

den Ladestromkreis, während durch die gleichzeitige Betätigung der Hauptstromspule der Schalter in seiner Stellung festgehalten wird. Sinkt die Stromstärke bis auf fünf Prozent des normalen Stromes, so fällt der Schalter ab, so daß Rückstrom vermieden wird. Bei allmählicher Spannungsabnahme der Batterie infolge fortschreitender Entladung sucht Relais 6 die Dynamo wieder einzuschalten, doch wird dies erst möglich, sobald die Dynamospannung überwiegt. Um die Spannung auf der Verbrauchsseite konstant zu halten, ist ein selbsttätiger Hauptstromregulator 7 (nur schematisch angedeutet) vorhanden, dessen Motor durch ein Spannungsrelais 8 ein- und ausgeschaltet wird. Es sind ferner 9 und 10 die notwendigen Schalter; 11, 11 Sicherungen; 12 zwei Vorschaltwiderstände.

Ein Windkraft-Elektrizitätswerk ist kein kostenloser Betrieb, denn es sind Zinsen, Amortisation und Unterhaltungskosten zu berücksichtigen, und die Akkumulatorenbatterie ist verhältnismäßig teuer. Man wählt die Batterie meist so groß, daß sie den Strombedarf für zwei Tage größten Verbrauches zu decken vermag, nicht dagegen so groß, daß sie jede mögliche Windstille überdauern kann. Vielmehr ist es bei größeren Anlagen empfehlenswerter, für Zeiten absoluter Windstille eine Reservekraft (z. B. einen Benzinmotor) aufzustellen. —

Alle Windmotoren soll man so berechnen, daß sie die verlangte Leistung schon bei einem leichten Winde leisten, d. h. bei einer Windgeschwindigkeit von 4—5 m in der Sekunde, wie man sie an den meisten Tagen mehrere Stunden lang erwarten darf. Bei Winden von 6—7 m steigt die Leistung schon auf das Doppelte, entsprechend der S. 6 genannten Formel $N = F \cdot v^3 \cdot k$.

B. Die Wassermotoren.

I. Einleitung.

Der Sonnenwärme verdanken wir den großen „Kreislauf des Wassers“. Dieser besteht darin, daß das Wasser in die Luft verdunstet, mit dieser fortgeführt wird und in Form von Niederschlägen auf die Erdoberfläche gelangt, wo die Niederschläge sich zu Bächen, Flüssen, Strömen vereinigen und ins Meer fließen, worauf von hier die Verdunstung wieder ihren Ausgang nimmt. Das auf eine gewisse Höhe gehobene Wasser besitzt einen Energievorrat, der beim Transport nach tieferen Stellen entnommen werden kann. Wir verdanken diese Energiequelle also ebenso der Sonnenwärme, wie dies bei dem Winde der Fall ist. Jedes Rinnsal, jeder murmelnde Bach bildet eine Energiequelle, und überall, wo ein Wasserlauf ungenutzt zu Tale fließt, ist ein — je nach der Wassermenge und dem Gefälle größerer oder kleinerer — Kraftverlust zu beklagen. Nicht immer freilich läßt sich eine solche Kraftquelle vorteilhaft in der gegebenen Form ausnutzen; häufig genug ist dazu erforderlich, kleine Wassermengen hinter Staumauern in den sogenannten *Talsperren* zu größeren Massen zu vereinigen, sie auf diese Weise (oder aber in kleinerem Umfange durch Wehre) anzustauen, wodurch man die gleichzeitig nutzbare Wassermasse vergrößert und vor allem das Gefälle einer langen Flußstrecke eng zusammendrängt. Andererseits muß man oft genug auf die Ausnutzung der Wasserkräfte verzichten, weil der mit diesem Verzicht verbundene Energieverlust gering ist gegenüber sonstigen Vorteilen, so namentlich gegenüber der Schifffahrt, die ja durch die Anlage von Stauwehren verhindert oder doch sehr erschwert wird. Freilich ist gerade da, wo die Schifffahrt den größten Umfang hat, also auf den breiten Flußteilen der Niederungen, sowieso an eine Ausnutzung der Wasserkräfte wenig zu denken, denn wenn auf der einen Seite die breiten schiffbaren Ströme gewaltige Wassermengen führen, so fließen diese Ströme doch sehr langsam dahin, d. h. das Gefälle ist so gering, daß man zwecks motorischer Ausnutzung übermäßig lange Flußstrecken reservieren müßte. Es könnte die Frage aufgeworfen werden, wo denn die Energie bleibt, wenn Flußläufe ohne motorische Ausnutzung zu Tale fließen. Ein Teil dieser Energie wird bei schnellen Wasserflächen häufig sichtbar, indem das Wasser Erde von den Böschungen spült, ja selbst kleine Steine mitreißt. Im übrigen wird die ganze Energie dazu verbraucht, das Wasser am Grunde des Flußlaufes und an den Ufern (also da, wo es sich

gegen sein Bett reibt) zu erwärmen, und diese Wärme ist auch die Ursache, weshalb schnell fließende Wasserläufe im Winter kaum zufrieren.

Die Vorrichtungen zur Ausnutzung der Energie des Wassers heißen *Wassermotoren*. Sollen sie dem Wasser seine Energie entziehen, so muß man den Kraftverlust durch Reibung zwischen strömendem Wasser und Flußbett möglichst aufheben, und dazu ist es nötig, daß das Wasser seine schnelle Bewegung verliert. Man erreicht dies eben durch Stauanlagen.

Die Wassermotoren oder *Wasserkraftmaschinen* kann man einteilen in 1. *Wasserräder*, 2. *Turbinen*, 3. *Wassersäulenmaschinen* und 4. *Hydraulische Widder*. Hiervon haben 3. und 4. nur geringe Wichtigkeit und sollen daher nicht besprochen werden. Eigentlich sind die Turbinen auch nichts anderes als Wasserräder, so daß die Unterabteilungen 1. und 2. zusammenfallen müßten. Aber man hat sich doch zu der Trennung entschlossen, aus Gründen, die später zu behandeln sind.

Das fließende Wasser wird den Wassermotoren an einer gewissen Stelle zugeführt und verläßt sie an einer anderen Stelle. Das zugeführte Wasser nennt man *Aufschlagwasser*. Die Zuleitung erfolgt durch einen Kanal oder eine Röhrenleitung. Die Größe der ausnutzbaren Wasserenergie bestimmt sich nach der *Menge* des Aufschlagwassers und nach dem *Gefälle*, d. h. dem Höhenunterschied. In den Motoren kann das Wasser auf zwei Arten wirken, entweder durch seine lebendige Kraft (Geschwindigkeit) oder durch sein Gewicht. Die lebendige Kraft des fließenden Wassers wird in den Wassermotoren mit einem geringeren Nutzeffekt ausgenutzt als sein Gewicht. Bei der Ausnutzung nach dem Gewicht sind die Menge des Aufschlagwassers und das Gefälle auf den Nutzeffekt von gleichem Einfluß, jedoch ist es praktischer, Anlagen mit möglichst großer Fallhöhe und kleiner Wassermenge zu wählen. Von der Energie des Aufschlagwassers läßt sich nur ein Teil in den Motoren nutzbar machen; unvermeidbare Verluste entstehen durch den Widerstand der Maschinenteile gegenüber dem einströmenden Wasser, durch die Reibung des Wassers im Motor und durch die Reibungswiderstände der Maschinenteile gegeneinander, endlich dadurch, daß das Wasser auch noch beim Verlassen des Motors eine gewisse lebendige Kraft haben muß, daß also nicht die ganze lebendige Kraft im Wassermotor verbraucht werden darf.

