

Heidenheim
a.d Brenz
(Württemberg)

Maschinenfabriken
J.M.Voith,

St. Pölten
(Nieder-
Oesterreich)

Francis-Turbinen für große Leistungen.

Von Direktor Alb, Ungerer in Heidenheim a. d. Brenz.



ISBN 978-3-662-42198-7 ISBN 978-3-662-42467-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-42467-4

Verlag
des Vereines deutscher Ingenieure,
Berlin N. W. 7.

Francis-Turbinen für große Leistungen.

Von Direktor Alb. Ungerer in Heidenheim a. d. Brenz.

Ebenso wie bei Wärmekraftwerken macht sich auch bei der Ausnutzung von Wasserkraften in steigendem Maße das Bestreben geltend, die Anzahl der Maschineneinheiten zu verringern; die Turbinen und Stromerzeuger werden so groß gebaut, als es nur irgend die Wasser- und Betriebsverhältnisse sowie die Beförderungsmöglichkeiten gestatten. Die Gründe hierfür liegen zum großen Teil in den geringeren Raum- und Baukosten sowie in der Ersparnis an Bedienungsmannschaft, nachdem die heutigen Großkraftmaschinen infolge der gut durchgebildeten Bauweise bei gleicher Betriebsicherheit keine höheren Anforderungen an die Wartung stellen als Maschinen mit kleinen und mittleren Leistungen. Bahnbrechend in der Steigerung der Einzelleistungen sind die großen Kraftwerke Amerikas und Norwegens vorgegangen, und diejenigen an-

geben wurde. Die letzte, im Jahre 1913 bestellte Maschinen-Gruppe sollte jedoch für eine Turbinenleistung von 12500 PS ausgeführt werden. Auch dieser Auftrag fiel trotz des sehr scharfen Wettbewerbes wieder an die Firma J. M. Voith in Heidenheim a. d. Brz., deren frühere Lieferungen sich von der ersten Inbetriebsetzung an vorzüglich bewährt und den Beweis erbracht hatten, daß die große Entfernung des Aufstellungsortes von der liefernden Fabrik bedeutungslos ist, wenn letztere über erfahrene Fachkräfte sowie leistungsfähige Werkstätten verfügt und bestrebt ist, ihre Abnehmer gewissenhaft zu bedienen.

Die drei 7000 PS-Turbinen, Abb. 1, sind als Zwillings-Spiralturbinen mit Gußgehäuse gebaut, und diese Bauart wurde auch für die vierte Maschine gewählt, die jedoch bedeutend

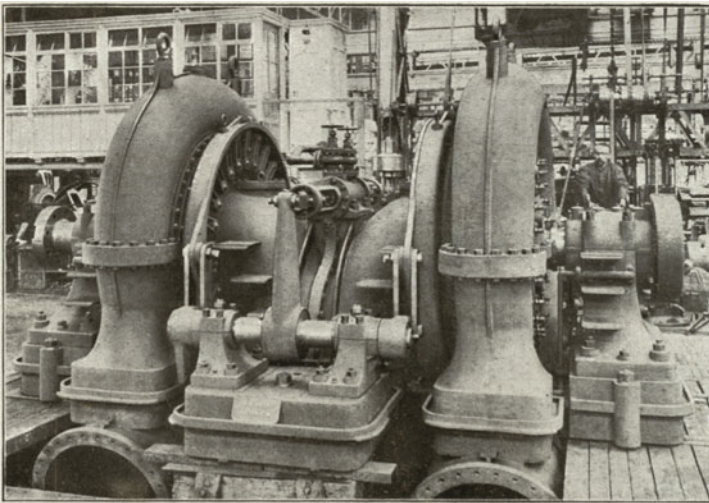


Abb. 1.

7000 PS-Zwillings-Spiralturbine vom Jahre 1905 für die Kaministiquia Power Co.

derer Länder folgen ihnen in dem Maße, wie es die Größe der Gesamtkraft zuläßt.

Auch bei Anlagen, welche mit kleinen Sätzen begannen, sucht man den weiteren Ausbau mit größeren Maschinen, häufig mit solchen doppelter Leistung, durchzuführen, um die Kosten zu verringern oder bei annähernd gleichen Baukosten genügend Reserve hinsichtlich der Maschinen zu erhalten.

Als Beispiel ist das

Elektrizitätswerk der Kaministiquia Power Co.
an den Kakabeka-Fällen

bei Fort William am Oberen See in Canada zu nennen, das im Jahre 1905 zunächst mit zwei Maschinensätzen von rd. 7000 PS errichtet wurde.

Das Krafthaus war ursprünglich für 5 Einheiten dieser Größe entworfen, deren dritte im Jahre 1911 in Auftrag ge-

größere Abmessungen aufweist und hinsichtlich der Einzelheiten und Nebeneinrichtungen von den kleineren Turbinen abweicht. Das Gefälle ist mit 55 m gegeben, die Umlaufzahl wurde zu 257 i. d. Min. und die Höchstleistung, wie bereits erwähnt, zu 12500 PS vorgeschrieben.

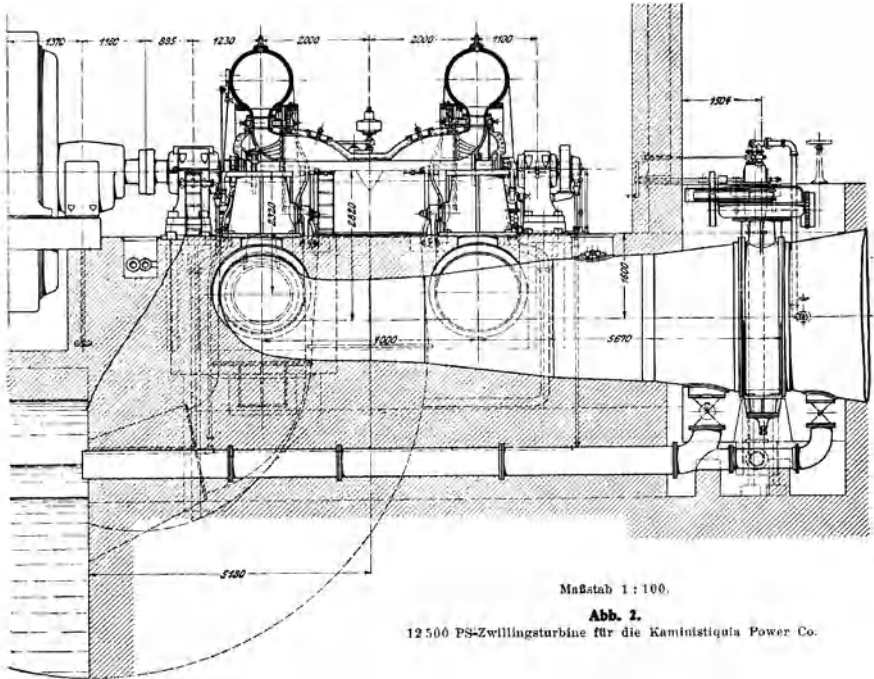
Die Bauart, Abb. 2, zeigt im allgemeinen das kennzeichnende Bild der von Voith eingeführten Spiralturbine mit Außenregelung. Die zweiteiligen Spiralgehäuse aus Grauguß von hervorragender Güte haben einen Eintrittsdurchmesser von 1500 mm, und die Querschnitte sind über den ganzen Verlauf der Spirale angenähert kreisförmig gewählt. Die Teilungsflanschen und ihre Verschraubungen sind zur Vermeidung des Klaffens auf der Innenseite außerordentlich kräftig gehalten. Die innere Fassung der Spirale, zugleich ihr Uebergang in das Leitrad und ihre Versteifung wird durch einen Traversenring aus Stahlguß gebildet. Die gewaltigen Abmessungen der Spiralgehäuse können am besten

aus Abb. 3 ersehen werden, die eines derselben auf dem Bohrwerk in der Werkstätte zu Heidenheim zeigt.

Die Leitraddeckel sind gegen die Leitschaufeln und in den Spalten gegen die Laufräder mit auswechselbaren Flußstahlringen verkleidet. Die Leitschaufeln sind mit ihren Zapfen in einem Stück aus Stahl hergestellt und vollständig bearbeitet. Die Schaufelzapfen von 60 mm Stärke durchdringen

sich ein grober Fremdkörper bei schließender Regelbewegung zwischen zwei Leitschaufeln klemmt und die ganze Kraft des Reglers infolgedessen nur auf diese beiden Schaufeln wirkt. In solchen Fällen kann auch die Maschine durchgehen, was jedoch belanglos ist, wenn die umlaufenden Teile dafür berechnet und gebaut sind.

Die Sicherung der Leitschaufeln wird bei kleinen Kräften



zur Vermeidung des Axialschubes die Deckel auf beiden Leitradseiten. Die Lager bestehen aus Gußbüchsen, die mit Bronze gefüttert sind und deren gegen die Leitschaufeln gekehrten Enden Lederstulpdichtungen tragen, so daß die Dichtungen mit der Büchse leicht herausgezogen und erneuert werden können und die Schaufelzapfenlagerung sich außerhalb des Wassers befindet. Zur bequemen Schmierung ist auf jedes Zapfenende eine Fettresse gesetzt, die keines Rückschlagventils oder Absperrhahnes bedarf.

Zur Sicherung der Leitschaufeln gegen Beschädigungen wurden Bruchvorrichtungen verlangt. Solche Beschädigungen können eintreten, wenn

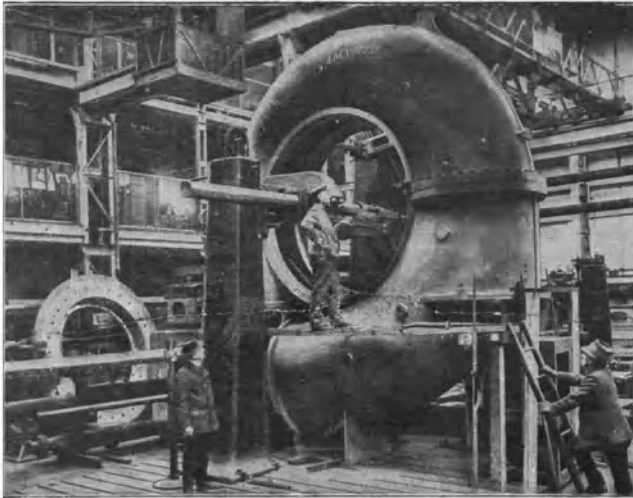
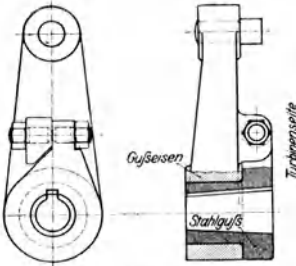


Abb. 3.
Ein Spiralgehäuse der 12 500 PS-Zwillingsturbine für die Kaministiquia Power Co. auf dem Bohrwerk.

von einzelnen Turbinenbauern dadurch angestrebt, daß man die Hebel, welche Schaufeln und Regeltriebe verbinden, nicht aufklemmt, sondern aufklebt, so daß der Hebel einer etwa festgehaltenen Schaufel auf dem Zapfen gleitet. Andre wollen eine noch einfachere Sicherung dadurch erreichen, daß sie die auf Zug oder Knickung beanspruchten Lenker zwischen Regelring und Schaufelhebeln aus Gußeisen herstellen, damit gegebenenfalls die Lenker brechen. Erstere Bauart ist für die vorliegenden Kräfte unzulänglich, letztere, die vielfach in Amerika angetroffen wird, scheint mehr billig als zuverlässig zu sein und viele unbeabsichtigte Brüche zu ergeben, was in den unvermeid-



Maßstab 1 : 75.

