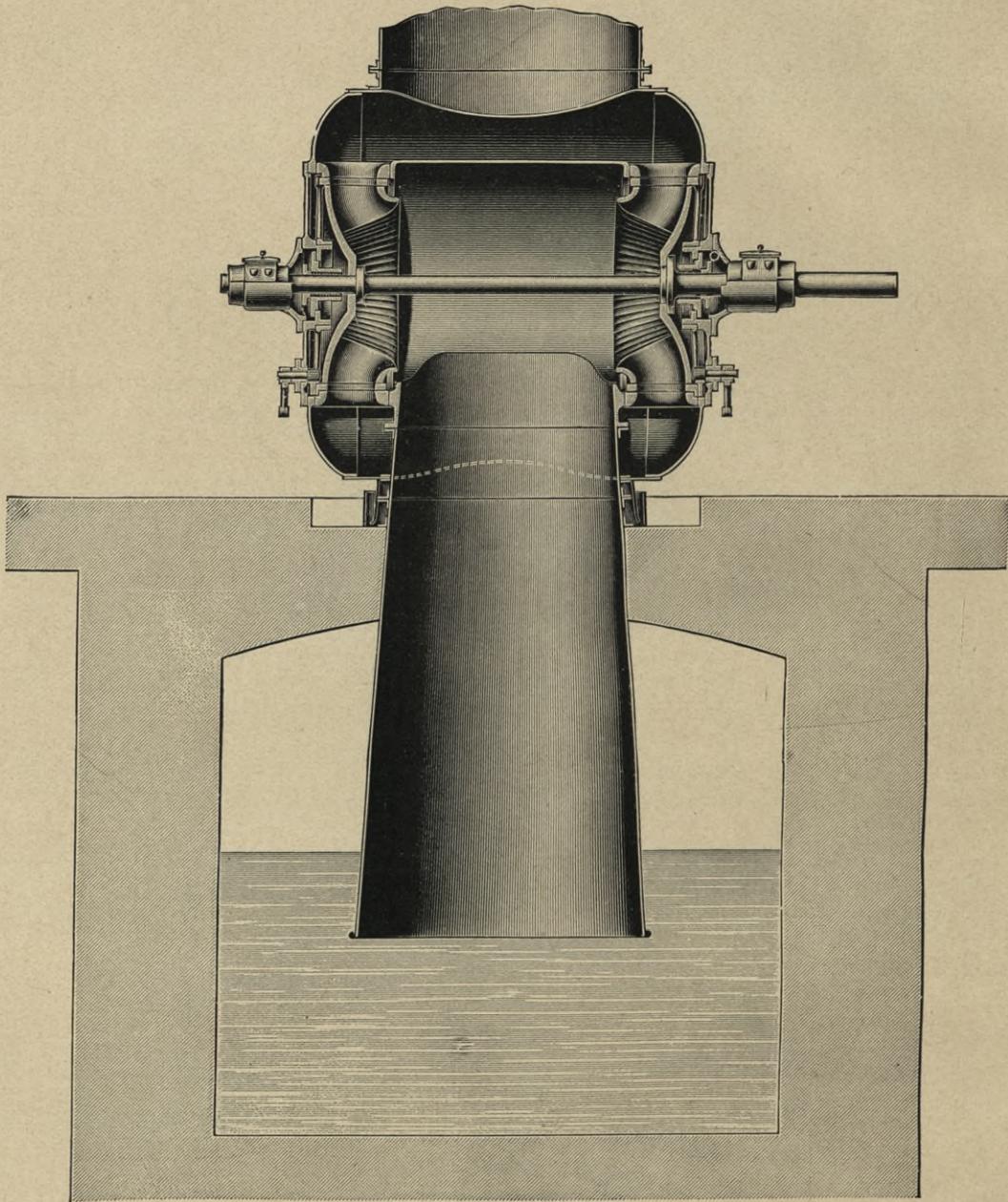


Fig. 44.

Fig. 44

stellt eine geschlossene Doppel-Turbine mit horizontaler Spindel dar, welcher das Aufschlagwasser durch ein eisernes Rohr von oben her zugeführt wird.

Das Gehäuse besteht in einem cylindrischen Gefäß mit gewölbten Böden. In diesem befindet sich konzentrisch ein zweiter Cylinder von geringerer Achsenlänge, welcher durch die Leiträder mit den Böden des zuerst erwähnten Cylinders fest verbunden ist.

Hierdurch entsteht ein ringförmiger Raum, welcher mit dem Zuleitungsrohr kommuniziert, und durch welchen das Aufschlagwasser sämtlichen Leitzellen gleichmäßig zugeführt wird, während das Abflußrohr mit dem inneren Cylinder kommuniziert, um das den beiden Laufrädern entströmende Wasser aufzunehmen.

Die Turbinenspindel ist an den Verschußdeckeln des Gehäuses gelagert, und die Bewegung der Regulierorgane wird durch gezahnte Segmente, in welche eine in der Figur nicht dargestellte gemeinschaftliche Welle mit Getrieben eingreift, bewegt.