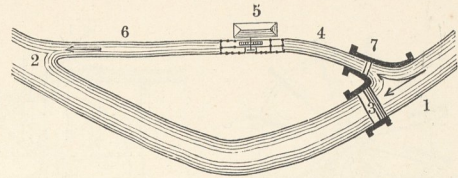


Fig. 23. Anlage einer Zuleitung aus einem Flusse.

Man kann Wasserkraftmaschinen nicht einfach in den Lauf des fließenden Wassers einbauen, denn der Wasserspiegel verändert sich, und die Leistung des Motors würde dementsprechend ganz ungleichmäßig werden. Vielmehr muß man den Wasserspiegel möglichst gleichmäßig auf derselben Höhe erhalten. Man leitet die motorisch auszunutzende Wassermenge durch einen Kanal von dem Flußlauf ab und führt sie nach der Ausnutzung ebenso durch einen Kanal an einer tieferen Stelle dem ursprünglichen Laufe wieder zu. Eine derartige Anlage zeigt Fig. 23. Der Höhenunterschied des Flußniveaus zwischen 1 und 2 ist das nutzbar gemachte Gefälle. 3 ist ein Stauwehr und 4 der Zuleitungsgraben (*Obergraben, Mühlgraben*), der die auszunutzende Wassermenge der Wasserkraftanlage 5 zuführt. Hat das Wasser den Motor passiert, so fließt es durch den *Untergraben* 6 dem Flusse wieder zu. In 4 und 6 wird das Wasser möglichst horizontal geleitet, damit bei 5 das Gefälle, also die Fallhöhe, möglichst groß wird. Bei 7 befindet sich gewöhnlich eine Einlaßschleuse, um die Wasserzufuhr verändern zu können. Die Aufstellung des Wassermotors erfolgt an der Stelle, die nach praktischen Rücksichten die günstigste ist. Demnach überwiegt in Gebirgsgegenden in der Regel die Länge des Obergrabens, weil der meist felsige Boden die Herstellung eines langen Untergrabens (der ja tiefer gegraben werden muß) wesentlich verteuern würde. Im Flachlande dagegen macht man den Untergraben recht lang, denn der Obergraben erfordert in der Anlage größere Sorgfalt, um die Reibungsverluste des Wassers in engen Grenzen zu halten. Das Stauwehr 3 wird so hoch gemacht, daß die zum Betriebe des Motors erforderliche Wassermenge nach 5 gelangt, der Überschuß aber über 3 hinwegfließen kann.

Als Wassermenge bezeichnet man das Volumen, das durch den Querschnitt der Zuleitung

dem Wassermotor in 1 Sekunde zuströmt. Die mechanische Arbeitsmenge aus einer verfügbaren Wassermenge Q in Kubikmetern pro Sekunde und einer Gefällhöhe H in Metern beträgt $\frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75}$ Pferdestärken oder $13,3 \cdot Q \cdot H$ Pferdestärken.

Dieser *absolute Nutzeffekt des fallenden Wassers* gilt in bezug auf die motorische Ausnutzung nur theoretisch, d. h. er muß noch mit dem Wirkungsgrad des Wassermotors multipliziert werden, um dessen effektive Leistung zu finden. Je nach der Art des Wassermotors schwankt der Wirkungsgrad zwischen 0,5 und 0,85.

Wo nicht das Gewicht des fallenden, sondern die lebendige Kraft des fließenden Wassers der Berechnung zugrunde zu legen ist, geht man von folgender Formel aus: Ist v die mittlere Geschwindigkeit eines Stromes, Q das Volumen der durch den Querschnitt fließenden Wassermenge und g die Beschleunigung durch die Schwerkraft, so berechnet sich der absolute Nutzeffekt (N) des fließenden Wassers zu $N = \frac{1000 Q}{75} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{6,67 Q v^2}{g}$.

II. Wasserräder.

Ein Wasserrad besteht aus einem Radkranz, der mit Schaufeln oder Zellen besetzt ist, und zwar erstrecken sich die Schaufeln oder Zellen in gleichen Abständen über den ganzen Umfang des Rades hin. Man unterscheidet hiernach *Schaufelräder* und *Zellenräder*;

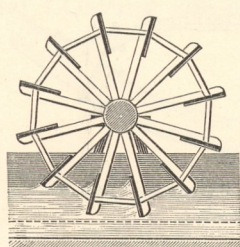


Fig. 24.
Schiffmühlenrad.

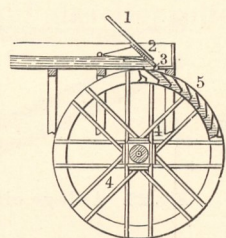


Fig. 25. Oberschlächtiges Wasserrad mit Spannschütze.

Bei den ersteren sind die Schaufeln am Radkranz befestigt, und es ist nur ein Boden vorhanden: *Wasserräder mit offenem Schaufelraum*. Bei den Zellenrädern, die auch *Kübelräder* genannt werden, sind die Schaufeln noch durch Seitenwände eingeschlossen so daß Zellen (Kübel) zur Aufnahme des Wassers entstehen: *Wasserräder mit geschlossenem Schaufelraum*. Dieser konstruktive Unterschied zeigt, daß in den Schaufelrädern das Wasser

nur durch seine lebendige Kraft wirken kann, indem es gegen die Schaufeln stößt, dagegen in den Zellenrädern durch sein Gewicht, indem es nach und nach die verschiedenen Zellen anfüllt und die so beschwerte Radseite niederdrückt.

Das einfachste Wasserrad ist die *Schiffmühle*, ein uralter Wassermotor. Die Schiffmühlenräder (Fig. 24) hängen frei im Strome, und zwar lagern sie auf zwei durch Balken verbundenen, im Flußlauf verankerten Kähnen. Da diese sich mit dem Wasserspiegel heben und senken, bedarf es einer Stauanlage nicht. Dafür hat die Schiffmühle aber auch nur einen geringen Wirkungsgrad, weil sehr viel Wasser seitlich den Schaufeln ausweicht. Deshalb werden Schiffmühlenräder nur noch wenig benutzt.