Abb. 4 und 5.

Schaufelhebel mit Bruchvorrichtung.

schmale Eindrehung paßt die Tragfähigkeit des Bolzens so ab, daß er reißt, ehe die Beanspruchung der Schaufel zu groß wird. Durch Verwendung von Schrauben mit größerem oder kleinerem Bruchquerschnitt kann der Sicherheitsgrad beliebig eingestellt werden. Nach erfolgtem Bruch ist die betreffende Schaufel ausgeschaltet, ohne daß der Betrieb gestört wird; ein Anschlag verhindert, daß die lose Schaufel mit dem Laufrad in Berührung kommt.

In der vorliegenden Anlage erscheint die Sicherung der Leitschaufeln als eine etwas weit gehende Vorsicht, da eine Beschädigung der kleineren Turbinen durch Fremdkörper während des achtjährigen Betriebes nicht bekannt geworden ist. In andern Anlagen kann die Sicherung jedoch Bedürfnis werden, wie z. B. in dem Kraftwerk der Ontario Power Co. am Niagara-Fall¹⁾, wo man im Winter zeitweise gezwungen ist, die Feinrechen herauszunehmen, so daß große Mengen von Holzstücken in die Turbinen gelangen. Die zuletzt von Voith dorthin gelieferten beiden (elfte und zwölfte) Maschinen von je 16000 PS größter Leistung sind deshalb auch mit Schaufelsicherungen ausgerüstet worden, die schon öfter in Tätigkeit getreten sind.

Die Verbindung des Regelringes mit dem Regelgetriebe zeigt die von Voith für große Kräfte vorzugsweise ausgeführte Stützung des Ringes durch parallele Stangen, wodurch der Ring gewissermaßen schwebend gehalten wird und Klemmungen vermieden werden.

Die Laufräder der Kaministiquia-Turbine sind in schiedbarer Nickelmanganbronze hergestellt und auf den Mittelflanschen der Welle befestigt. Letztere ist in einem Endkammflager von 275 mm Durchmesser axial geführt. Das Lager auf der Dynamoseite hat 400 mm Bohrung. Beide Lager sind zur Sicherheit mit Wasserkühlung versehen, deren Abfluß sichtbar angeordnet ist. Die Deckelräume hinter den Laufrädern sind — hauptsächlich wegen Raum mangels — nicht durch Löcher im Laufradboden mit dem Saugkrümmer verbunden, sondern werden durch eigene große Leitungen entwässert. Zur etwaigen Regelung der Axialdrücke sind in diese Leitungen Schieber eingesetzt.

Den Wellenstopfbüchsen sind besondere entwässerte Kammer vorgeschaltet, so daß die Stopfbüchsen nicht unter Druck stehen und auch bei leichter Anpressung völlig dicht halten. Der zweiteilige Saugdoppelkrümmer ist mit zwei Mannlöchern versehen. Das daran anschließende Saugrohr ist bis auf rd. 2100 mm unter Flurhöhe in Gußeisen und weiterhin in Beton ausgeführt.

Der mit dem Servomotor zusammengebaute Geschwindigkeitsregler konnte so angeordnet werden, daß die Hauptregelwelle mit einer der Nebenwellen für die Verstellung des Regelringes zusammenfällt und kein Zwischengestänge erforderlich wird. Der Regler mit elektrischer Fernverstellung der Umlaufzahl ist in seinen Einzelheiten nach den bekannten Voithschen Patenten gebaut²⁾, weshalb von seiner ausführlichen Beschreibung abgesehen werden kann.

Recht beachtenswert ist der Druckregler, Abb. 6, der durch seine für derartige Vorrichtungen großen Abmessungen auffällt. Er wurde der gegebenen Raumverhältnisse wegen an eines der Spiralgehäuse angeschlossen, das zu diesem Zweck einen verhältnismäßig großen Abweigtutzen erhalten mußte. Die infolge des Ausschnittes verursachte Wandschwächung wurde durch außerhalb und innerhalb des Aus-

schnittes eingezogene Stahlbolzen ausgeglichen. Der Druckregler, dessen grundsätzliche Wirkungsweise zur Verhütung schädlicher Drucksteigerungen als bekannt vorausgesetzt werden darf, ist in stände, je nach Erfordernis alle Wassermengen bis zum größten Verbrauch der Turbine, also bis zu rd. 20 cbm/sk abzuführen. Dieser Druckregler ist mehr als doppelt so groß wie der für die 14500 PS-Freistrahlturbinen im oberen Bjukanwerk³⁾. Trotz der viel größeren Abmessungen weicht seine Konstruktion nur wenig von der dort dargestellten ab. Der kegelförmige Ventilteller, der die Eintrittöffnung von 1050 mm l. W. abschließt, wird durch den Kolben des Oeldruckzylinders gegen den Wasserdruck in den Ventilsitz gepreßt. Ventilteller und -sitz sind mit schweren, austauschbaren Bronzeringen bewehrt. Das Gehäuse, als Krümmer mit Scheidewänden für die Wasserführung ausgebildet, wird nur vom ablaufenden Wasser durchflossen, steht also nie unter Druck.

Die hydraulische Steuerung des Druckreglers, bestehend aus Steuerventil mit Rückführgehänge samt Oelbremse, befindet sich oberhalb des Gehäuses. Der durch eine schräge Gleitbahn gebildete Antrieb der Rückführung ist in einem trocknen, durch Seitenöffnungen zugänglichen Raum zwischen Ablaufkrümmer und Druckzylinder untergebracht. Das Steuerventil ist durch ein entsprechendes Gestänge mit dem Getriebe der Geschwindigkeitsregelung verbunden. Im Ruhezustand hält der Oeldruck den Ventilteller geschlossen. Bei

jeder raschen Schließbewegung der Turbine gibt das Steuerventil den Oelumlaufl zwischen den beiden Kolbenseiten des Druckreglers augenblicklich frei, und der Wasserdruck hebt den Ventilteller so weit ab, als es der jeweils erforderliche Durchfluß verlangt. Der Hub wird mit äußerster Genauigkeit durch die Rückführung begrenzt, und die langsame Schließbewegung des Druckreglers beginnt sofort, wenn sein Steuerventil in die ursprüngliche Ruhelage eintritt.

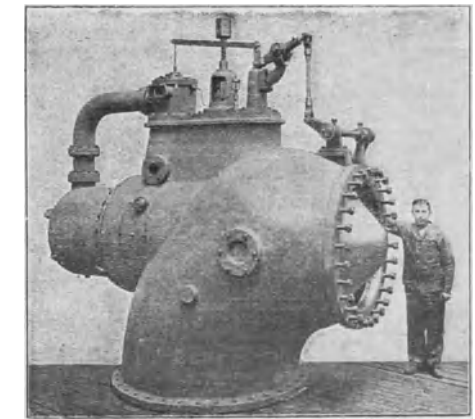


Abb. 6.

Druckregler von 20 cbm/sk Wasserdurchlaß bei 55 m Gefälle.

Neben dem großen Dichtungsdruck, der eine praktisch vollkommene Abdichtung ergibt, hat dieser Druckregler den Vorzug raschster Wirkung, ferner den, daß, wie bereits erwähnt, das Gehäuse nicht unter Druck steht, alle Führungen außerhalb des Wassers liegen und mit Oel geschmiert werden. Schmieröl wird nicht verloren, da alles etwaige Sickeröl in einer Kammer aufgefangen wird, aus der man es durch einen Hahn ablassen kann. Ein wesentlicher Vorzug ist auch der Umstand, daß der Druckregler unter keinen Umständen rasch schließen und dadurch Druckstöße verursachen kann; auch bei Versagen des Oeldruckes kann er höchstens öffnen.

Das Drucköl für Regler und Druckregler wird von einer ventillosen, umlaufenden Pumpe geliefert, die an die gemeinsamen Verbindungsleitungen sämtlicher Maschinensätze angeschlossen ist, jedoch auch selbständig für die eine Turbine arbeiten kann. Die Pumpe arbeitet mit der patentierten Voithschen Druckauslösung, d. h. sie unterbricht die Oellieferung, sobald der Windkesseldruck eine bestimmte Höhe erreicht

1) Vergl. Z. 1905 S. 2009.

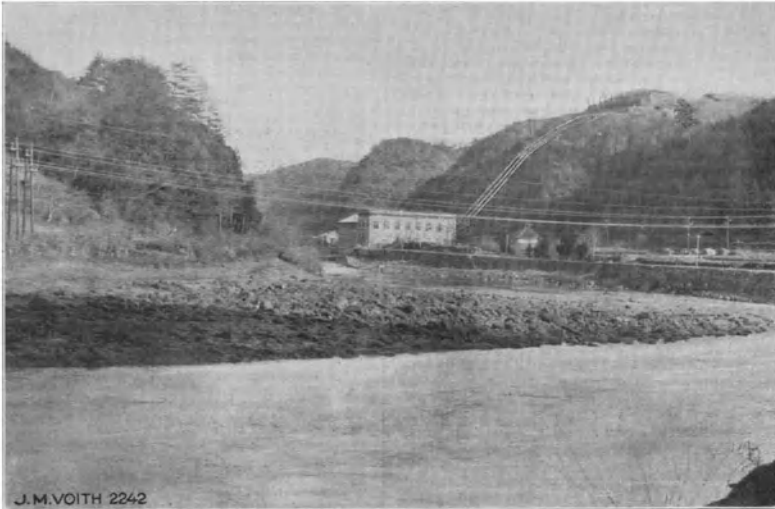
2) Vergl. Z. 1912 S. 1289.

3) s. Z. 1914 S. 1525.

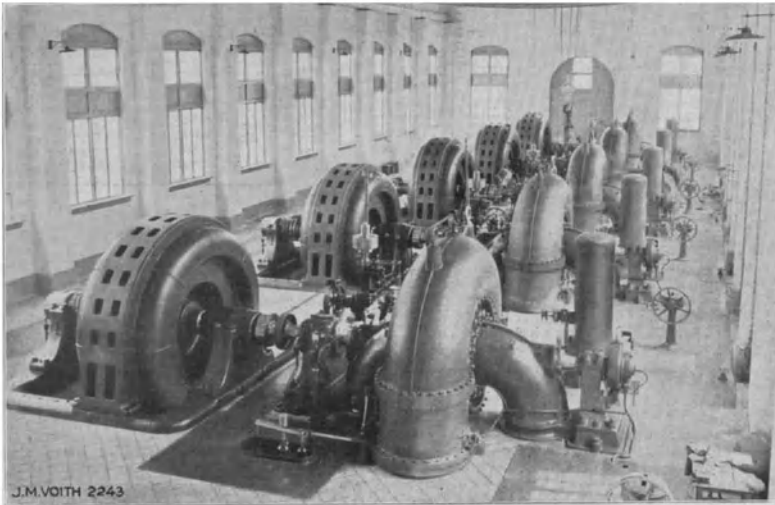
hat, und schaltet sich selbsttätig wieder ein, wenn der Druck unter den eingestellten geringsten Wert sinkt. Hierdurch wird unnötige Arbeit sowie Abnutzung vermieden, und das Öl bleibt kühl.

Das Verteilrohr zum Speisen der beiden Spiralgehäuse mußte mit Rücksicht auf den beschränkten Raum bzw. die gegebene Pfeilerenteilung sehr gedrängt ausgeführt werden.