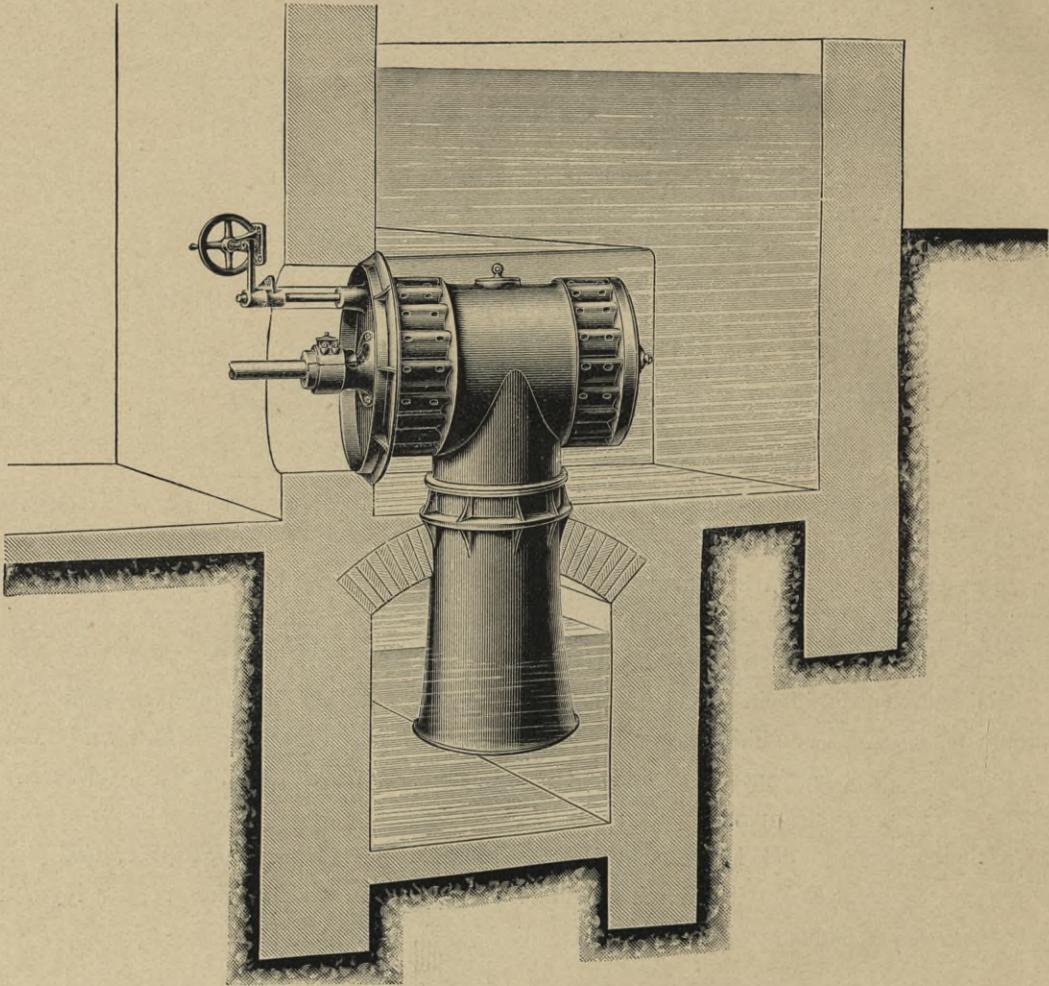


Fig. 45

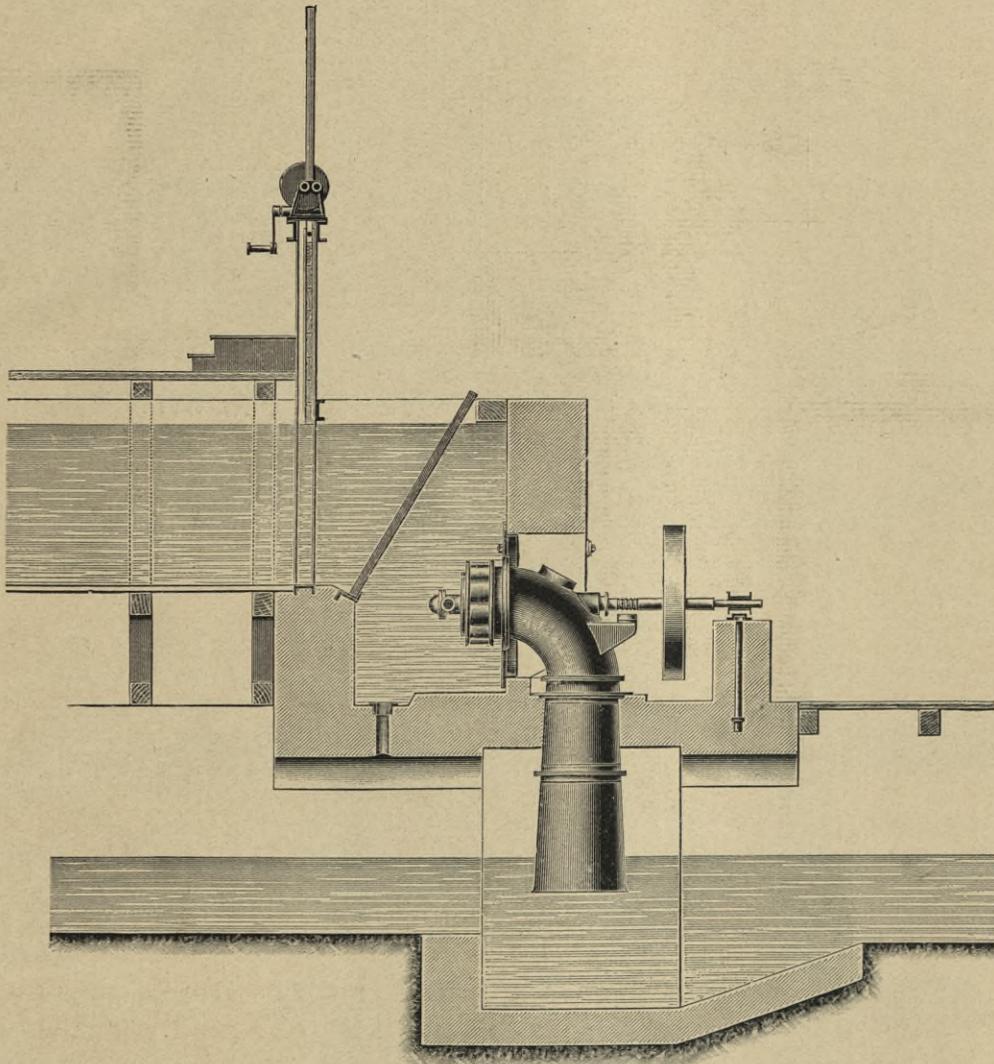
stellt eine offen eingebaute Doppel-Turbine mit horizontaler Spindel dar.

An dem horizontalen Teile eines eisernen T-Stückes sind zwei Turbinen angebaut.

Die Leiträder empfangen das Aufschlagwasser unmittelbar aus der offenen Turbinenkammer. Die Spindellager sind an den Böden der Leiträder befestigt. Der ganze Bau wird dadurch in stabiler Lage erhalten, daß einesteils der Leitapparat links an der Wand der Turbinenkammer und andernteils das mit Rippen versehene Verbindungsstück zwischen dem vorerwähnten T-Stück und dem Saugrohr mit dem Boden der Turbinenkammer verankert ist.

Die Transmission für die Regulierorgane ist in der Figur ersichtlich und bedarf keiner besonderen Erklärung.