Die üblichste Einteilung der Wasserräder ist die nach der Stelle (Höhe) des Wassereintrittes in das Rad. Man erhält so *oberschlächlige*, *rückenschlächlige*, *mittelschlächlige* und *unterschlächlige Wasserräder*. Von diesen baut man die oberschlächligen und rückenschlächligen Räder als Zellenräder, dagegen die mittelschlächtigen und unterschlächtigen als Schaufelräder.

Die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers muß größer sein als die Umlaufgeschwindigkeit des Rades; daher läßt man es erst eine kleine Höhe, das *Stoßgefälle*, durchfallen, ehe es in das Rad eintritt. Der Einlauf des Wassers geschieht mittels einer am Ende der Zuleitung, des *Gerrinnes*, eingebauten Vorrichtung, nämlich einer Quervorlage (*Schütze*), über die das Wasser entweder hinwegfließt: *Überfallschütze*, oder unter der es hindurchfließt: *Spannschütze*, oder die es durch besondere Einlaufkanäle passiert: *Kulisseneinlauf*. Durch Hoch- oder Niederstellen der Schütze läßt sich die Wasserzufuhr regulieren.

Oberschlächliges Wasserrad. Bei diesem (Fig. 25) tritt das Wasser unter einer Spannschütze 1, 2 hindurch in einem breiten, aber dünnen Strahle bei 3 in der unmittelbaren Nähe des Scheitels des Rades 4 ein, wobei der Strahl so weit über den Scheitel hinweg reicht, daß

die Drehungsrichtung des Rades dadurch gegeben ist. Die mit Wasser gefüllten Zellen 5 senken sich durch ihr Gewicht und steigen leer wieder auf. Je später das Wasser ausfließt, desto günstiger ist der Wirkungsgrad; daher müssen die Schaufeln entsprechend weit übereinander greifen, wie es Fig. 25 erkennen läßt. Die Vereinigung von zwei überschlächtigen Wasserrädern mit entgegengesetzt gerichteten Schaufeln auf derselben Welle nebeneinander, um eine Umkehr der Drehungsrichtung nach Belieben zuzulassen, heißt *Kehrrad*. Überschlächtige Räder dürfen auf keinen Fall ins Unterwasser eintauchen. Die Räder eignen sich für Gefälle von 4—10 m bei Wassermengen bis 0,7 cbm in der Sekunde und haben einen Wirkungsgrad von 0,7—0,8. Die Ansicht eines überschlächtigen Wasserrades zeigt Fig. 26; an der einen Seite des Rades ist um den Umfang ein Zahnkranz gelegt, in den ein kleineres Getriebe eingreift, um die Energie in Form einer schnelleren Rotation zu übertragen.

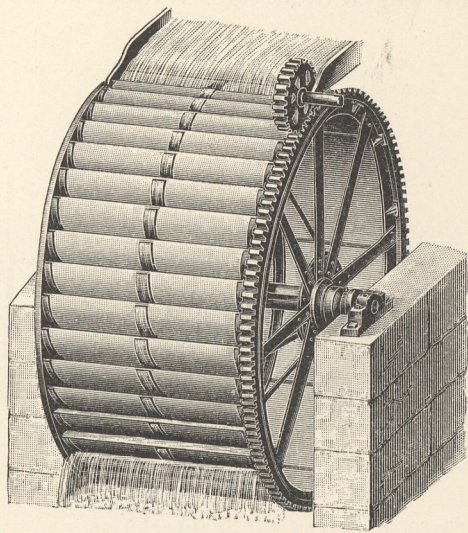


Fig. 26. Überschlächtiges Wasserrad (Ansicht).

Rückenschlächtige Wasserräder. Ein solches mit Kulisseneinlauf ist in Fig. 27 dargestellt. An die Stelle des Kulisseneinlaufs 1 tritt zuweilen eine Überfallschütze. Das Rad 2 ist stets größer als die Gefällhöhe, und der Wassereintritt geschieht unterhalb des Scheitels auf der oberen Hälfte des Radumfanges. Meist sind diese Räder als Schaufelräder gebaut, also mit Schaufeln 3 ohne seitlich geschlossene Zellen; dafür muß dann das Mauerwerk 4 des Gerinnes die Seiten und den Umfang des Rades eng umschließen. Wird ein derartiges Rad jedoch als Zellenrad gebaut, so ist eine kreisförmige Ausmauerung des Gerinnes nicht nötig. Die Wasserzufuhr durch den Kulisseneinlauf kann mittels eines Schiebers 5, 6 und des Rades geregelt werden. Die rückenschlächtigen Wasserräder eignen sich für Gefälle zwischen 3 und 5 m und für Wassermengen von 0,4—1,3 cbm in der Sekunde; sie besitzen einen Wirkungsgrad von 0,65—0,75 und finden vorzugsweise Verwendung für einen veränderlichen Wasserstand im Ober- und Untergraben.

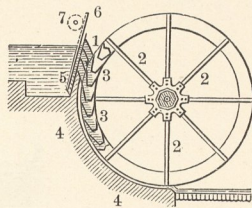


Fig. 27.

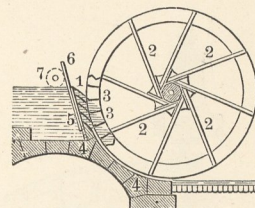


Fig. 28.

Fig. 27. Rückenschlächtiges, Fig. 28. Mittelschlächtiges Wasserrad mit Kulisseneinlauf.

Mittelschlächtige Wasserräder. Bei diesen (Fig. 28) erfolgt der Wassereintritt etwas unterhalb der Mitte des Rades 2 entweder durch einen Kulisseneinlauf 1 oder über eine Überfallschütze hinweg. Diese Räder haben Schaufeln 3 ohne Seitenwände; daher muß der untere Teil des gemauerten Gerinnes 4 an Umfang und Seiten des Rades eng anschließen. 5, 6 ist wieder der Zuflussschieber mit dem Rade 7. Die mittelschlächtigen Wasserräder eignen sich mit Kulisseneinlauf für Gefälle von 2,5—3,5 m und Wassermengen von 0,5—2 cbm in der Sekunde, bei einem Wirkungsgrade zwischen 0,65 und 0,7. Mit Überfallschütze sind sie geeignet für Gefälle von 1,5—2 m und Wassermengen von 0,5—2,5 cbm bei einem Wirkungsgrade von 0,6—0,65.

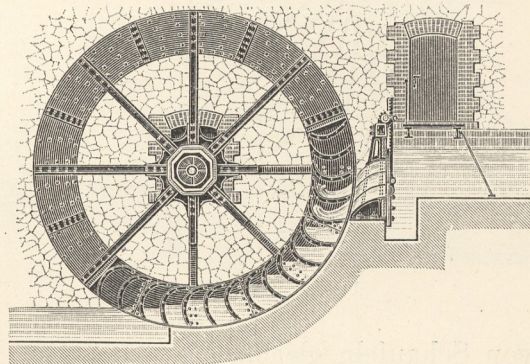


Fig. 29. Mittelschlächtiges Wasserrad der Merseburger Maschinenfabrik Herrich & Co. im Schnitt dargestellt.