Als Absperrvorrichtung für die Turbine dient eine Drosselklappe von 2750 mm l. W., die an das Verteilrohr anschließt. Die Drosselklappe wird durch zwei Peltonräder (Rechts- und Linkslauf) in gemeinsamem Gehäuse angetrieben, unter Einschaltung eines Riementriebes, der bei Unachtsamkeit des Wärters als Sicherung dient. Die Peltonräder werden vom Maschinenhaus her in Betrieb oder still gesetzt.



J.M.VOITH 2242



J.M.VOITH 2243

Abb. 7 und 8.

Rohrleitungen und Krafthaus sowie Maschinensaal des Werkes Onagohota der Kyushu Wasserkraftgesellschaft. Fünf Doppelspiralturbinen von je 5600 PS bei 71,5 m Gefälle.

Es ist aus Siemens-Martin-Feuerblechen mit 18 mm größter Wanddicke zweireihig genietet und bis auf einen Schacht für die Zugänglichkeit des Mannloches einbetoniert. Der große Abzweigstutzen ist durch ein unter Berücksichtigung proportionaler Durchflußquerschnitte und stoßfreier Wasserteilung eingesetztes Ankerblech versteift. Die Flanschen bestehen aus schweren, nahtlos gewalzten Winkelringen, die sich nicht verziehen und ein dauerndes Dichthalten der einbetonierten Verbindungen verbürgen.

Außer dem Motorenantrieb ist noch Handantrieb vorgesehen. Die Klappe selbst sowie ihr Gehäuse bestehen aus Stahlguß. Vor und hinter dem Abschluß sind Entleerungsschieber mit gemeinsamer Ablaufführung angebracht. An letztere ist auch der Ablauf der vorerwähnten Peltonräder unter Einschaltung einer Rückschlagklappe angeschlossen.

Die genieteten Rohrleitungen vom Wasserschloß bis vor die Drosselklappen der Turbinen wurden in Canada hergestellt. Zur Speisung der großen Turbine mußten die beiden

letzten der vorhandenen fünf Rohreinläufe verwendet werden, die sich unterhalb des Wasserschlosses zu einer Leitung von rd. 3355 mm l. W. vereinigen. Das Rohr vom Wasserschloß bis zu den Turbinen ist rd. 250 m lang.

Für die Rohreinläufe waren von vornherein keine Absperrschützen vorgesehen, sondern nur Schlitze zur Aufnahme von Dammbalken. Da ein Abschluß der Leitungen auf diese

ter gesichert. Der elektrische Antrieb kann im Klappenhaus selbst und im Krafthaus eingeschaltet werden. Außerdem ist eine selbsttätige Einschaltung angebracht, die in Tätigkeit tritt, sobald die Wassergeschwindigkeit im Rohr einen einstellbaren Höchstbetrag überschreitet. Zu diesem Zweck ist hinter jeder Klappe eine Stoßplatte (Stauscheibe) angeordnet, deren Bewegung mittels eines Gestänges durch den vorhan-

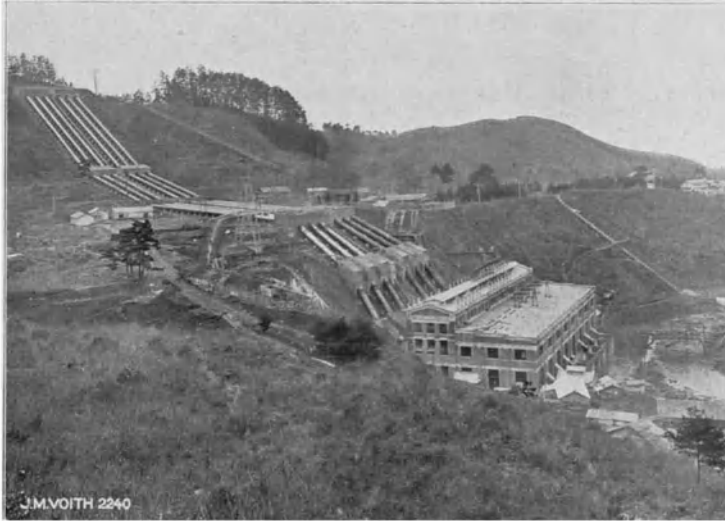


Abb. 9 und 10.

Druckrohre und Krafthaus sowie Teillansicht des Maschinensales mit Turbine IV bis VI der Jwawashiro-Kraftgesellschaft. Sechs Zwillingspfralturbinen von je 11400 PS bei 104 m Gefälle.

Weise ziemlich umständlich und zeitraubend ist, wurden gelegentlich des letzten Ausbaues Drosselklappen für sämtliche fünf Rohreinläufe bei J. M. Voith bestellt. Sie sind den kegelförmigen Einlaufrohren vorgeschaltet und haben 3050 mm l. W. Die lotrechten Klappenwellen sind hochgeführt und mit Handantrieb sowie mit elektrischem Antrieb versehen. Die Endstellungen sind durch selbsttätige Endauschal-

lenen Luftschaft auf eine Ausklinkvorrichtung übertragen wird, die durch ein Fallgewicht die Einschaltung bewirkt. Die Klappenwelle hängt in einem Kugelspurlager. Sämtliche unter Wasser befindlichen Lagerungen werden durch Preßfettleitungen geschmiert, und die empfindlichen beweglichen Teile der Stoßplatte und ihres Gestänges sind außerdem durch Ausführung in Bronze vor Rost geschützt.

Die Drehstromerzeuger des Krafthauses sind von der canadischen General Electric Co. geliefert.

Durch die Erhöhung der Einheitsleistungen kann unter Umständen auch ein Wechsel der Turbinenart erforderlich werden. Dieser Fall trat ein, als die Oji Paper Mill Company in Tokio im Jahre 1913 ihr Kraftwerk am Chitosegawa auf der Insel Hokkaido vergrößern mußte. Der Ausbau dieser Anlage war im Jahre 1908 mit vier anderweitig bezogenen

10000 PS bei 144 m Gefälle kurz erwähnt, ferner das Kraftwerk Onagohata der Kyushu Water Power Co. mit fünf Doppelspiralturbinen von je 5600 PS bei 71,5 m Gefälle, Abb 7 und 8. Drei weitere Turbinen von je 3200 PS bei 159 m Gefälle konnten wegen des Kriegsausbruches nicht mehr verschifft werden.

Bei all diesen Turbinen wurde im Hinblick auf die unsichere Beschaffenheit des Wassers in bezug auf Sandführung weitgehende Rücksicht auf leichte Austauschbarkeit der

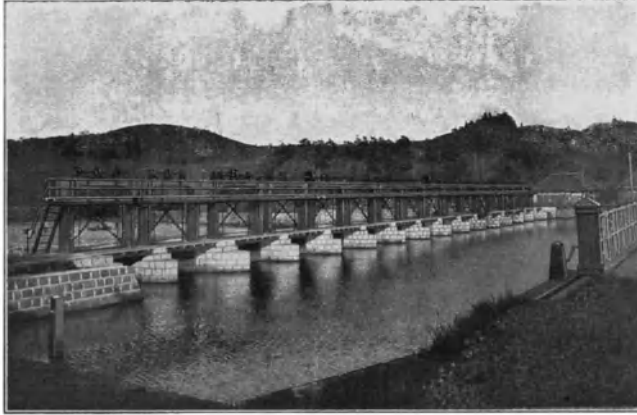


Abb. 11. Schützenwehr am Jnawashiro-See.

Zwillings-Peltonrädern von je 4600 PS bei 125 m Gefälle begonnen. Schon für diese Leistung wären nach dem heutigen Stand der Technik Francis-Spiralturbinen vorzuziehen, da sie sich bezüglich der Gefällausnutzung, des Wirkungsgrades und des Preises günstiger stellen. Für die neue Turbine von 8000 PS Leistung bei 128 m Gefälle konnte keine andre Turbinenart mehr in Frage kommen, und es wurde eine Voithsche Doppelspiralturbine mit 600 Uml./min gewählt, die von

inneren Teile genommen. Sie haben sämtlich Außenreglung, mit Stahl- oder Bronzeringen bekleidete Leitradwände, und selbst die Turbinendeckel sind mit inneren Schutzschilden teils aus Stahl, teils aus Gußeisen versehen, die leicht erneuert werden können, so daß ein Ersatz der verhältnismäßig teureren Deckel auch bei sandhaltigem Wasser vermieden wird. Die Turbinen für Ujigawa und Onagohata erhielten auf besonderen Wunsch der Besteller Laufräder aus Stahlguß.

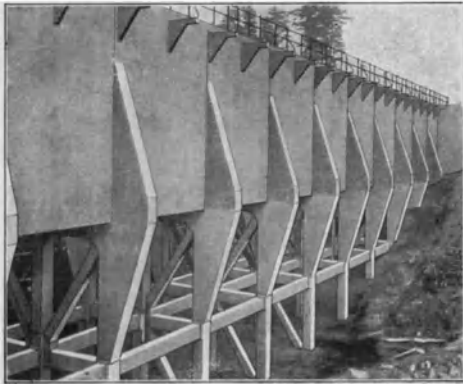


Abb. 12 und 13. Jnawashiro-Kanalbrücken.

den Japanern selbst zusammengebaut und anstandslos in Betrieb genommen worden ist.

Auch an Neuanlagen mit großen Spiralturbineneinheiten hat Japan im letzten Jahrzehnt Bemerkenswertes geschaffen. Von den größeren, durch Voith mit Turbinen ausgerüsteten Anlagen seien die der Ujigawa Water Power Co. mit sechs Doppelspiralturbinen von je 8100 PS bei 61 m Gefälle und der Katsuragawa Power Co. mit vier Turbinen von je

Ein mit zahlreichen technischen Vervollkommnungen und Bequemlichkeiten für die Bedienung ausgerüstetes Kraftwerk wurde von der

Jnawashiro Hydroelectric Power Co.
am Nipposhigawa

in den Jahren 1912 bis 1914 errichtet. Die Anlage ist auch insofern bemerkenswert, als die Spannung der Fernleitung

115000 V beträgt, was damals die höchste Uebertragungsspannung außerhalb der Vereinigten Staaten von Amerika war.

Der rd. 230 km nördlich von Tokio liegende Jnawashiro-See hat eine Oberfläche von mehr als 100 qkm und ein Niederschlagsgebiet von rd. 750 qkm. Sein Ablauf, der Nipposhi-Fluß hat auf den ersten zehn Kilometern seine Lautes 3 vH mittleres Gefäll und bietet daher reiche Gelegenheit zur Ausnutzung der Wasserkraft. Die Jnawashiro-Gesellschaft hat sich das Recht der Spiegelregelung des Sees gesichert, der ihr somit als Ausgleichbecken für die monatlichen Schwankungen der Wasserabflüßmengen und die täglichen Belastungsspitzen dient.

Zunächst wurde der Ausbau der obersten Gefällstufe von rd. 110 m Rohgefälle mit einem Krafthaus nahe der Stadt Wakamatsu beschlossen.

Einige Kilometer flußabwärts vom Regelwehr am See, Abb. 11, ist ein Ueberfallwehr in den Fluß eingebaut; von hier führt nach dem Wasserschloß ein 2400 m langer Oberwassergraben, der auf eine Strecke von 310 m als Stollen ausgeführt ist und zwei Kanalbrücken aus Eisenbeton von 40 und 70 m Länge enthält. Die lichte Breite der Brücken beträgt 4,9 m, die Wassertiefe 4 bis 5,2 m. Die Bauart dieser Kanalbrücken ist aus Abb. 12 und 13 zu ersehen. In freien Strecken

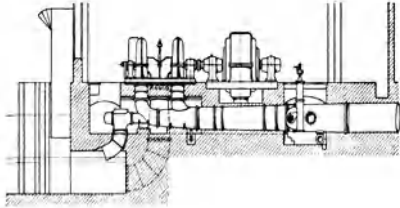
ist der Kanal in schmaler, tiefer Trapezform ausgeführt und mit betonierter Sohle und Böschung versehen.