4. Einige ausgeführte Anlagen.

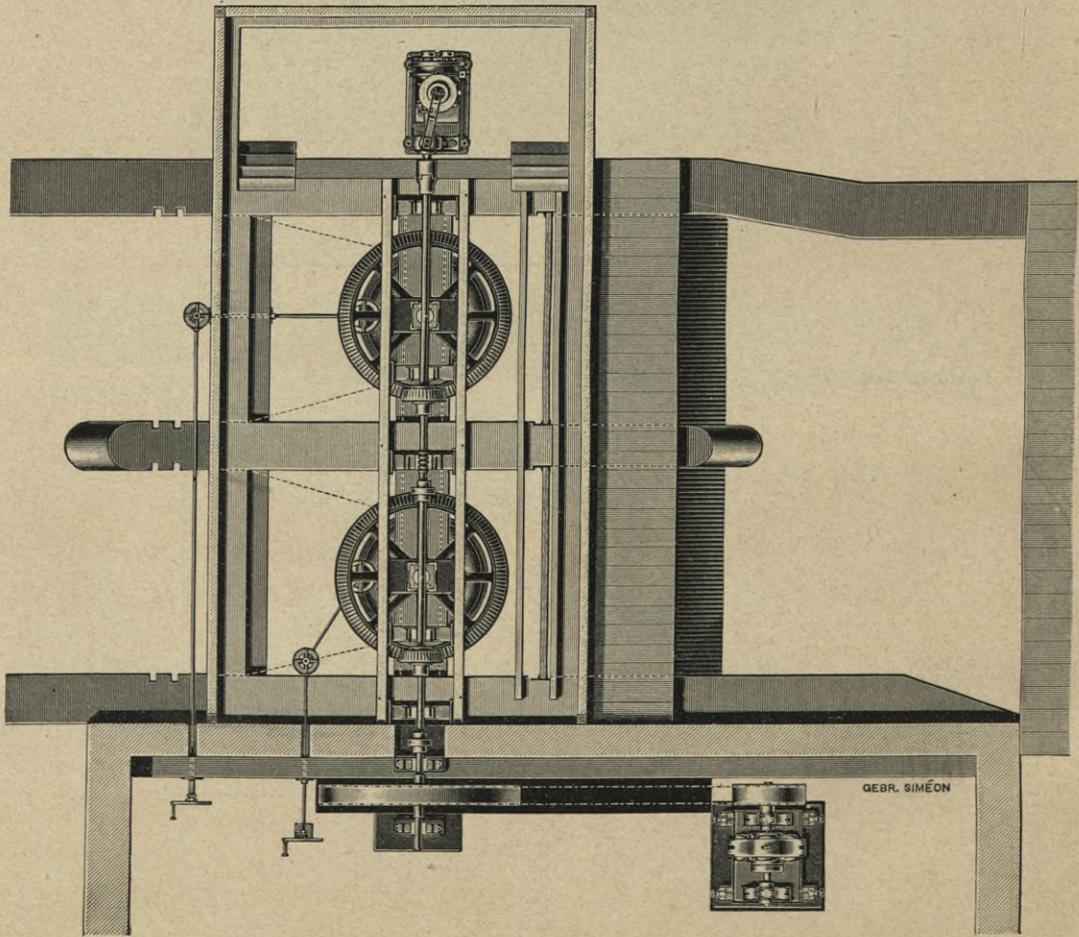
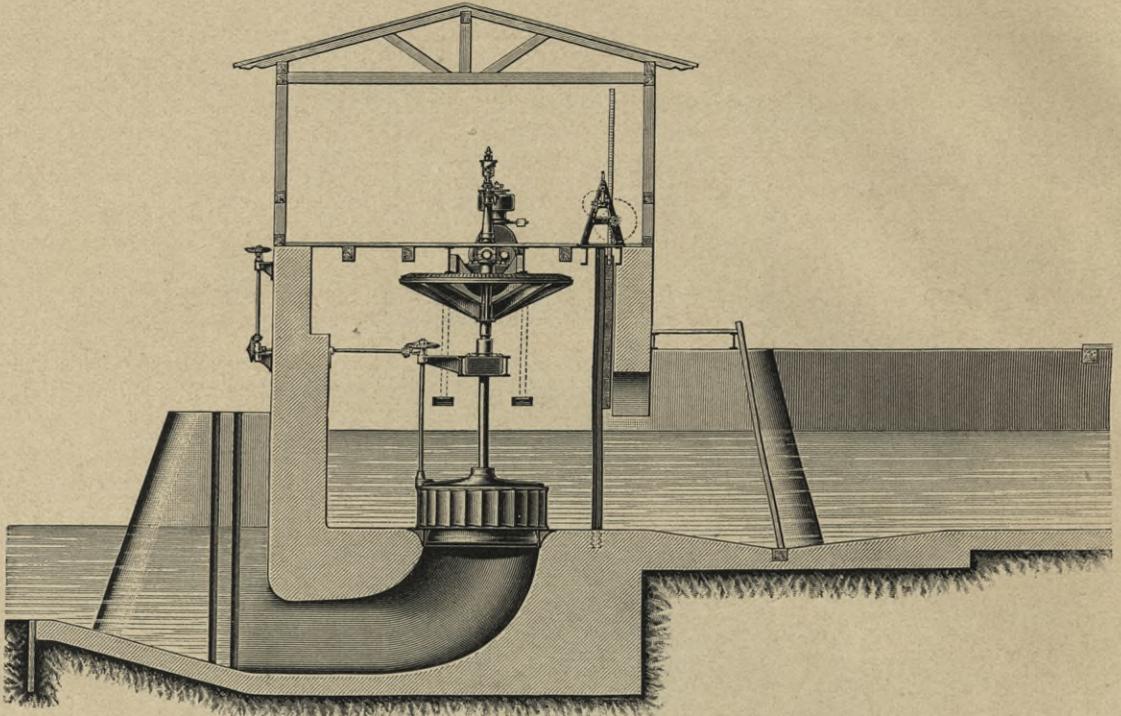


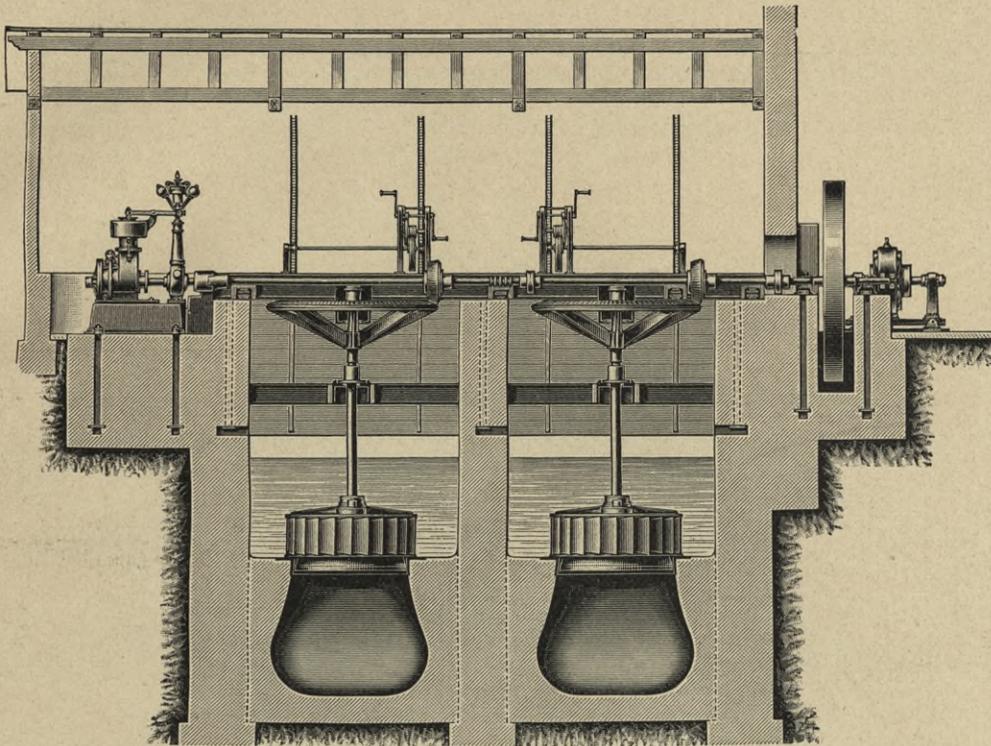
Turbinen-Anlage

ausgeführt für die

Herren Wilhelm Kralik & Sohn in Eleonorenhain.

4 m Gefälle, 30 Pferdestärken.