In Fig. 29 ist ein mittelschlächtiges Rad der Merseburger Maschinenfabrik Herrich & Co. im Schnitt dargestellt (die Schaufeln sind nur zum Teil hineingezeichnet). Meistens besteht dieses Rad ganz aus Eisen; es wird in das Mauerwerk eingebaut. Das Wasser wird durch drei übereinanderliegende Kulissen zugeführt.

Ist das verfügbare Gefälle noch geringer als etwa 1,5 m, so läßt sich kaum noch eine

Gewichtswirkung des Wassers erzielen, und der Wirkungsgrad wird sehr klein. Das in Fig. 30 wiedergegebene *Kropfrad mit Spannschütze*, das man auch *halbmittelschlächtiges* Wasserrad nennt, ist für Gefälle von 0,5—1,5 m und Wassermengen von 0,6—4 cbm bestimmt; der Wirkungsgrad schwankt zwischen 0,5 und 0,6. Wesentlich höher ist der Wirkungsgrad bei den neueren Ausführungen derartiger Räder; so beträgt er z. B. beim *Sagebienrad* (Fig. 31) etwa 0,70—0,75. Die

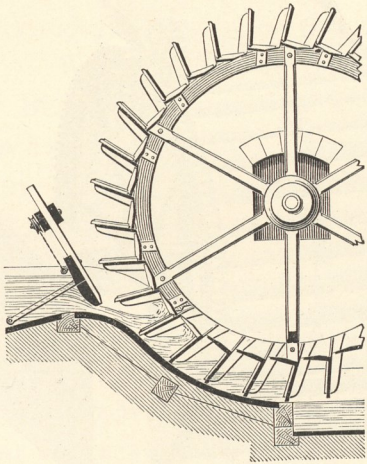


Fig. 30. Kropfrad mit Spannschütze.

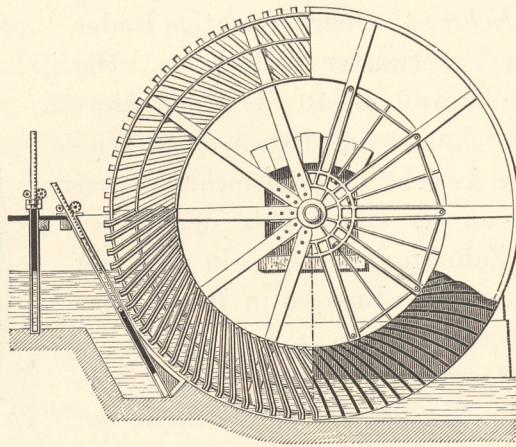


Fig. 31. Sagebienrad mit Überfallschütze.

Umfangsgeschwindigkeit dieses Rades ist sehr klein, ebenso auch die Umlaufzahl; daher erhalten diese Räder einen großen Durchmesser, eine große Kranzbreite und Schaufelzahl. Das Wasser tritt langsam in dickem Strahle ohne bedeutende Stoßwirkung ein, so daß das Gefälle als Druckgefälle günstig zur Wirkung kommt. Die Schaufeln sind entweder durchweg gekrümmt oder nur am äußeren Ende umgebogen; beide Formen sind in Fig. 31 gezeigt. Eine noch größere Kranzbreite besitzt das *Zuppingerrad* (Fig. 32), dessen Schaufeln so gekrümmt sind, daß sie senkrecht aus dem Unterwasser aufsteigen.

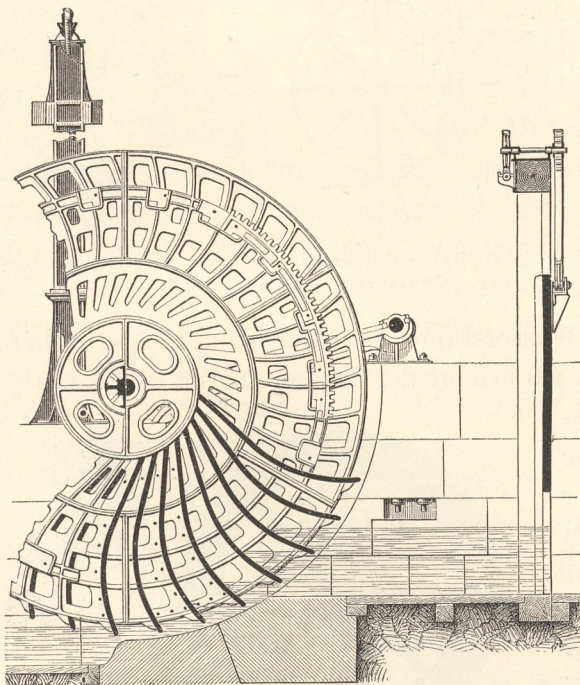


Fig. 32. Zuppingerrad.

Unterschlächlige Wasserräder. Hierher gehört bereits das alte, in Fig. 24 abgebildete Schiffmühlerrad, das einen sehr geringen Wirkungsgrad hat. Ihrer ganzen Natur nach, da das Wasser nur die jeweils untersten Schaufeln trifft, können die unterschlächtigen Räder nicht mehr das Gewicht des Wassers ausnutzen, sondern ausschließlich dessen lebendige Kraft, und dies erklärt den geringen Wirkungsgrad ohne weiteres. Etwas größer als bei den einfachen Schiffmühlen ist er immerhin bei den unterschlächtigen Rädern im sogenannten *geraden* oder *Schnurgerinne* (Fig. 33), bei denen das Wasser lediglich durch den Stoß wirkt und sehr viel Wasser unbenutzt vorbeifließt. Solche Räder eignen sich für Gefälle von 0,2—0,7 m und Wassermengen bis 5 cbm in der Sekunde und zeigen einen Wirkungsgrad bis zu 0,35. Der Wirkungsgrad steigt etwas, wenn das Gerinne kropfförmig hergestellt ist (*Kropfgerinne*), wie bei der Anordnung in Fig. 34, denn durch das Kropfgerinne befindet sich stets eine größere Zahl

von Schaufeln gleichzeitig im Wasser. Zuweilen findet sich an diesen Rädern eine Vorrichtung (*Pansterung, Pansterwerk*), um sie mit ihren Lagern heben und senken zu können, wie es der Stand des Unterwassers gerade erfordert.

Eine besondere Art der unterschlächtigen Räder verkörpert das *Ponceletrad* (Fig. 34); infolge der eigenartigen Schaufelkonstruktion hat es einen verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad (etwa 0,7). Die Schaufeln sind so gekrümmt, daß das Wasser genau in der Richtung der Schaufelkrümmung eintritt, an den Schaufeln eine gewisse Strecke in die Höhe steigt und dann wieder zurückfällt. Der Stoß beim Wassereintritt wird dadurch ganz

vermieden, und das Wasser wirkt nur durch seine lebendige Kraft. Das Ponceletrad eignet sich für Gefälle von 0,5—1,5 m.