Vom Wasserschloß ziehen sich sechs eiserne Rohrleitungen für die Hauptturbinen und eine solche für die Erregerturbinen zum Krafthaus hinab, deren Neigung und Veranke-



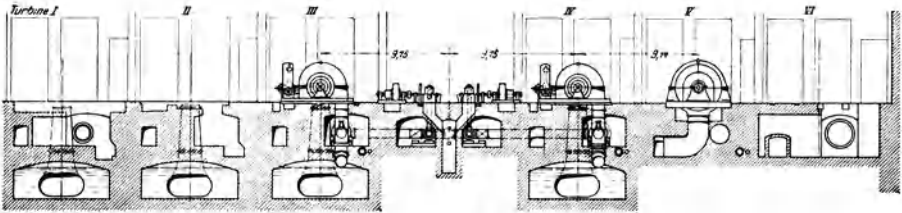
Abb. 14.

Knie der Rohrleitung mit Ausdehnungsvorrichtung.

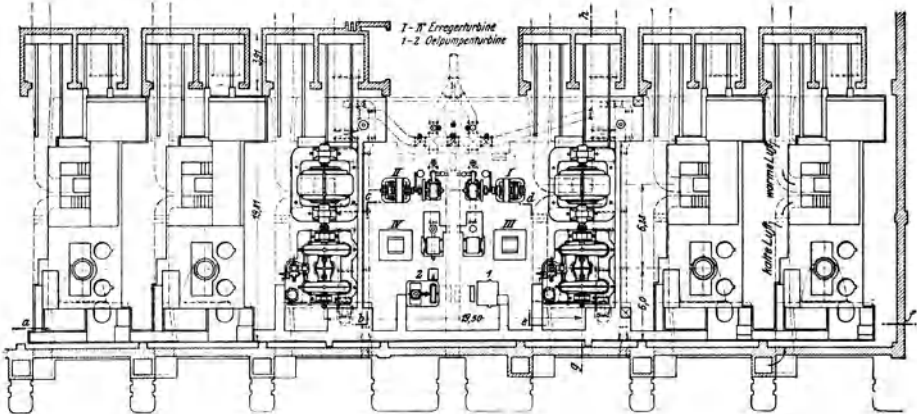


Schnitt g-h.

rungen durch schwere Betonklötze aus Abb. 9 ersichtlich sind. Die Rohrstränge haben 420 m mittlere Länge. Die lichte Weite der Hauptrohre nimmt in vier Stufen von oben nach unten ab und beträgt 2250, 2130, 2010 und 1900 mm. Die entsprechenden Maße für die Erregerleitung sind 800, 750, 700 und 650 mm. Sämtliche Rohre wurden im Wassergasschweißwerk der Firma Thyssen & Co. in Mülheim a. Ruhr hergestellt. Die Blechdicke beträgt bei den Hauptrohrleitungen oben



Schnitt a-b-c-d-e-f.



Grundriß.

Maßstab: 1 : 200.

Abb. 15 bis 17. Turbinenanlage der Jnawashiro Hydro Electric Power Co. in Tokio

10 mm und nimmt in Abstufungen von rd. $\frac{1}{2}$ mm bis auf 20,6 mm im unteren Krümmer zu. Die Erregerleitung besteht durchweg aus 8 mm dickem Blech. Die Hauptrohre wurden in Baulängen von 5,5 m mit zwei geschweißten Längsnähten, die Erregerleitung in Rohrlängen von 7,85 m mit nur einer Längsschweißnaht geliefert. Die Rohrschüsse der Hauptleitungen sind durch Nietmuffen miteinander verbunden; die Krümmer und die daran anschließenden Rohre erhielten umgebördelte Enden und lose Flanschenringe für Schraubenverbindung. Zum Schutze gegen Längsspannungen bei Wärmeschwankungen ist in den Hauptrohrleitungen unterhalb jeder Verankerungsstelle eine stopfbüchsenartige Ausdehnungsvorrichtung eingebaut, Abb. 14. In der Erregerleitung sind solche Vorrichtungen nicht vorgesehen, weil bei ihr statt der Nietung eine Hochdruckmuffenverbindung gewählt wurde, die ohnehin genügende Nachgiebigkeit aufweist.

sowie zwei durch Wasserkraft angetriebene Ölpumpen befinden. Abb. 10 zeigt einen Teil des Maschinenraumes mit einigen der Gruppen während der Aufstellung der Maschinen.

Mit Rücksicht auf Verringerung des Aushubs wurden die Hauptturbinen, deren Abläufe die tiefste Gründung erforderten, auf die Flußseite, die Stromerzeuger auf die Bergseite gelegt. Es waren Doppelspiralturbinen mit einem Gehäuse und beiderseitigem Ablauf und Zwillingsspiralturbinen mit zwei Gehäusen und dazwischen liegendem gemeinsamem Ablauf zur Wahl angeboten; die Gesellschaft entschied sich für letztere Bauart, die in Abb. 18 und 19 dargestellt ist. Die Gesamterschneidung der Turbinen geht aus der in der Voithschen Werkstätte gemachten Aufnahme, Abb. 20, hervor. Der Aufbau ähnelt derjenigen der Kaministiquia-Turbine, weist jedoch in den Einzelheiten einige Unterschiede auf.

Die Versteifungsringe aus Stahlguß zwischen Gußgehäuse

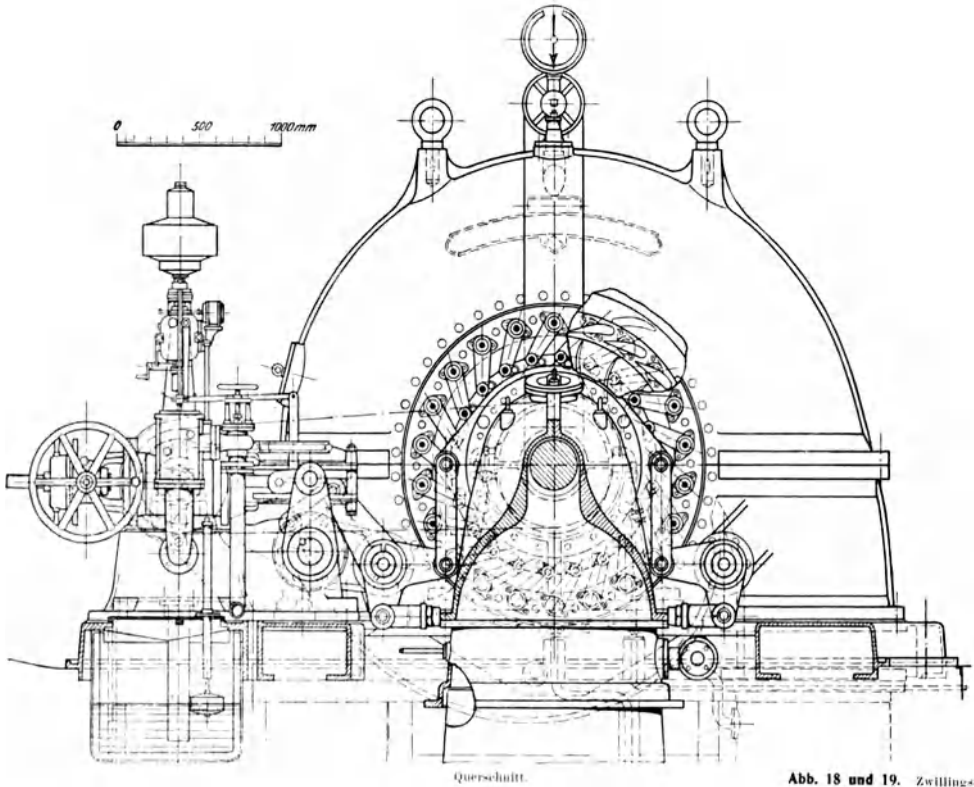


Abb. 18 und 19. Zwillingz.

Für den hydraulischen Teil der Anlage wurden zunächst Vorschläge von bestimmten europäischen Turbinenfirmen eingeholt, worauf der damalige Präsident der Gesellschaft, Hr. Mitsugu Sengoku, in Begleitung des Elektrotechnikers Professor Tachihara die Fabriken besuchte. Die Entscheidung wurde von Präsident Sengoku selbst getroffen. Wie mit Genugtuung festgestellt werden konnte, wurde sie von dem leider seltenen Grundsatz geleitet, daß als Maßstab nicht der Anschaffungspreis an sich gelten kann, sondern sein Verhältnis zur Güte des Angebotes, d. h. zu den Vorteilen für den Betrieb und die Sicherheit des Werkes. Unter diesem Gesichtspunkt wurde der Zuschlag dem Voithschen Angebot erteilt.

Die allgemeine Anordnung des Krafthauses ist aus Ansicht und Grundriß des Maschinenraumes sowie der Längsansicht der Maschinensätze, Abb. 15 bis 17, zu erkennen. Die Gesamtleistung des Werkes wurde auf sechs Maschinensätze von je 11400 PS größter Leistung bei 104 m kleinstem Gefälle und 375 Uml./min verteilt. Sie sind in zwei Gruppen aufgestellt, zwischen denen sich die vier Erregermaschinensätze

und Leitrad sind so geformt, daß Deckel, Schutzwände, Laufräder, Regelringe usw. vollständig nach den Lagerseiten hin ausgebaut werden können, der Saugdoppelkrümmer also bei allen im Bereich der Möglichkeit liegenden Auswechslungen nicht entfernt zu werden braucht. Wie bei den bereits erwähnten nach Japan gelieferten Doppelspiralturbinen sind auch hier die Leiträder und Deckel mit leicht auswechselbaren Schutzwänden und Spaltringen, teils aus Stahl, teils aus Bronze versehen, damit allen Unsicherheiten hinsichtlich der Reinheit des Wassers begegnet wird.

Die Laufräder bestehen aus Nickel-mangan-bronze. Das Spaltwasser wird zum Teil durch die Laufradböden in das Saugrohr abgeleitet; außerdem sind an die Deckel regelbare Ableitungen angeschlossen.

Das Hauptlager hat 350 mm, das Endkammlager 200 mm Dmr., beide sind zur Vorsicht mit Wasserkühlung versehen. Zur leichten Ueberwachung der Oeltemperatur hat jedes Lager ein Thermometer in Messingfassung. Damit das Hauptlager in einfacher Weise abgebaut werden kann, ist der Fuß wäge-

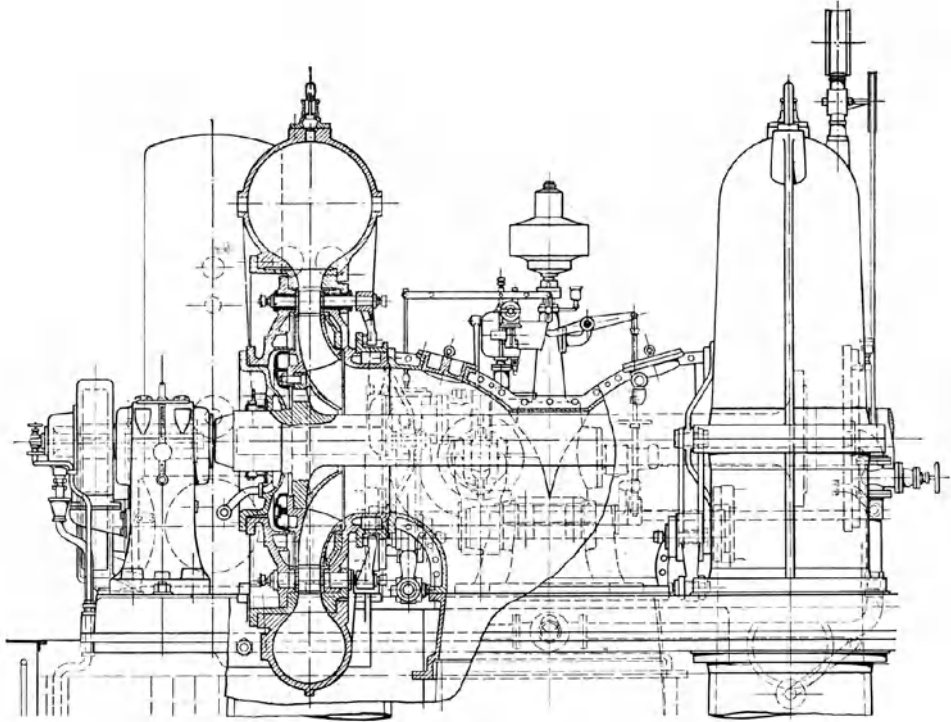
recht geteilt, so daß nach Herausnahme des unteren Teiles das Lager sich senken und seitlich ausbringen läßt. Beim Endlager wäre eine Teilung überflüssig.