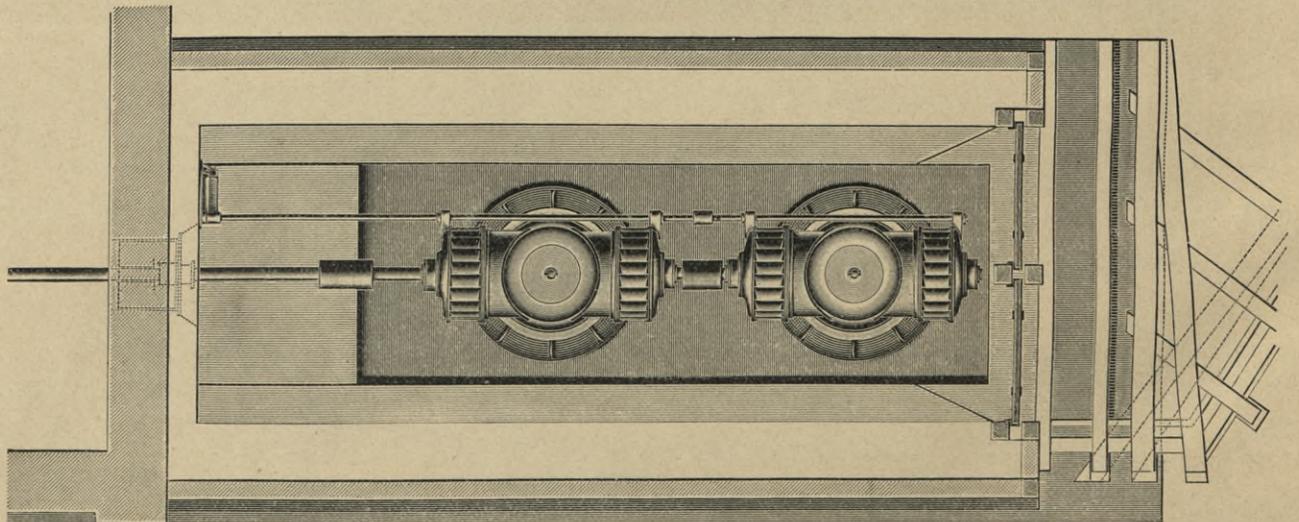
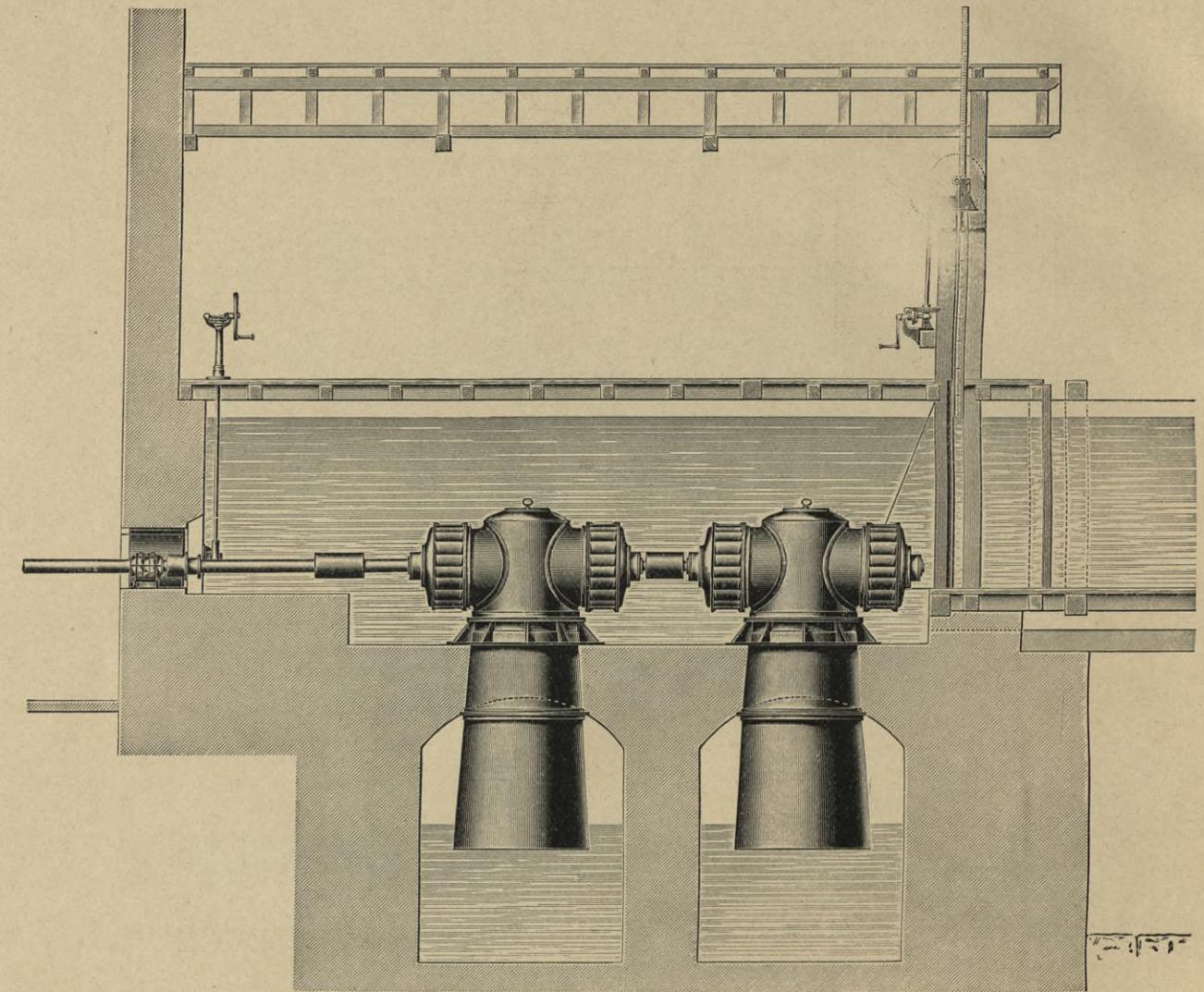
Turbinen-Anlage

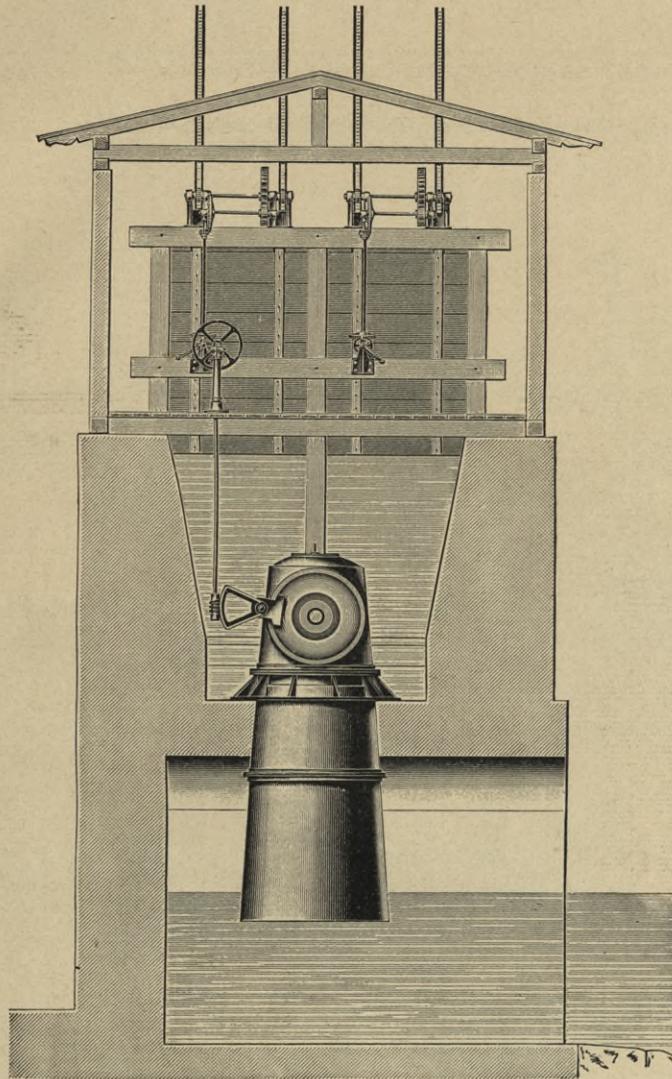
mit selbsttätigem hydraulischen Bremsregulator