Bauart der Wasserräder. Die gewöhnlichen Wasserräder werden mit steifen Armen ausgeführt, jedoch findet man bei modernen Konstruktionen häufig das *Suspensionsprinzip* durchgeführt, wobei der Radkranz mit der Nabe durch dünne, nur auf Zug beanspruchte Rundeisenstangen verbunden ist, eine Konstruktion, wie sie beim Fahrrad üblich ist. Für Räder von nicht über 2,5 m Breite genügen zur Anbringung der Schaufeln zwei Systeme von Armen; noch breitere Räder erhalten drei Systeme von Armen. Zur Versteifung sind außerdem Diagonalstangen angeordnet, welche die seitlichen Beanspruchungen aufnehmen.

Die Kraftübertragung von dem Wasserrade nach den angeschlossenen Maschinen geschieht durch einen Zahnkranz, der entweder als besonderes Zahnrad ausgebildet und für sich auf der Nabe befestigt ist, oder aber direkt den Radkranz umschließt, wie dies schon Fig. 26 zeigte.

Das Material der Welle ist Schmiedeeisen oder Stahl. Steife Arme werden aus Schmiedeeisen, Gußeisen oder Holz hergestellt und an der Nabe durch Rosetten befestigt.

Der Radkranz besteht aus Holz, Schmiedeeisen oder Gußeisen; die Schaufeln werden aus Holz oder Eisen fabriziert. Der Radboden (Zellenboden) besteht immer aus Holz, selbst bei eisernen Schaufeln.

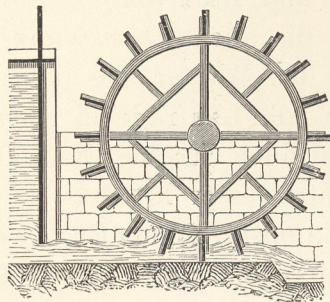


Fig. 33. Unterschlächtiges Wasserrad im Schnurgerinne.

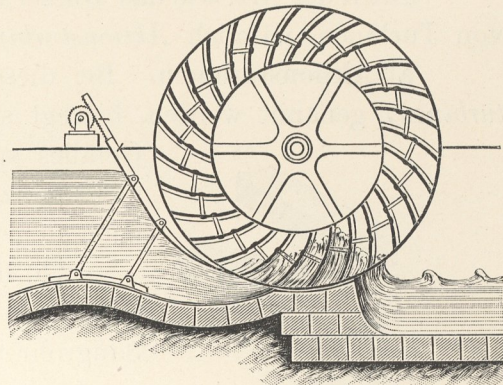


Fig. 34. Ponceletrad.

III. Turbinen.

Früher unterschied man *vertikale Wasserräder* (mit horizontaler Welle), wie sie im voranstehenden Abschnitt besprochen sind, von den *Turbinen*, die als *horizontale Wasserräder* (mit vertikaler Welle) bezeichnet wurden. Aber seitdem auch vertikale Turbinen nicht nur gebaut werden, sondern sogar sehr verbreitet sind, kann dieser Unterschied nicht mehr als bezeichnend gelten. Dagegen liegt der grundlegende Unterschied in der Art, wie das Wasser zur Wirkung gelangt.

In den Turbinen wirkt das Wasser weder durch sein Gewicht noch durch Stoß auf die Schaufeln, sondern *durch allmähliche Abgabe seines Arbeitsvermögens durch Geschwindigkeits- und Richtungsänderung*.

Ein wesentliches Merkmal ist ferner, daß das Wasser den Turbinen durch einen besonderen Leitapparat zwangläufig zugeführt wird. Auch tritt das Wasser nicht an der gleichen Stelle in die Schaufeln ein und wieder aus, wie bei den gewöhnlichen Wasserrädern, sondern durchfließt die Schaufeln in ununterbrochenem Strahl und verläßt sie derart, daß Einströmung und Ausfluß getrennt sind. Die Schaufeln des Turbinenlaufes sind eigenartig geformt, und der feststehende Leitapparat ist ebenfalls mit Schaufeln ausgestattet. Bei vielen Turbinen bildet der Leitapparat ein vollständiges Rad und verteilt das Wasser durch seine Schaufeln so, daß gleichzeitig sämtliche Schaufeln des Laufrades vom Wasser getroffen werden. Auch dies ist ein grundsätzlicher Unterschied von den Wasserrädern, bei denen ja immer nur ein kleiner Teil des Radumfangs und der Schaufeln unter den Einfluß des Wassers gelangt.

Die Grenzen zwischen den Wasserrädern und den Turbinen lassen sich nicht scharf ziehen. Rein äußerlich versteht man unter „Turbine“ die schnell laufende, in weiten Grenzen regulierbare oder aber sich automatisch regulierende Wasserkraftmaschine, während als Wasserrad das schwere, sich langsam drehende Schaufelrad bezeichnet wird.

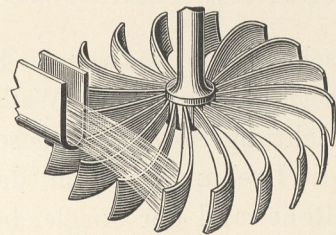


Fig. 35. Stoßrad.

Gewissermaßen den Übergang zwischen Wasserrad und Turbine bildet das sogenannte *Löffelrad* oder *Stoßrad* (Fig. 35), auch *Kufenrad* und *Bordasche Turbine* genannt. Es ist dies ein sehr schnell rotierendes Strahlrad, das man früher zur Ausnutzung großer Gefälle häufig verwendete, das aber einen sehr geringen Nutzeffekt, nämlich nur 0,30—0,35, hat.

Das Prinzip der Turbinen erfordert es, dem Wasser seine nutzbare Geschwindigkeit möglichst ohne Stoß zu entziehen. Deshalb müssen die Schaufeln so geformt werden, daß der auftreffende Wasserstrahl ganz allmählich und ohne Stoß aus seiner Richtung abgelenkt wird und trotzdem seine volle Wirkung auf die Schaufeln überträgt.

1. Einteilung der Turbinen.

Nach der Art, wie das Wasser zur Wirkung gelangt, unterscheidet man zwei große Gruppen von Turbinen, nämlich *Aktionsturbinen* und *Reaktionsturbinen*.

a) **Aktionsturbinen.** Bei diesen, die auch *Druckturbinen* und *Strahlurbinen* (*Freistrahlturbinen*) genannt werden, bewegt sich das Wasser, das dabei unter dem einfachen Druck des Gefälles steht, im Laufrade in einem freien, also die Laufradkanäle nicht ganz füllenden Strahle. Es findet somit auch ein freier Ausfluß nach dem Unterwasser hin statt.