Die Regelringe und die Hebel bestehen aus Stahlguß, die verbindenden Gestänge teils aus blanken Stangen mit Stahlgußköpfen, teils aus blanken Doppelschienen. Sämtliche Gelenke und Zapfen laufen in Stahl auf Bronze. Das Saugrohr ist bis zum Austritt in den Unterkanal in Blech ausgeführt und einbetoniert.

Der Regler, dessen Anordnung aus Abb. 21 bis 24 hervorgeht, besitzt außer den bekannten Einrichtungen noch eine selbsttätige Abstellung bei Riemenbruch. Diese wirkt derart, daß eine auf dem Antriebsriemen aufliegende Rolle bei dessen Bruch ein Klinkengesperre auslöst, worauf ein Fallgewicht mittels Gestänges und Hebels die Reglermuffe hochdrückt und der Regler die Turbine schließt. Diese Vorrichtung hat im

erwähnten Druckauslösung versehen und arbeiten deshalb äußerst sparsam im Kraftverbrauch.

Turbine, Regler und Pumpe sind auf einem gemeinsamen Grundrahmen aufgestellt, und die Maschine ergibt dadurch ein abgeschlossenes Bild. Andre als Schönheitszwecke kann ein derartiger Rahmen nicht erfüllen: besonders ist die häufig gehörte Ansicht irrig, daß er den Zusammenbau an Ort und Stelle erleichtert. Es ist selbst bei bedeutendem Aufwand von Güteisen unmöglich, die Grundplatte so starr auszuführen, daß sie sich während des Zusammenbaues nicht verzieht, weshalb das Ausrichten meistens mühsamer und zeitraubender ist als bei Turbinen ohne Rahmen. Auch bei einem etwaigen Nachgeben des Grundmauerwerkes ist der Rahmen nutzlos; immerhin kann aber seine Verwendung in manchen Fällen aus Geschmacksgründen erwünscht und durchaus berechtigt sein.



Spiralturbine für 11 100 PS.

Längsschnitt.

Gegensatz zu andern bekannten Konstruktionen den Vorteil, daß die Turbine sofort nach dem Bruch abgestellt wird, ohne daß erst eine Verringerung der Pendeldrehzahl eintreten muß. Die verlängerte Antriebswelle des Reglers ist von einem feststehenden Schutzrohr umgeben.

Jede Turbine hat ihre eigene Druckölpumpe mit geschweißtem Windkessel, die den Geschwindigkeitsregler und den Druckregler von der bei der Kaministiquia-Turbine beschriebenen Bauart mit Öl versorgt und außerdem auf das gemeinsame Ölrohrnetz geschaltet werden kann, das die Pumpen aller Turbinen verbindet. Die Verbindung ist so angelegt, daß bei Außerbetriebsetzung einer Pumpe nicht die geringste Störung im Betrieb der zugehörigen Turbine eintritt. Die ausfallende Ölförderung wird ohne weiteres von den übrigen Pumpen übernommen. Als weitere Sicherheit sind auf ausdrücklichen Wunsch der Besteller noch zwei besondere Ölpumpen mit Peltonrad-Antrieb aufgestellt, die ebenfalls in das gemeinsame Netz fördern und die Öellieferung übernehmen können. Sämtliche Pumpen sind mit der früher

Die Turbinen sind mehr als zur Hälfte in massigem Beton gegründet. Nur auf den Einlaufseiten der Gehäuse befinden sich unter starken Gewölbedecken Kanäle für die Durchführung der Verteilrohre, die in den geraden Stücken aus Feuerblech, in den Krümmern und Stützen aus Stahlguß bestehen. An diese Verteilrohre sind auch die Druckregler von bereits beschriebener Bauart und Wirkung angeschlossen.

Als Hauptabsperrvorrichtung der Turbinen dient je eine sehr kräftige, vollständig in Stahlguß ausgeführte Schrägschluß-Drosselklappe von 1650 mm l. W. Infolge der bergseitigen Aufstellung des Stromerzeugers mußte sie ziemlich weit von der Turbine entfernt angeordnet werden, woraus sich jedoch kein Nachteil für die Bedienung ergibt, da die Vielseitigkeit der Steuerungsmittel jeden Einfluß der örtlichen Lage der Klappe ausschaltet. Sie wird durch einen doppelwirkenden Druckwasserzylinder mit Stufenkolben in der Weise betätigt, daß mit Rücksicht auf das Losreißen der allenfalls in den schrägen Sitz eingepreßten Klappe für die Öffnungsbewegung mehr Kraft zur Verfügung steht als für das

Schließen. Die Bewegung des Kolbens wird durch ein mit Bronzeringen bekleidetes Gleitstück auf einen stählernen Rollenhebel übertragen, der mit der Klappenwelle verflanscht ist. Rolle und Rollbahnen bestehen aus hartem Stahl.

Auf dem oberen Zylinderdeckel ist eine Säule aufgebaut, welche die Steuervorrichtungen trägt. Das mit einem Kolbenschieber versehene Steuerventil kann von Hand durch das auf der Säule angeordnete Handrad und unabhängig davon durch elektrische Fernsteuerung vom Turbinenregler und vom Schaltbrett aus betätigt werden. Ferner ist eine selbsttätige Schließvorrichtung angebracht, die eingreift, sobald der Oel-Druck der Turbinenregelung einen bestimmten Wert unterschreitet, wobei der Regler die Herrschaft über die Turbine verlieren könnte. Zu diesem Zweck ist ein Zylinder angeordnet, dessen Kolben einerseits durch eine Feder, andererseits durch den Oel-Druck belastet wird. Sinkt letzterer unter die zulässige Grenze, so überwiegt die Feder und verschiebt den Kolben, der ein Gesperre auslöst und das Steuerventil freigibt. Dieses stellt sich dann selbsttätig auf Schließen der Klappe ein. Durch eine einstellbare Rast kann die selbst-

sondere Erregerrohrleitung als auch an die zu beiden Seiten nächstliegenden Rohre der Hauptturbinen angeschlossen ist. Durch Anordnung von fünf Schiebern sind die verschiedensten Verbindungen möglich.

Die Verwendung von Gußeisen für Rohrleitungsteile war nicht zugelassen; daher wurden alle Rohre und Formstücke in Schmiedeeisen oder Stahlguß, die Schieber bis zu den kleinsten Abmessungen in Stahlguß ausgeführt.

Zur vorläufigen Feststellung der Wirkungsgrade wurde in den Versuchsanstalten der Lieferer ein Laufrad der Hauptturbinen mit zugehörigem Leitrad bei entsprechend vermindertem Gefälle, ferner eine Erreger turbine bei vollem Gefälle von den Vertretern der Besteller genau durchgemast. Die Ergebnisse lagen weit über den verbürgten Werten.

Von den weiterhin in der letzten Zeit für das Ausland gelieferten Voithschen Hochdruck-Spiralturbinen größerer Leistung sind noch zu nennen:

eine Spiralturbine von 4400 PS bei 142,5 m Gefälle und 500 Uml./min für das Elektrizitätswerk Samnanger der Stadt

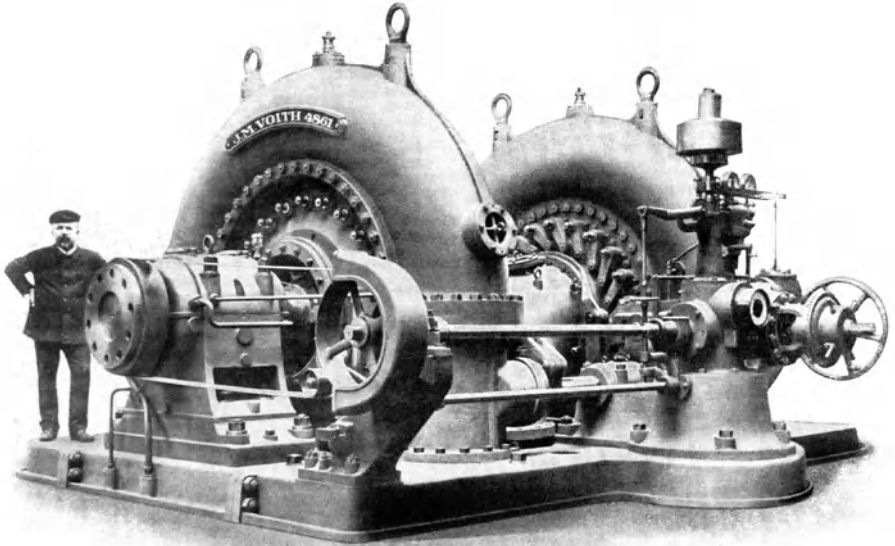


Abb. 20

Ansicht einer Zwillings-Spiralturbine von 11 400 PS.

tätige Beeinflussung während der Wiederinbetriebsetzung der Maschine ausgeschaltet werden.

Als Druckflüssigkeit für die Bewegung der Drosselklappe dient das Betriebswasser, das einer an sämtliche Hauptrohre unter Einschaltung von Ventilen und reichlichen Filtern angeschlossen Reinwasserleitung entnommen wird. Diese Leitung liefert auch das Wasser für die Kühlung der Turbinen und Dynamolager. Die Filter können in einfacher Weise abgeschaltet und gereinigt werden, ohne daß dadurch eine Störung eintritt. Die Drosselklappen sind vorschriftsmäßig noch mit einer Umleitung versehen, die indessen nur zur Sicherheit dient, da bei Bemessung der Steuerzylinder keine Rücksicht auf Entlastung genommen wurde. Die Bewegung und Stellung der Klappe kann an der Steuersäule durch ein mechanisches Zeigerwerk, am Regler und Schaltbrett durch zehnstufige elektrische Kontaktzeigerwerke beobachtet werden.