ausgeführt für das

Elektrizitäts-Werk in Gießen.

1,70 m Gefälle, 150 Pferdestärken.



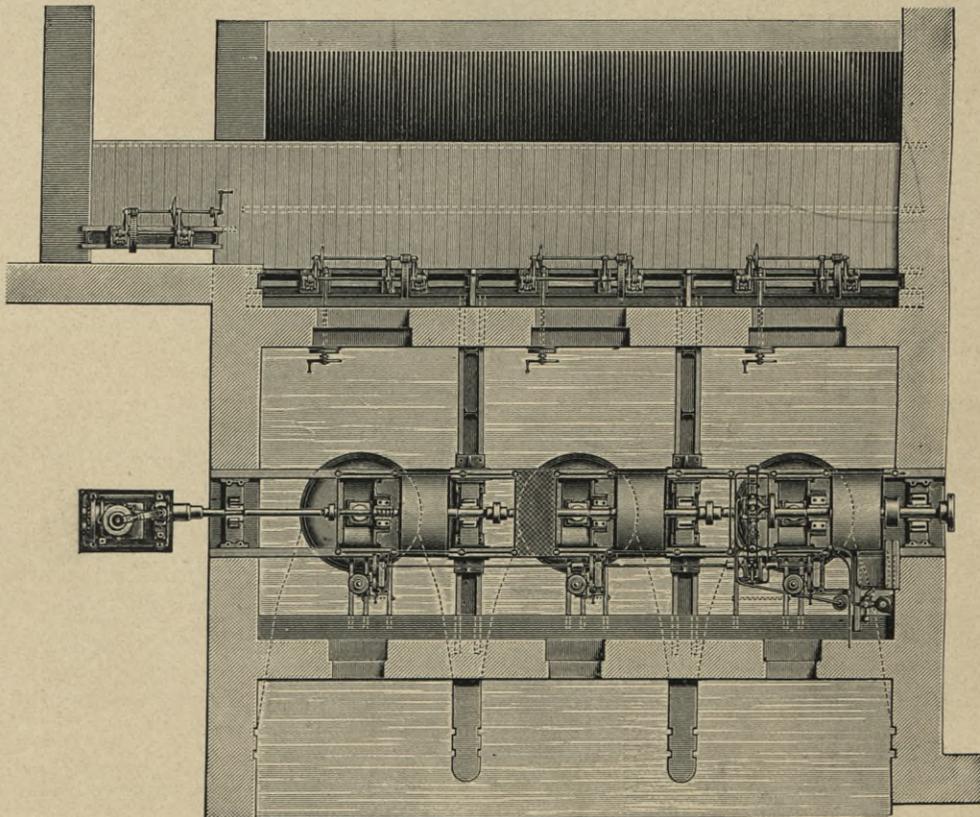
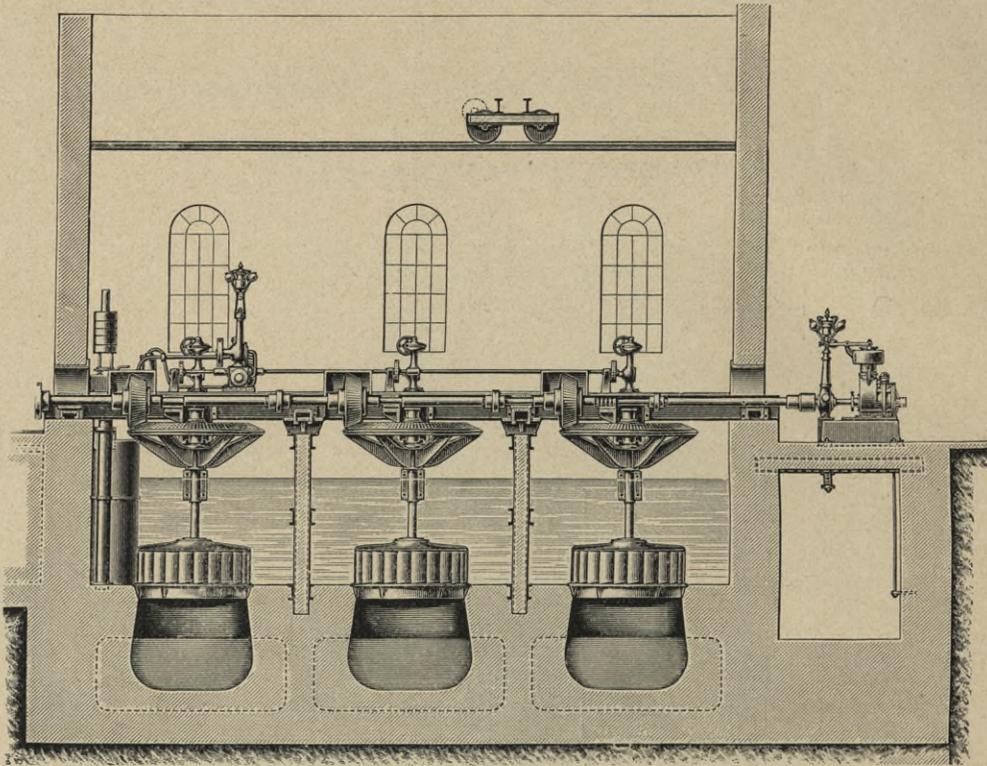