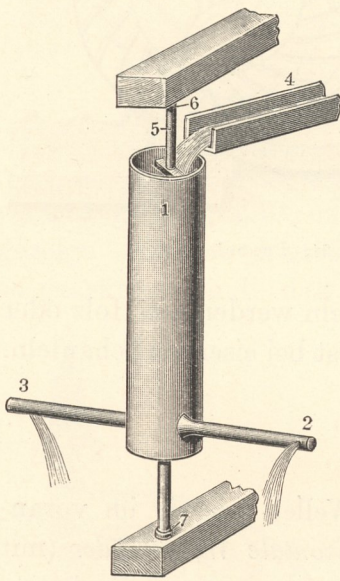


Fig. 36. Segners Reaktionsrad.

b) **Reaktionsturbinen** (*Überdruckturbinen*). Bei ihnen ist zwischen Ober- und Unterwasser eine aus Druckrohr, Leitapparat, Laufrad und Saugrohr bestehende, zusammenhängende Leitung vorhanden, so daß ein freier Fall des Wassers nicht stattfindet. Die Laufradkanäle sind also vollständig gefüllt, und weil infolge der Verengung der Laufradkanäle nach der Seite des Wasseraustrittes zu das Wasser sich nur mit einer geringeren Geschwindigkeit fortbewegen kann, steht es unter einer höheren *hydraulischen Pressung*. Dieser *Überdruck* leistet in dieser Art von Turbine die Arbeit, indem er erst innerhalb des Laufrades wieder in Bewegung umgewandelt wird. Die Wirkung ist dieselbe wie bei dem bekannten *Segnerschen Reaktionsrad* (Fig. 36). Dieses besteht aus dem senkrecht stehenden Hohlzylinder 1 mit zwei horizontalen, an den Enden geschlossenen Rohrschenkeln 2 und 3, die seitlich (und einander entgegengesetzt) mit Öffnungen versehen sind. Das aus der Rinne 4 in den Zylinder fließende Wasser strömt bei 2 und 3 aus und versetzt den mit seiner Welle 5 in 6 und 7 drehbar gelagerten Zylinder 1 in Umdrehung. Die Drehungsrichtung ist entgegengesetzt zur Richtung der ausfließenden Wasserstrahlen. Hervorgerufen wird die Drehung dadurch, daß dem Wasserdruck im Rohrrinnern an der der Öffnung entgegengesetzten Rohrwand der ausgleichende Widerstand auf der gegenüberliegenden Seite fehlt.

c) **Grenzturbinen.** Unter dieser Bezeichnung versteht man Turbinen, die auf der Grenze zwischen Aktions- und Reaktionsturbinen liegen. Sie unterscheiden sich von den Aktionsturbinen dadurch, daß der Wasserstrahl die Laufradkanäle (deren Weite an der Austrittsseite entsprechend gewählt wird) ganz ausfüllt, ohne an seiner freien Entwicklung gehemmt zu werden. Von den Reaktionsturbinen unterscheiden sich die Grenzturbinen dadurch, daß sie ohne Überdruck arbeiten. Während die Aktionsturbinen nicht im Unterwasser laufen dürfen, ohne im Nutzeffekt stark beeinträchtigt zu werden, ist dies bei den Grenzturbinen gleichgültig. —

Eine andere Einteilung der Turbinen geht von dem Weg aus, den das Wasser in der Turbine zurückzulegen hat. Hiernach unterscheidet man *Axial-*, *Radial-* und *Diagonalturbinen*.

a) **Axialturbinen.** Das Wasser tritt durch einen Ringspalt ein und durchströmt die Schaufeln in der Richtung der Turbinenachse. Es verfolgt also, ein horizontales Rad vorausgesetzt, seinen natürlichen Weg von oben nach unten, in Ausnahmefällen auch von unten nach oben.

b) **Radialturbinen.** Das Wasser wird so zugeführt, daß es die Schaufeln radial durchfließen muß. Es tritt also in einer zur Turbinenachse senkrechten Ebene schräg radial durch einen

Zylinderspalt in das Rad ein und durchströmt dieses entweder von außen nach innen oder von innen nach außen. In beiden Fällen wird das Wasser um 90° von seinem Wege abgelenkt.

c) **Diagonalturbinen (Kegelturbinen)**. Diese, bei denen der Wasserweg schräg zwischen radial und axial liegt, haben keine Bedeutung erlangt.

Weiter kann man die Turbinen nach dem *Wasseraufschlage (Beaufschlagung)* einteilen in *Voll-* und *Partialturbinen*.

a) **Vollturbinen**. Das Laufrad ist ringsherum mit Leitschaufeln besetzt, so daß sämtliche Schaufeln des Laufrades gleichzeitig „beaufschlagt“ (vom Wasser getroffen) werden.

b) **Partialturbinen**. Die Leitschaufeln nehmen nur einen Teil des Radumfangs ein, so daß die Laufradschaufeln auch nur zum Teil („partial“) beaufschlagt werden. Die partielle Beaufschlagung ist nur bei Aktionsturbinen durchführbar; sie kann bei Voll-Aktionsturbinen durch Absperrung eines Teiles der Schaufeln ebenfalls erreicht werden, jedoch besteht bei den Partialturbinen meistens der Leitapparat überhaupt nicht aus einem vollen Rade, sondern nur aus einigen Leitkanälen. Bei sehr hohen Gefällen kann die partielle Beaufschlagung bis auf einen einzigen Leitkanal hinabgehen.

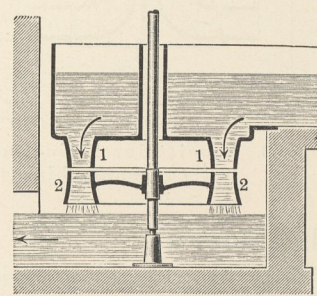


Fig. 37. Axiale Aktionsturbine (Schnitt).

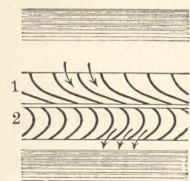


Fig. 38. Idealer Schnitt durch die Mitte der Wasserwege zur Erklärung der Schaufelkrümmungen im Leitrad und Laufrad.

Endlich ist noch eine Einteilung der Turbinen nach der Gefällhöhe möglich, und man unterscheidet

- a) **Niederdruckturbinen**, für Gefälle bis 4 m, und
- b) **Hochdruckturbinen**, für Gefälle über 4 m.

Um das Wasser sicherer zu leiten, kann man die Eintrittsbreite teilen und erhält auf diese Weise einerseits *mehrkränzige Axialturbinen* und andererseits *mehretagige Radialturbinen*.

2. Hauptteile der Turbinen.

Die wichtigsten Teile jeder Turbine sind *Leitapparat* und *Laufrad*; dazu kommen noch die *Welle*, die *Lager* und die *Regulier- vorrichtungen*.

Der *Leitapparat*, durch den dem Wasser ein bestimmter Weg zum Laufrade hin vorgeschrieben wird, ist ein gußeiserner Körper, der entweder feste Schaufeln enthält oder mit beweglichen Leitschaufeln ausgestattet ist oder endlich einen oder mehrere Leitkanäle aufweist, die mittels eines Zungenschiebers oder Kniestückes geschlossen werden können.