Für die Erregung sind 4 Gruppen vorgesehen, von denen zwei als Ersatz dienen. Ihre Antriebturbinen sind zweidüsige Peltonräder von 354 PS Leistung bei 500 Uml./min, ausgestattet mit selbsttätigen Oel-Druck-Geschwindigkeitsreglern, Druckreglern, Schwungradern, nachgiebigen Kupplungen und den erforderlichen Meßvorrichtungen. Diese Erreger turbinen sowie die beiden Pelton turbinen für den Antrieb der Ersatz-Ölpumpen werden von einer gegabelten Verteilung gepeist, die nach Vorschrift der Besteller sowohl an die be-

Bergen in Norwegen, wo gegenwärtig noch eine solche von 7900 PS aufgestellt wird;

zwei Doppel-Spiralturbinen von je 8000 PS bei 110 m Gefälle und 600 Uml./min für die Zentrale Villora am Rio Cabriel der Sociedad hidroeléctrica Española, Madrid, deren Wasserkraftwerk »El Molinar« am Jucar mit 5 Stirnkesselturbinen annähernd gleicher Leistung, jedoch niedrigeren Gefälles in Z. 1912 S. 1181 beschrieben worden ist;

eine Spiralturbine von 4060 PS bei 135 m Gefälle für die Braden Copper Co. in Rancagua, Chile, zur Erweiterung des mit Turbinen anderer Herkunft begonnenen Ausbaues.

Auf drei Doppel-Spiralturbinen von je 17500 PS für die Kraftanlage am Sorocaba der Sao Paulo Electric Co. in Brasilien

soll im folgenden näher eingegangen werden, weil sie eines der stärksten Wasserkraftwerke Brasiliens darstellen und das Gefälle eines der höchsten, wenn nicht das höchste ist, das bisher mit Francis-Turbinen ausgenutzt wird. Das Rohgefälle der Anlage beträgt nämlich 224 m, und das Nutzgefälle für die Turbinen schwankt von 190 bis 206 m.

Der Fluß wird durch den in Abb. 25 wiedergegebenen Damm um etwa 16 m aufgestaut. Der 2,9 km lange Oberwasserkanal mündet in ein Vorbecken mit Ueberreich, an das sich ein rd. 350 m langer Druckstollen von etwa 16 qm Quer-

schnitt anschließt. Beim Austritt des Stollens aus dem Berg ist ein aus Blech genietetes Standrohr von 8 m Dmr. und 19 m Höhe errichtet, von dem die Turbinenrohrleitungen ausgehen. Das Standrohr hat den Zweck, in den Schwankungen seines Wasserspiegels die Druckänderungen aufzunehmen, die durch das Beharrungsvermögen des Wassers im Druckstollen entstehen, wenn der rasch wirkende Turbinenregler bei Belastungsschwankungen die Leitschaukelöffnung verändert.

Die Turbinenrohrleitungen durchlaufen zunächst ein Drosselklappenhaus und sind mit je einem 1230 mm weiten Entlüftungs- und Belüftungsrohr von gleicher Höhe wie das Steigrohr versehen, bevor sie mittels Krümmers in die sich zum Krafthaus hinziehenden Druckleitungen übergehen.

Abb. 26 und 27 zeigen das Standrohr und das Klappenhaus. Von den eingezeichneten fünf Druckleitungen sind im ersten Ausbau nur drei ausgeführt. Von den beiden 1800 mm weiten Drosselklappen jedes Rohrstranges ist die wasseraufwärts angeordnete von Hand zu bewegen, die andre dagegen kann von Hand oder durch einen Elektromotor betätigt werden. Der Motor wird von der Schalttafel aus im Maschinenhaus oder selbsttätig von einer im Verbindungsrohr zwischen den beiden Klappen eingebauten Stauscheibe angelassen, die ausschlägt, wenn die Wassergeschwindigkeit in der Druckleitung ein vorher festgesetztes Maß überschreitet, was beim etwaigen Bruch eines Rohres eintreten würde.

Die eigentlichen Druckleitungen — für jede Turbine ein Rohrstrang —, Abb. 28, sind je rd. 700 m lang und ebenso wie das Steigrohr von der Aktien-Gesellschaft Ferrum in Kattowitz (Schlesien) geliefert. Sie bestehen aus geschweißten Rohren von 9,0 m Baulänge. Der Durchmesser beträgt oben rd. 1750,

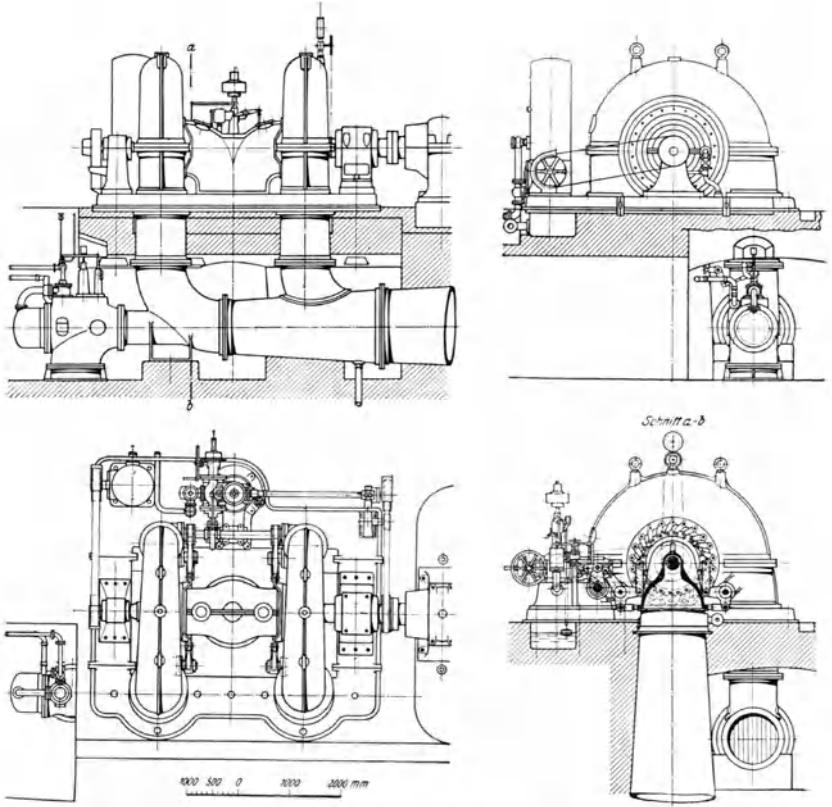


Abb. 21 bis 24. Anordnung der Regelung an der 11400 PS-Turbine.

unten 1550 mm und weist vier Abstufungen auf; die Wanddicke ist oben 10 mm und wächst um je 1 mm bis zu 22 mm unten. Die einzelnen Rohrlängen wurden mit muffenartig ausgebildeten Rohrenden geliefert und an Ort und Stelle durch Niete verbunden, Abb. 29; bei höheren Wasserpressungen und stärkeren Blechen ist die Nietung zweireihig ausgeführt.

Das Maschinenhaus ist für fünf Hauptturbinen mit Drehstromerzeugern und zwei Erregersätzen gebaut. Abb. 30 zeigt den zuerst ausgebauten Teil der Maschinenanlage. Die 83 m lange Halle wird von einem Laufkran mit 30 t Tragkraft bestreicht. Die Druckrohre unterfahren das Transformatornhaus und verjüngen sich beim Eintritt in den Rohrka-



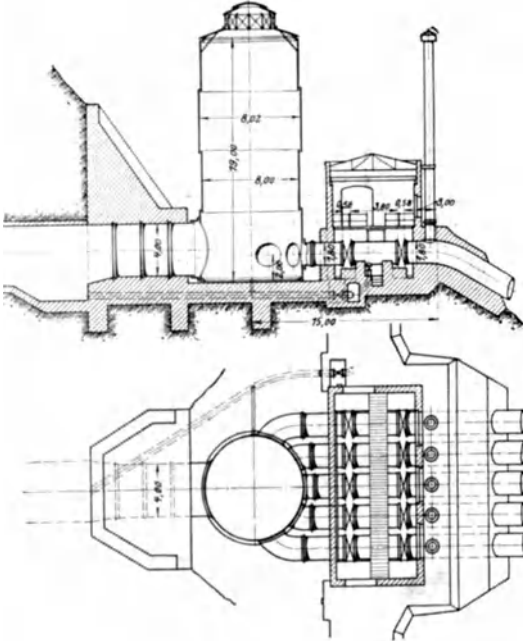
Abb. 25. Staudamm im Sorocabfall.

nal des Maschinenraumes auf 1 m Dmr. Auf das kegelige Rohr folgt ein mit Stopfbüchse versehenes, in der Länge verstellbares Zwischenrohr und hierauf der hydraulisch betätigte Turbinenabsperrschieber gleicher Lichtweite. Abb. 31 zeigt eine Turbine nach dem Zusammenbau in der Werkstatt.

Die Turbinen sind im Gegensatz zu den vorher beschriebenen als Doppel-Spiralturbinen mit einem Gehäuse und beiderseitigem Wasserausguß, Abb. 32 bis 34, gebaut.

Das Spiralgehäuse hat rd. 4 m Weite in senkrechter Rich-

An das Spiralgehäuse ist mit einem 500 mm weiten Stützen ein Druckregler von grundsätzlich gleicher Bauart wie der weiter oben beschriebene Druckregler der Kaministiquia Turbine angeschlossen; auch der Geschwindigkeitsregler mit Steuerung und Hilfstriebwerk, und die im Sockel des Windkessels untergebrachte Oeldruckpumpe sind von der bekannten Voithschen Bauart. Um jedoch auch bei Stillstand der Hauptturbinen Druck in die Oelleitung der Regelung geben zu können, ist bei einer der Turbinen noch eine Handöl-



Maßstab 1 : 400.

Abb. 26 und 27. Standrohr und Klappenhaus des Sorocaba-Werkes.

tung und ist in Stahlguß ausgeführt, wie überhaupt bei diesen Turbinen mit Rücksicht auf die hohen Beanspruchungen fast alle Teile aus Stahl oder aus Bronze hergestellt werden mußten. Die Leitschaufeln sind mit der bei der Kaministiquia-Turbine beschriebenen Bruchsicherung an den Hebeln und sorgfältiger Lagerung und Abdichtung der Schaufelzapfen versehen. Etwas Leckwasser aus nicht rechtzeitig erneuerten Dichtungen der Leitschaufelzapfen wird durch Schutzringe aufgefangen und abgeführt. Von besonderer Bedeutung sind natürlich bei diesem hohen Gefälle und den daraus sich ergebenden großen Wassergeschwindigkeiten die Schutzwände, Schutzschilde und Spaltringe aus Stahl und Bronze, welche die Leitwände und Turbinendeckel gegen den Angriff des im Wasser enthaltenen Sandes schützen.

Das Doppellager hat 1250 mm Dmr., ist aus Bronze gegossen und sorgfältig ausgewuchtet. Die Welle ist 5,6 m lang und trägt außer dem Mittelflansch, an den das Laufwerk angeschraubt ist, noch einen Koppelflansch am Schwungradende. Das Schwungradlager mit 350 mm Bohrung und das Kammlager sind mit Ringschmierung versehen, das erstere außerdem mit Wasserkühlung der Lagerschalen und einem besonderen Wunsche der Besteller gemäß mit Druckschmierung mittels einer kleinen Zahnradpumpe. Der Kammapfen der Welle ist ausgebohrt und wird in wirksamster Weise durch eingespritztes Wasser gekühlt.

Die Saugkrümmer ruhen auf einbetonierten Tragrohren, die zum Ausgleich der Saugwirkung durch ein reichlich weites Rohr miteinander verbunden sind. An jedes Tragrohr schließt sich ein gleichfalls einbetoniertes Saugrohr aus Blech an, das in einen Betonkrümmer mündet.



Abb. 28. Oberer Teil der Rohrfahrt der Druckleitungen für das Sorocaba-Werk.

pumpe, bei einer andern noch eine kleine Zahnrad-Oelpumpe vorgesehen, die mit einer Freistrahlmaschine von 1 PS gekuppelt ist. Besondere Sicherheitsvorrichtungen gegen die Folgen eines Versagens des Reglerantriebs wurden mit Recht nicht für notwendig erachtet.