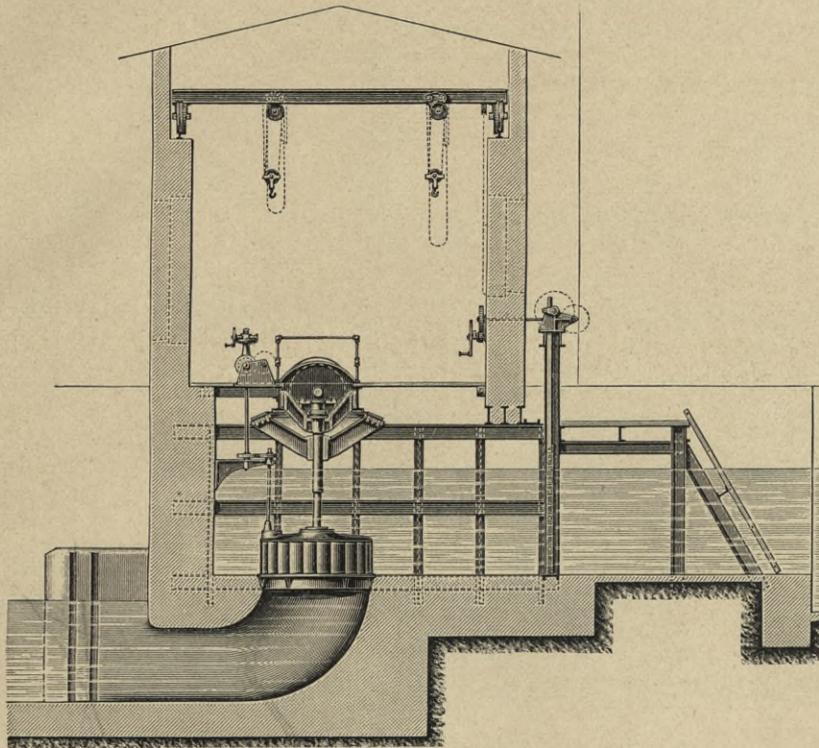
Turbinen-Anlage

ausgeführt für die

Herren J. C. Frenkell & Sohn in Tammerfors.

6 m Gefälle, 510 Pferdestärken.





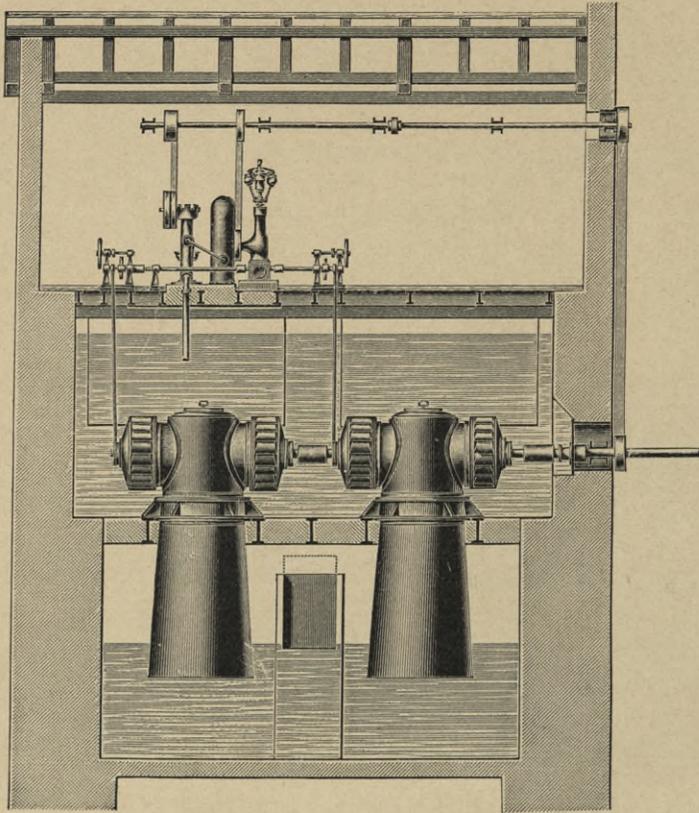
Turbinen-Anlage

mit selbsttätiger hydraulischer Regulierung

ausgeführt für das

Elektrizitäts-Werk in Crottorf bei Oschersleben.

2,7 m Gefälle, 522 Pferdestärken.



Turbinen-Anlage

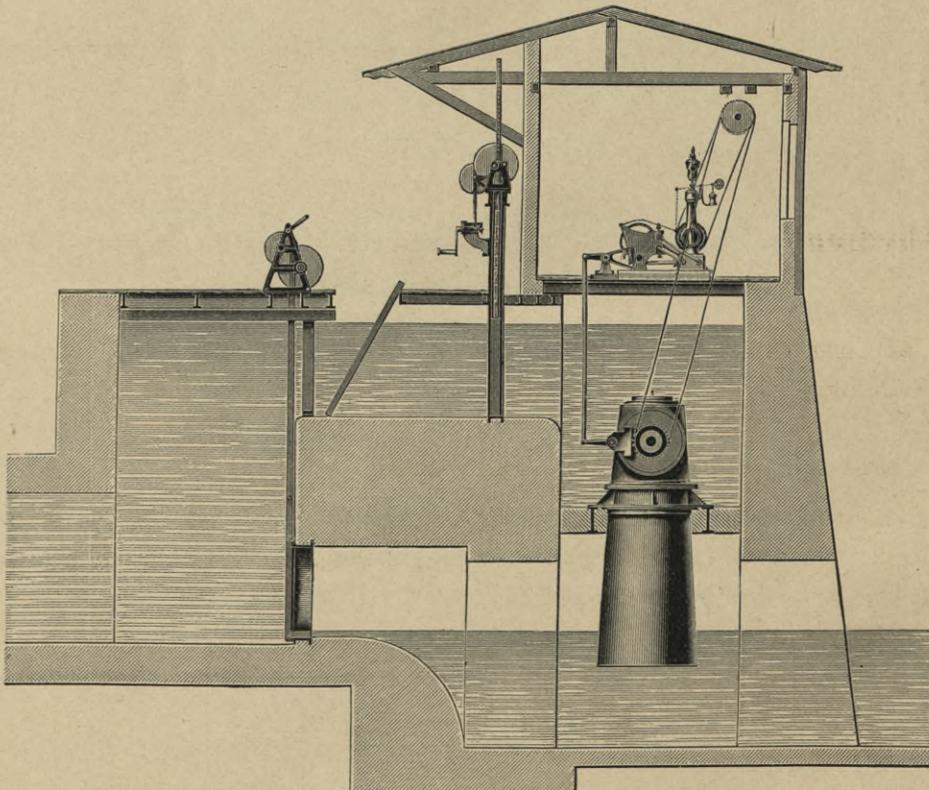
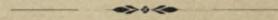
mit

selbsttätigem hydraulischen Regulator

ausgeführt für das

Blaufarben-Werk Pfannenstiel
bei Aue i. Erzgeb.

5,35 m Gefälle, 344 Pferdestärken.



V. Kapitel.

Über die automatische Regulierung der Turbinen.

Wenn es sich darum handelt, die Geschwindigkeit der Turbinen so gleichmäßig als möglich zu erhalten, wie es z. B. bei dem Betrieb von Elektrizitätswerken, Spinnereien, Webereien u. s. w. erforderlich ist, so rüsten wir die Turbinenanlagen mit automatischen Reguliervorrichtungen aus, welche die Geschwindigkeit der Turbinen ganz unabhängig vom Maschinenwärter innerhalb sehr enger Grenzen gleichmäßig erhalten.

Wir bedienen uns hierzu:

entweder

der auf S. 51 beschriebenen hydraulischen Bremsregulatoren

oder

der sogenannten hydraulischen Regulatoren

oder

der rein mechanisch ohne Zuziehung eines Servomotors wirkenden Regulatoren.

1. Die hydraulischen Bremsregulatoren in der uns eigenen Bauart

(siehe vorletzten Absatz, S. 52)

übertreffen alle anderen Turbinenregulatoren an Regulierfähigkeit, weil sie die überschüssige lebendige Kraft direkt, d. h. ohne erst Zwischenmechanismen in Bewegung setzen zu müssen, abbremsen.