Das *Laufrad* besteht aus Gußeisen oder Bronze und enthält entweder Schaufeln aus demselben Material oder aber eingegossene Stahlblechschaufeln.

Die *Welle* ist entweder massiv und besteht dann aus Gußstahl, oder sie ist hohl aus Gußeisen, mit *Tragstange*.

An *Lagern* bedarf das Laufrad, falls es *horizontale Lage* hat, eines *Spurlagers (Fußlagers)*, das eine Vorrichtung besitzt, um den Spielraum zwischen Leitrad und Laufrad zu regeln. Vertikale Laufräder, also mit *horizontaler Welle*, bedürfen mindestens zweier *Traglager*; bei längeren Wellen sind gegen Durchbiegungen noch *Zwischenlager* anzuordnen.

3. Turbinensysteme.

Im folgenden seien die wichtigsten *Turbinensysteme* besprochen, unter Hervorhebung derjenigen Konstruktionen, die augenblicklich praktische Bedeutung haben.

Aktionsturbinen. Bei diesen (Fig. 37) gelangt das Wasser durch die kreisförmig angeordneten

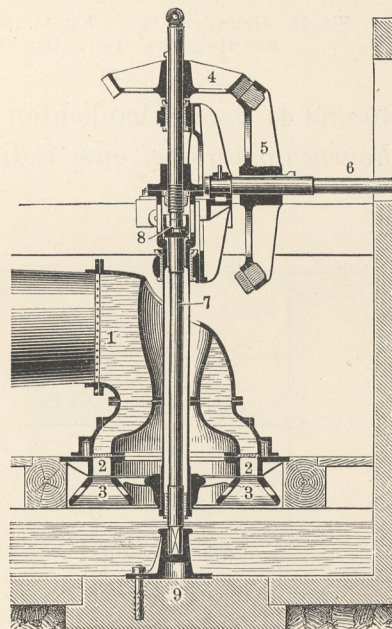


Fig. 39. Girard-Axialturbine.

Zellen des feststehenden Leitrades 1 in die entgegengesetzt gekrümmten Schaufelzellen des Laufrades 2 und versetzt dieses in Umdrehung. Fig. 38 läßt die entgegengesetzte Krümmung der Schaufelzellen im Leitrad 1 und Laufrade 2 erkennen. Aus dem Laufrade ergießt sich das

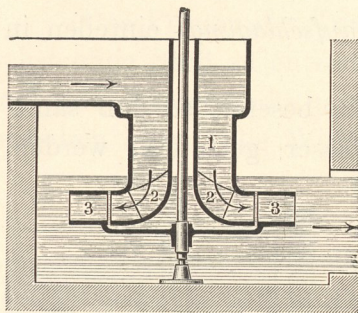


Fig. 40. Schnitt durch eine radiale Reaktionsturbine mit Innenaufschlag (Founeyronturbine).

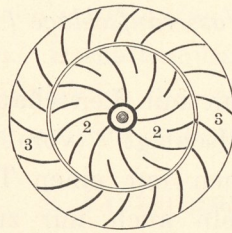


Fig. 41. Grundriß zu Fig. 40.

Wasser in freien Strahlen ins Unterwasser. Die Aktionsturbine muß so hoch aufgestellt werden, daß ihr Laufrad nicht im Unterwasser schleift, weil sonst der Nutzeffekt erheblich sinkt. Deshalb sind derartige Turbinen nicht für einen wechselnden Unterwasserstand geeignet.

Girard-Vollturbine. Diese früher verbreitete, jetzt allerdings auch schon überwundene Konstruktion (Fig. 39) ist eine axiale Aktionsturbine. Das Wasser im Rohr 1 steht unter dem Druck des Gefälles und strömt durch die Zellen des

Leitrades 2 gegen die gekrümmten Schaufeln 3 des Laufrades. Dieses sitzt auf einer hohlen Welle, die um eine freistehende Tragstange 7 rotiert und mittels der konischen Räder 4 und 5 die Welle 6 antreibt. Das Gewicht des Laufrades (mit dem darauf lastenden Wasser) sowie der Welle und des Zahnrades 4 wird in 8 durch den Oberwasserzapfen auf die Tragstange 7 übertragen, die in der gußeisernen Grundplatte 9 fest angeordnet ist. Das untere Ende der hohlen Turbinenwelle ist in einem die Tragstange umschließenden Lager geführt, während eine am oberen Ende angeordnete Schraubenspindel dazu dient, das Laufrad höher oder tiefer zu stellen, also die Weite des Spaltes zwischen Leit- und Laufrad zu regeln.

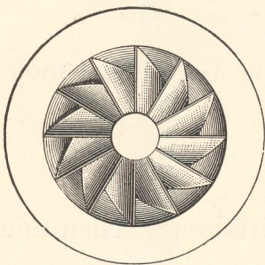


Fig. 42. Grundriß

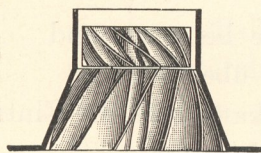


Fig. 43. Querschnitt der Henschel Jonvalturbine.

Reaktionsturbinen wirken in der durch die Figuren 40 und 41 veranschaulichten Weise, und zwar handelt es sich in dem gezeichneten Schema um die *Founeyronturbine*, eine radiale Reaktionsturbine mit innerer Beaufschlagung. Zwischen Ober- und Unterwasser besteht durch das Druckrohr 1 eine geschlossene Leitung. 2 ist der Leitapparat; das Laufrad 3 rotiert im Unterwasser ohne Beeinträchtigung des Nutzeffekts, was ein besonderer Vorzug aller Reaktionsturbinen ist.

Reaktionsturbinen wirken in der durch die Figuren

40 und 41 veranschaulichten Weise, und zwar handelt es sich in dem gezeichneten Schema um die *Founeyronturbine*, eine radiale Reaktionsturbine mit innerer Beaufschlagung. Zwischen Ober-

und Unterwasser besteht durch das Druckrohr 1 eine geschlossene Leitung. 2 ist der Leitapparat; das Laufrad 3 rotiert im Unterwasser ohne Beeinträchtigung des Nutzeffekts, was ein besonderer Vorzug aller Reaktionsturbinen ist.