Die verhältnismäßig hohe Umlaufzahl gestattete nicht, in den Stromerzeugern so große Schwungmassen unterzubringen, wie es die ziemlich ungünstigen Rohrleitungsverhältnisse wünschenswert machten. Es war daher die für so große



Abb. 29.

Muffen-Nietverbindung der Druckrohrleitung.

Einheiten seltene Anordnung von Zusatzschwungradern erforderlich; sie wurden mittels Flanschen zwischen Turbinen- und Dynamowelle geschraubt. Das Gewicht eines solchen Stahlgußschwungrades beträgt rd. 16 t, der Durchmesser 2,4 m.

Einem besonderen Wunsche der bestellenden Gesellschaft zufolge waren die Maschinensätze mit Bremsen zu versehen, damit sie außer durch elektrische Bremsung im Stromerzeuger auch mechanisch rasch stillgesetzt werden können. Zu diesem Zweck ist das Schwungrad von einem Grundrahmen

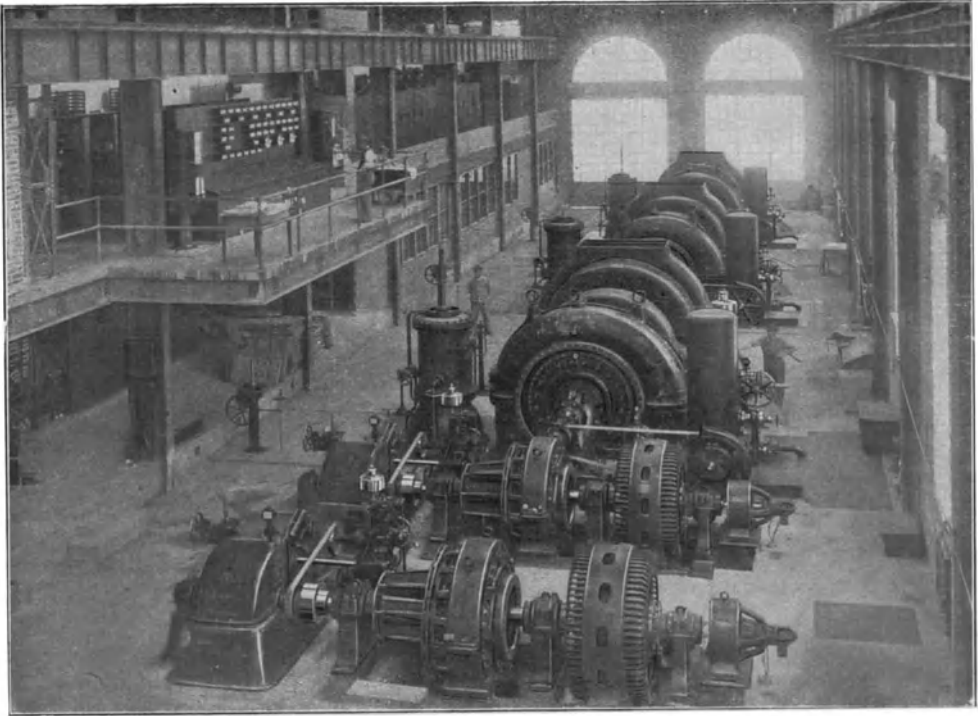


Abb. 30. Maschinenraum des Kraftwerkes am Sorocaba.

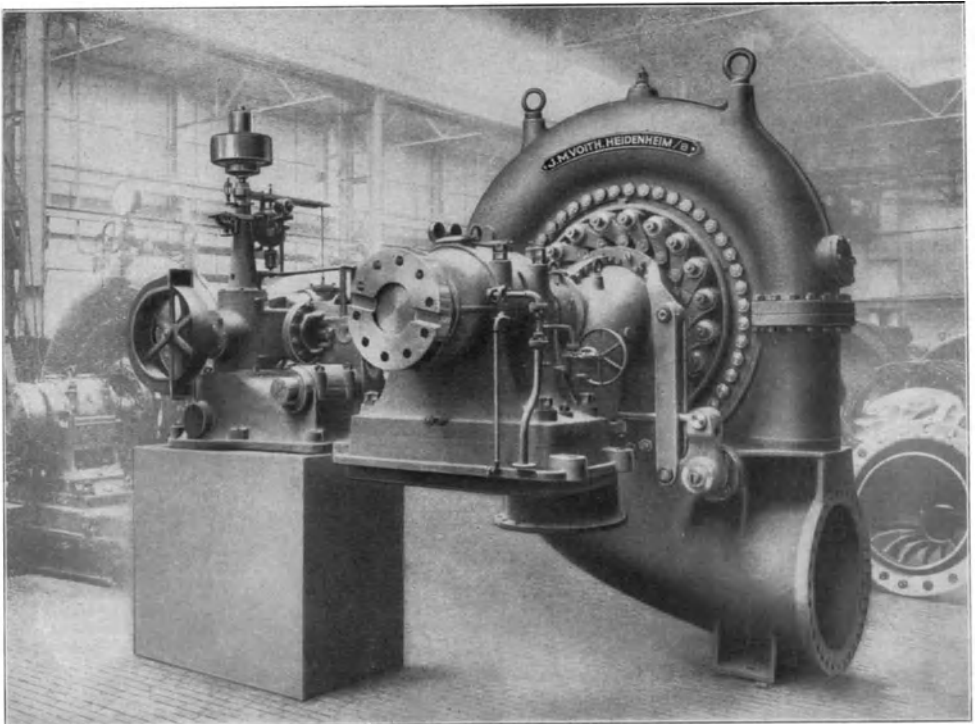


Abb. 31. Sorocaba-Turbine in der Werkstatt zu Heidenheim.

umgeben, der zur Lagerung von zwei Bremshebeln und der sie betätigenden hydraulischen Kraftzylinder dient. Bei der hohen Umfangsgeschwindigkeit des Schwungradkranzes mußte für reichliche Zufuhr von Kühlwasser zu den hölzernen Bremsbacken gesorgt und folglich auch das Schwungrad vollständig eingekapselt werden. Das Betriebswasser für die Wasserdrukcolben und das Kühlwasser werden der Umgeleitung des Turbineneinlässehlers durch ein zweizölliges Rohr entnommen. Der Regelhahn für die Wasserkühlung und der Steuerhahn für das Anpressen und Zurückziehen der Bremskolben sind in solche Abhängigkeit voneinander gebracht, daß die Bremse nur dann angezogen werden kann, wenn das Kühlwasser angestellt ist.

Die Turbinen sind mit allen erforderlichen Meßvorrichtungen, einem von der Turbinenwelle aus angetriebenen Geschwindigkeitsanzeiger in der Nähe des Reglers, mit Ueber- und Unterdruckmessern für das Betriebswasser, ferner mit Druckmessern für die Ölleitungen der Regelung und für das Druck- und Kühlwasser der Bremse ausgerüstet.

Zur Erregung sind zunächst zwei Maschinensätze aufgestellt worden, die je aus einem Zweimaschinenumformer und einer Freistrahlturbine bestehen. Diese kleinen Turbinen leisten je 710 PS bei 600 Uml./min. Die nur 1,7 m lange Welle ruht an einem Ende in einem Bundlager und ist am andern Ende mit der Dynamowelle verflanscht. Schwungräder waren bei diesen Erregereinheiten nicht erforderlich, weil die beiden Läufer des Umformers schon ausreichende Schwungmassen enthalten. Die Erregerturbinen werden aus einer an die sämtlichen Turbinendruckleitungen angeschlossenen Erregereleitung von 375 mm l. W. gespeist.

Auch in Deutschland sind während der letzten Jahre größere Wasserkraftanlagen mit Voithschen Hochdruck Spiralturbinen gebaut worden, so das Dhronkraftwerk der Stadt Trier, das drei Einheiten von je 2000 PS bei 100 bis 120 m Gefälle aufweist, zu denen noch eine vierte mit der doppelten Leistung, also 4000 PS, nachbestellt wurde; sämtliche Turbinen des Dhronkraftwerkes sind einfache Spiralturbinen.

Besonders zu erwähnen ist das Leitzaachwerk, das von einem Konsortium unter Mit-

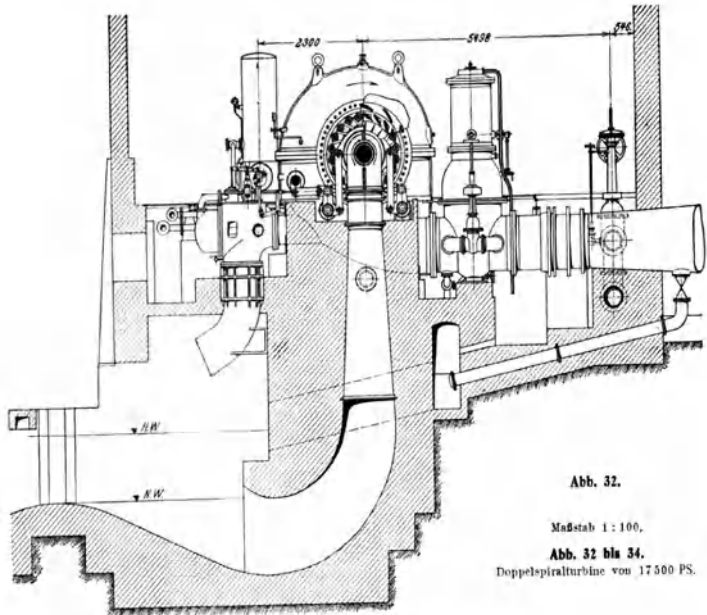


Abb. 32.

Maßstab 1: 100.

Abb. 32 bis 34.

Doppelspiralturbine von 17 500 PS.

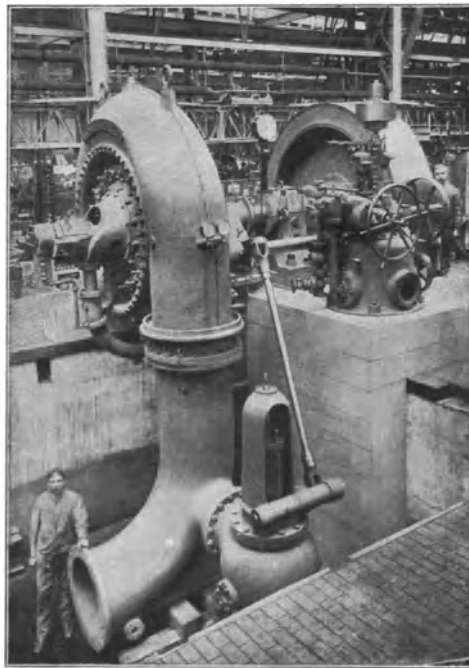


Abb. 35.

4400 PS-Turbine für das Leitzaachwerk in der Werkstatt zu Heidenhelm.

wirkung der Stadtgemeinde München geschaffen wurde und, nahe der Eisenbahnlinie Holzkirchen-Rosenheim gelegen, das Wasser der Leitzaach, eines Nebenflusses der Mangfall, ausnützt, wozu der Seehammer-See als Ausgleichsbecken herangezogen ist.

Das Nutzgefälle beträgt 107 bis 125 m; zwei Druckrohre von 2 m l. W. und je 850 m Länge führen das Wasser vom Wasserschloß aus dem Maschinenhause zu, wo vorerst fünf Spiralturbinen von je 4400 PS Leistung und 500 Uml./min aufgestellt sind. Der Aufbau der Turbinen, Abb. 35 und 36, aus einem gußeisernen Spiralgehäuse, einem Traversenring aus Stahlguß, dem Leitrad mit den stählernen Drehschaufeln und außenliegendem Reguliererring, ferner die Ausrüstung des Leitrades und der Deckelräume mit Schutzwänden entsprechen den Konstruktionen der vorstehend ausführlich beschriebenen Zwillings- und Doppelspiralturbinen.