Sie bieten aber außerdem noch folgende Vorteile:

- a) Es treten während der Reguliertätigkeit keinerlei Änderungen in den Wasserspiegeln ein, weil beim Regulieren die Regulierorgane der Turbine nicht in Bewegung gesetzt zu werden brauchen.
- b) Eine unmittelbare Folge hiervon ist, daß der Wasserlauf nicht gestört wird, so daß die unterhalb gelegenen, durch Wasser betriebenen Werke nicht im Betrieb gestört werden.

- c) Eine weitere Folge ist, daß bei großen Entfernungen des Wehres von der Turbinenanlage keine besonderen kostspieligen Überfallanlagen gebaut zu werden brauchen.
- d) Dadurch, daß während der Reguliertätigkeit die Regulierorgane der Turbine nicht beständig hin und her bewegt zu werden brauchen, sondern in einer bestimmten Stellung verharren können, werden diese Organe vor starker Abnutzung bewahrt.
- e) Im Gegensatz zu den auf die Regulierorgane der Turbinen wirkenden Regulatoren, bei welchen jede Regulierung aufhört, wenn durch die Rechenanlage nicht aufhaltbare Unreinigkeiten im Wasser die Beweglichkeit der Regulierorgane beeinträchtigt, so ist die Regulierfähigkeit der Bremsregulatoren von solchen Zufälligkeiten ganz unabhängig.

Es bestehen gegen die Verwendung von Bremsregulatoren im allgemeinen gewisse Vorurteile, welche aber keineswegs gerechtfertigt sind. Wenn man z. B. sagt: es ist unrationell beim Regulieren der Motoren die überschüssige lebendige Kraft zu vernichten, anstatt dieselbe aufzuspeichern, so bedenkt man nicht, daß es doch niemand einfallen wird, Bremsregulatoren bei Turbinenanlagen zu verwenden, welche aus einem Sammelbecken gespeist werden, und daß man doch niemals Gelegenheit hat, Betriebswasser aufzuspeichern bei Anlagen, welche an einem natürlichen Wasserlaufe liegen; dort *mufs* das überflüssige Wasser weglaufen, weil die Ufer nicht überflutet werden dürfen.

Weil aber die weit überwiegende Mehrzahl der Wasserwerke an natürlichen Wasserläufen liegen, so steht der Verwendung von Bremsregulatoren ein weites Feld offen. Ja es kommen sogar des öfteren Fälle vor, in welchen der Wasserlauf nicht gestört werden darf und die Wasserspiegelnhöhen möglichst konstant erhalten werden müssen.

In solchen Fällen ist die Anwendung von Bremsregulatoren die einzige Lösung, es sei denn, daß die Verwendung von Pelton-Turbinen mit der auf S. 10 beschriebenen Strahlablenkung zugänglich ist.

Im übrigen wird auf die nähere Beschreibung unserer hydraulischen Bremsregulatoren auf S. 51 verwiesen.

2. Die hydraulischen Regulatoren

treten bezüglich der Regulierfähigkeit an die zweite Stelle, sie bieten aber den Bremsregulatoren gegenüber den Vorteil, daß man sie auch bei Turbinen von den größtmöglichen Arbeitsleistungen in Anwendung bringen kann.

Sie bestehen im wesentlichen aus drei Hauptteilen, nämlich einem Zentrifugalpendel, einem hydraulischen Druckwerk (Servomotor) und einem Verteilungsventil.

Letzteres wird vom Zentrifugalpendel gesteuert, und der Kolben des hydraulischen Druckwerkes steht mit den Regulierorganen der Turbine in Verbindung.

Der Steuermechanismus ist so eingerichtet, daß die Druckflüssigkeit gegen die eine oder gegen die andere Seite des Kolbens drückt, je nachdem die Turbine zu schnell oder zu langsam läuft.

In dem einen Falle werden die Regulierorgane im schließenden, im anderen Falle im öffnenden Sinne bewegt.

Um das sogenannte Überregulieren zu verhüten, ist der Steuermechanismus auch noch so eingerichtet, daß Druckflüssigkeit weder vor noch hinter den Kolben gelangen kann, wenn das Zentrifugalpendel innerhalb seiner Schwingungsgrenzen an irgend einem Punkte in einer Gleichgewichtslage angekommen ist.

Hat das Pendel seine höchste Stellung erreicht, so ist die Turbine abgeschützt, wenn es aber in seiner tiefsten Stellung angelangt ist, so ist die Turbine voll beaufschlagt. Im übrigen entspricht jeder Pendelstellung ein gewisser Beaufschlagungsgrad der Turbine.

Hieraus ist ersichtlich, daß die Geschwindigkeitsschwankungen des Motors sich in den Grenzen bewegen, welche der höchsten und der tiefsten Stellung des Pendels entsprechen.

Bei hohen Gefällen wird im allgemeinen die Druckflüssigkeit der die Turbine speisenden Rohrleitung entnommen und, bevor sie das Steuerventil erreicht, durch ein leicht zu reinigendes Filter geleitet.

Bei kleinen Gefällen und in den Fällen, in welchen das Aufschlagwasser *sehr* unrein oder säurehaltig ist, wird durch eine von der Turbine betriebene Druckpumpe Öl in einen Akkumulator gepreßt und von letzterem aus das hydraulische Druckwerk gespeist. Das verbrauchte Öl fließt in den Sammelbehälter der Druckpumpe zurück, um von neuem benutzt zu werden.

Über die Grenzen, innerhalb deren die Geschwindigkeitsschwankungen sich bei Verwendung unserer hydraulischen Regulatoren zu bewegen pflegen, geben folgende Zahlen Aufschlüsse, welche bei Versuchen an einer aus drei Turbinen bestehenden Turbinenanlage für ca. 500 Pferdestärken Totalleistung ermittelt worden sind:

Bei halber Beaufschlagung nahm die Geschwindigkeit nur um 4 Proz. zu, wenn die Turbinen plötzlich vollständig entlastet wurden.

Bei einer Beaufschlagung von $\frac{7}{10}$ nahm die Geschwindigkeit nur um $3\frac{1}{3}$ Proz. zu, wenn eine plötzliche Entlastung der Turbinen um 55 Proz. eintrat.

Bei einer Beaufschlagung von $\frac{1}{3}$ trat eine Geschwindigkeitsminderung nur um $2\frac{1}{2}$ Proz. ein, wenn eine plötzliche Mehrbelastung um 40 Proz. eintrat.

3. Die rein mechanisch wirkenden Regulatoren

treten bezüglich der Regulierfähigkeit an die dritte Stelle. Sie bestehen in einem Zentrifugalpendel und einem von der Turbine durch Riemen angetriebenen Wendegetriebe, welches letzteres mit den Regulierorganen der Turbinen in Verbindung steht. Die vom Motor angetriebene Welle trägt drei dicht nebeneinander liegende Riemscheiben, die mittlere sitzt lose auf der Welle. Wenn der Motor

mit normaler Geschwindigkeit läuft, so liegt der Riemen auf der losen Scheibe, läuft der Motor aber zu langsam, so wird der Riemen durch das Zentrifugalpendel auf die nebenliegende Scheibe geleitet, läuft der Motor zu schnell, so wird er auf die andere Scheibe geleitet. Im ersten Falle werden die Regulierorgane der Turbine im öffnenden, im zweiten Falle im schließenden Sinne bewegt.

Auch hier ist Vorkehrung gegen das sogenannte Überregulieren getroffen und zwar derart, daß der Riemen immer wieder auf die Leerscheibe läuft, wenn das Zentrifugalpendel innerhalb seiner Schwingungsgrenzen an irgend einer Stelle eine Gleichgewichtslage erreicht hat.

Ferner ist durch eine sogenannte Hemmung Vorkehrung getroffen, daß das Zentrifugalpendel nicht plötzlich in eine andere Stellung übergehen, sondern, daß dieser Stellungswechsel sich nur allmählich vollziehen kann.

Der Grund, weshalb diese Regulatoren in Hinsicht auf die Regulierfähigkeit den hydraulischen Regulatoren nachstehen, liegt einestheils darin, daß man mit ersteren nicht so kurze Schlußzeiten erreichen kann und anderenteils darin, daß die Hemmwerke ebenfalls eine Verzögerung der Wirkung im Gefolge haben.

Trotzdem sind diese Regulatoren in allen Fällen, in denen nicht sehr hohe Anforderungen an die Regulierfähigkeit gestellt zu werden brauchen, brauchbar. Außerdem sind die Anschaffungskosten erheblich geringer.

Am Schlusse dieses Kapitels halten wir es für angemessen, noch folgendes zu bemerken:

Alle auf die Regulierorgane der Turbine wirkenden Geschwindigkeitsregulatoren, mithin auch die unter 2 und 3 beschriebenen, leiden an dem Übelstande, daß die Regulierfähigkeit aufhört, wenn durch die Rechenanlagen nicht aufhaltbare Unreinigkeiten im Wasser die Beweglichkeit der Regulierorgane der Turbine beeinträchtigen.

Nur die unter 1 behandelten Bremsregulatoren leiden an diesem Übelstande nicht, so daß sie schon aus diesem Grunde den Vorzug vor allen übrigen verdienen, wenn es nicht darauf ankommt, überschüssiges Betriebswasser anzusammeln oder wenn die Stärke der Motoren ein gewisses Maß nicht überschreitet.

Ferner unterlassen wir nicht zu bemerken, daß die unter 2 und 3 beschriebenen Geschwindigkeitsregulatoren, wenn es auf sehr genaue Regulierung ankommt, zur Ausgleichung der kleinen Schwankungen durch gewisse Schwungmassen unterstützt werden müssen. — Sind die letzteren nicht in ausreichendem Maße in den Triebwerken vorhanden, so müssen Schwungräder in Anwendung gebracht werden.

Die unter 3 beschriebenen Regulatoren verlangen erheblich größere Schwungmassen als die unter 2 beschriebenen.

4. Der hydraulische Bremsregulator.

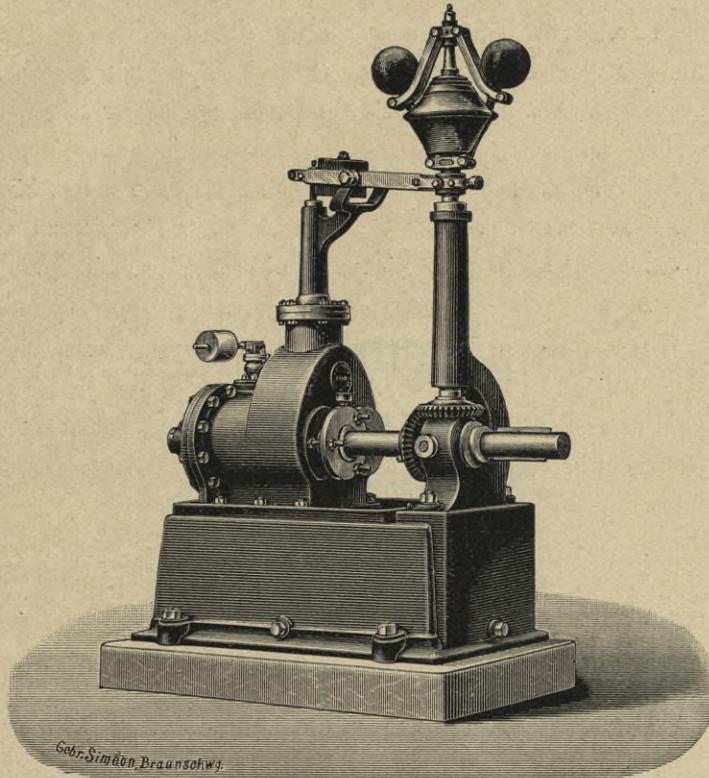


Fig. 46.

Der hydraulische Bremsregulator besteht in seinen Hauptteilen aus einem als Ölbehälter dienenden Fundamentstück von Gußeisen, einer sogenannten Kapselpumpe und einem durch einen Schwungkugelregulator gesteuerten Regulierventil.

Die Pumpe zwingt das Öl, einen beständigen Kreislauf zu machen, indem sie das letztere aus dem Behälter durch das Ventil und von da wieder in den Behälter zurücktreibt.

Nimmt der Betrieb die volle Arbeitsleistung des Wassermotors in Anspruch, so ist das Ventil ganz geöffnet, so daß das Drucköl fast ohne Widerstand hindurchfließt. Nimmt derselbe aber plötzlich oder allmählich infolge Ausrückens von Arbeitsmaschinen oder infolge anderer Ursachen die volle Leistung des Motors nicht mehr in Anspruch, so wird durch den Schwungkugelregulator die freie Ventilöffnung um so viel verengt, als erforderlich ist zur Erzeugung eines Widerstandes, welcher gleich ist dem Ueberschuß der Motorenleistung über die durch den Betrieb augenblicklich geforderte Leistung. Hieraus folgt, daß bei wechselnden Betriebsverhältnissen eine

merkliche Geschwindigkeitsänderung des Triebwerkes niemals eintreten kann, so daß die mit diesen Apparaten versehenen Wasserwerke bezüglich Gleichmäßigkeit des Ganges und somit Gleichmäßigkeit des Fabrikats mit den durch die besten Dampfmaschinen betriebenen Werken wett-eifern können.

Zur Vermeidung einer Überhitzung des zirkulierenden Öles sind in dem Sockelkasten Rohre angebracht, durch welche beständig kaltes Wasser läuft.

Das vom Regulator gesteuerte Ventil ist so eingerichtet, daß ein sogenanntes Überregulieren nicht vorkommen kann. Hierdurch unterscheidet sich dieser Bremsregulator sehr wesentlich von anderen auf den Markt gebrachten Erzeugnissen.

Wir bauen diese Bremsregulatoren in verschiedenen Größen zum Abbremsen von 10 bis 200 Pferdestärken und liefern dieselben unter Garantie nicht nur für neu zu erbauende, sondern auch für bereits bestehende Wassermotoren, seien es Turbinen oder andere Wasserräder.



POLITECHNIKA KRAKOWSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

34069

Kdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305889