Bei diesen einfachen Spiralturbinen mußten jedoch angesichts des hohen Gefälles und der großen Drehgeschwindigkeit Vorkehrungen getroffen werden, damit der Kammzapfenschub nicht zu nachteiliger Stärke anwachsen kann. Die zu beiden Seiten des Lauffrades liegenden Räume, in denen Spaltwasser durch Teilnahme an der Drehung den axialen Schub zu beeinflussen vermag, sind so begrenzt, daß

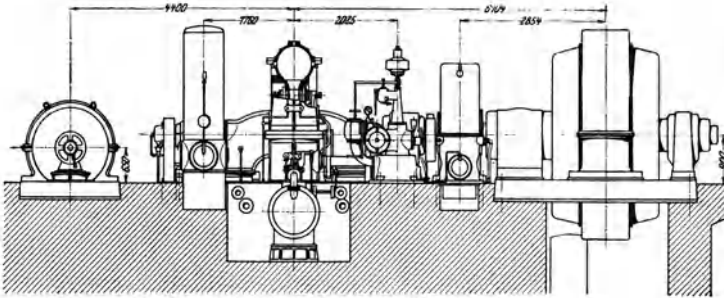


Abb. 33.

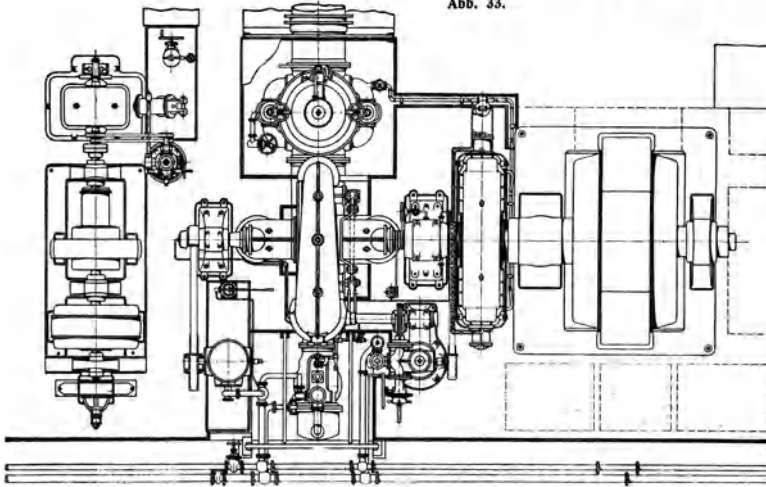


Abb. 34.

solche Drücke sich gegenseitig aufheben. Das in den inneren Teil des Dekkelraumes eindringende Spaltwasser wird durch eine Entlastungsleitung in das Saugrohr abgeführt.

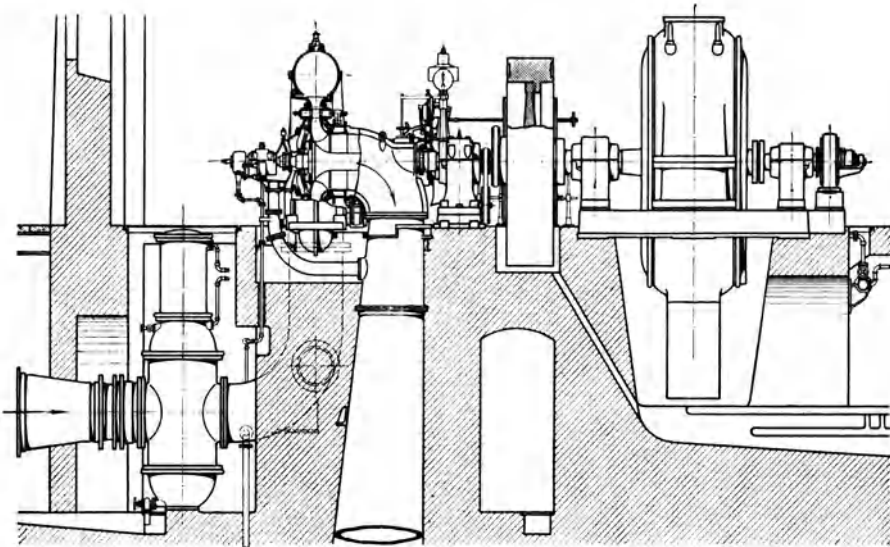
Das Laufrad hat 1150 mm Dmr., ist aus Bronze gegossen, zur Verminderung der Wasserreibung im Innern sorgfältig geglättet und durch Schrauben an einem Flansch der Stahlwelle befestigt. Diese hat bei 4 m Länge 275 mm größten Durchmesser und ruht in zwei Lagern mit Ringschmierung. Der

Kammzapfen am Ende der Welle ist ausgebohrt und wird durch eingespritztes Wasser gekühlt. Für das Traglager auf der Abtriebsseite, das durch das Schwungrad stark belastet wird, ist gleichfalls Wasserkühlung vorgesehen.

Die verhältnismäßig recht lange Rohrleitung in Verbindung mit der geforderten Güte der Regelung bedingt auch hier ein schweres Schwungrad, das in Stahlguß hergestellt und zwischen die Flansche der Turbinen- und der Dynamowelle eingebaut ist.

Die Umlaufzahl der Turbine wird durch einen mit Drucköl arbeitenden Geschwindigkeitsregler geregelt. Durch einen Fernschwimmer, d. i. eine der Firma J. M. Voith patentierte pneumatische Wasserstandsübertragung¹⁾,

¹⁾ s. Z. 1911 S. 1522.



Maßstab 1 : 100.

Abb. 36. Einfach-Spiralturbine von 4400 PS für das Letztzweck.

wird die Öffnungsbewegung dieses Reglers derart begrenzt, daß die Turbinen nicht mehr Wasser schlucken können, als bei einem jeweils festgesetzten tiefsten Stand des Wasserspiegels im Wasserschloß diesem aus dem Stausee zufließen kann.

Von der Reglerwelle wird durch eine schräg in das Untergeschoß hinabführende Schubstange der im Vordergrund in Abb. 35 sichtbare, an den Einlaufkrümmer angeschlossene Druckregler betätigt. Dieser unterscheidet sich von dem weiter oben ausführlich beschriebenen Druckregler der Kaministiquia-Turbine dadurch, daß er für weit geringere Abflüßmengen bemessen ist und vom Reglergestänge mechanisch, also ohne hydraulische Steuerung, betätigt wird. Das Auslaßventil schließt sich so langsam, daß in der Rohrleitung keine größere Drucksteigerung als um 10 vH eintritt.

Auch hier wurde eine Sicherheitsvorrichtung gegen das Durchgehen der Turbine beim Bruch des Reglerriemens vorgesehen, obschon erfahrungsgemäß das Reißen oder Ablaufen des Gummiriemens kaum jemals vorkommt. Der Turbinenregler kann von der Schalttafel aus auf elektrischem Wege verstellt und die Umlaufzahl dadurch soweit verändert werden, als es zum Parallelschalten der Stromerzeuger erforderlich ist; auf diese Weise lassen sich auch die Leitschaukeln beim Stillsetzen der Maschinengruppe schließen.

Am unteren Ende des Einlaufkrümmers ist ein Absperrschieber von 750 mm l. W. angeschlossen, der mit einem Hilfszylinder versehen ist und durch Wasserdruck aus der Turbinenleitung geöffnet und geschlossen werden kann. Der Schieberkeil ist zu einem Abschlußring, einer sogen. Brille, verlängert, so daß bei geöffnetem Schieber das Wasser einen glatten Durchgang über den Schieberspalt findet. Die jeweilige Stellung jedes Schiebers läßt sich an weithin sichtbaren Zeigevorrichtungen im Maschinenhaus erkennen.

An die beiden bereits erwähnten äußeren Druckstränge schließt sich je eine Verteilung für drei Turbinen an, die in Rohrkanälen außerhalb der Längswände des Kraftwerkes verlegt und am unteren Ende durch eine Querleitung von 1100 mm l. W. miteinander verbunden sind, so daß die Turbinen der einen Seite gelegentlich aus der Druckleitung der andern Seite gespeist werden können. Mit diesen Verteilungen hat J. M. Voith außer den Einlaufschiebern zwei Drosselklappen von 1850 mm Dmr. zum Anschluß an die Druckrohre und einen nach beiden Seiten dichtenden Absperrschieber von 1100 mm l. W. in der Querleitung geliefert. Diese Drosselklappen und Schieber sind mit Rücksicht auf ihre großen Abmessungen und den hohen Druck vollständig aus Stahlguß hergestellt, werden jedoch, da sie nur selten betätigt zu werden brauchen, von Hand bedient.

Die Abnahmeversuche an den Turbinen ergaben einen Wirkungsgrad von 87,4 vH bei der verlangten Leistung von 4400 PS und einen solchen von 82 vH bei 2200 PS, also ungefähr halber Beaufschlagung. In Abb. 37 sind Tachogramme wiedergegeben, die während der Versuche aufgenommen worden sind und die erreichte vorzügliche Feinheit der Geschwindigkeitsregelung dartun.

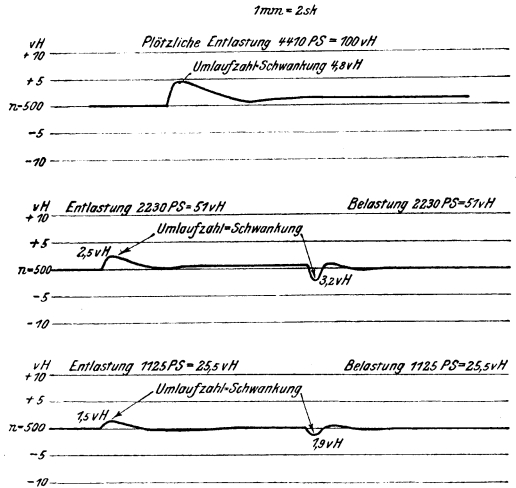


Abb. 37.

Tachogramme von der Regelungsprüfung der Leitzachwerk-Turbine.

Zusammenfassung.

Die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Maschinen-einheiten wird an einigen Wasserkraftanlagen gezeigt. Eingehend beschrieben und durch Abbildungen erläutert sind die großen, von der Firma J. M. Voith in Heidenheim gebauten Francis-Turbinen folgender Anlagen:

Kakabeka-Fall der Kaministiquia Power Co. in Kanada. Zwillings-Spiralturbine für 12500 PS bei 55 m Gefälle. Außenregelung mit Bruchhebeln. Druckregler für 20 cbm Wasserdurchlaß in der Sekunde. Drosselklappen von 2750 und 3050 mm Lichtem Durchmesser.

Nipposhigawa der Inawashiro Hydroelectric Power Co. in Japan. Zwillings-Spiralturbinen für je 11400 PS bei 104 m Gefälle. Mehrere besondere Einrichtungen zur Sicherung des Betriebes.

Sorocaba der Sao Paulo Electric Co. in Brasilien. Doppel-Spiralturbinen von je 17500 PS bei 195 m Gefälle. Ungewöhnlich hohes Gefälle für Francis-Turbinen. Spiralgehäuse aus Stahlguß. Schwungrad mit Bremse.

Leitzachwerk in Oberbayern. Einfache Spiralturbine für 125 m Gefälle und 4400 PS Leistung. Wirkungsgrade und Genauigkeit der Regelung.