Henschel-Jonvalturbine. Bei dieser axialen Reaktionsturbine sind Leit- und Laufrad durch schraubenförmig gekrümmte Schaufeln in Zellen geteilt (Fig. 42 und 43), wobei natürlich wieder die Richtung der Schaufeln im Laufrad derjenigen im Leitrad entgegengesetzt ist. Fig. 44 zeigt einen Schnitt durch eine Henschel-Jonvalturbine für kleinere Gefälle. Das Leitrad 1 ist über dem Laufrade 2 angeordnet; letzteres sitzt auf der Turbinenwelle 3. Diese stützt sich mit ihrem Spurzapfen auf eine in das Abflußrohr 6 eingebaute Querstange 4 und hängt drehbar im Oberwasserzapfen 5. Das Wasser gelangt, nachdem es Leit- und Laufrad passiert hat, durch das Abflußrohr (*Saugrohr*) 6 in das Unterwasser. Das Saugrohr ist zur Abstellung und Regelung der Turbine unten

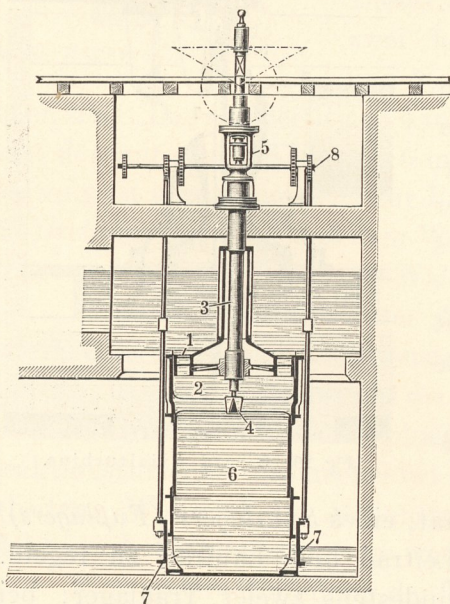


Fig. 44. Henschel-Jonvalturbine.

mit einer sogenannten Ringschütze 7 versehen, d. h. einem den Umfang des Saugrohres umgebenden Ring, der durch Stangen 8 und Windwerk gehoben und gesenkt werden kann, wonach sich die Abflußmöglichkeit vom Saugrohr nach dem Unterwasser richtet.

Jonvalturbinen können ebenso wie Founeyronturbinen auch so ausgeführt werden, daß das Wasser von unten zugeführt wird und oben abströmt. In diesem Falle liegt natürlich das

Leitrad unten und das Laufrad oben, und zwar letzteres gewöhnlich in der Höhe des Unterwasserspiegels, während das Zuführungsrohr weiter abwärts geführt werden muß.

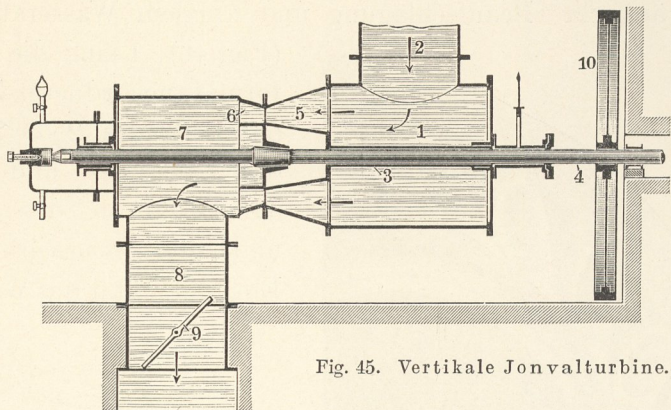


Fig. 45. Vertikale Jonvalturbine.

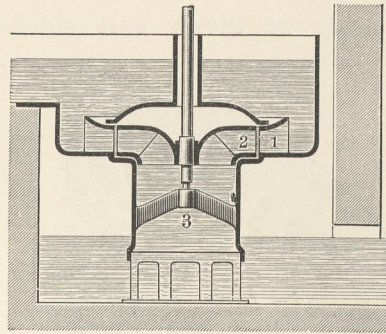


Fig. 46. Schnitt durch eine Francisturbine mit Saugrohr.

Weiter lassen sich Jonvalturbinen auch als vertikale Turbinen ausführen, also mit waagrecht gelagerter Welle (Fig. 45). Das Wasser fließt dem Turbinenkessel 1 durch Rohr 2 zu.

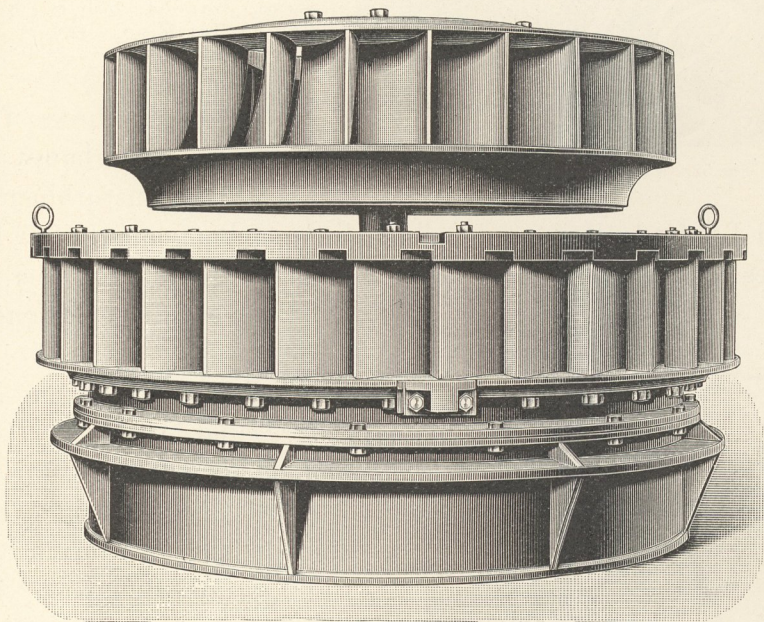


Fig. 47. Leitapparat und Laufrad einer Francisturbine von Ganz & Co., Budapest.

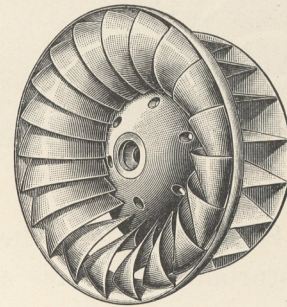


Fig. 48. Laufrad einer Francisturbine. Unterseite - Vorderansicht, Schnellläuferrad von Briegleb, Hansen & Co.

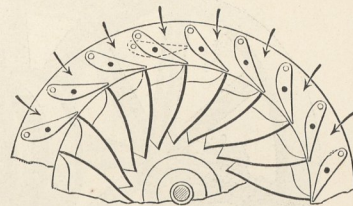


Fig. 49. Francisturbine mit Regulierung durch drehbare Leitschaufeln nach Fink.

1 ist nach außen mit einem Deckel abgeschlossen, durch dessen Stopfbüchse die Turbinenwelle 4 hindurchgeht. Das Wasser gelangt durch das Leitrad 5 in das Laufrad 6 und strömt durch den Kessel 7 und das Rohr 8 ab. Auch durch Kessel 7, der ebenfalls mittels Deckels abgeschlossen ist, reicht die Turbinenwelle 4 hindurch. Damit kein Wasser zwischen Kranz und Nabe des Leitrades 5 austreten kann, ist die Welle innerhalb des

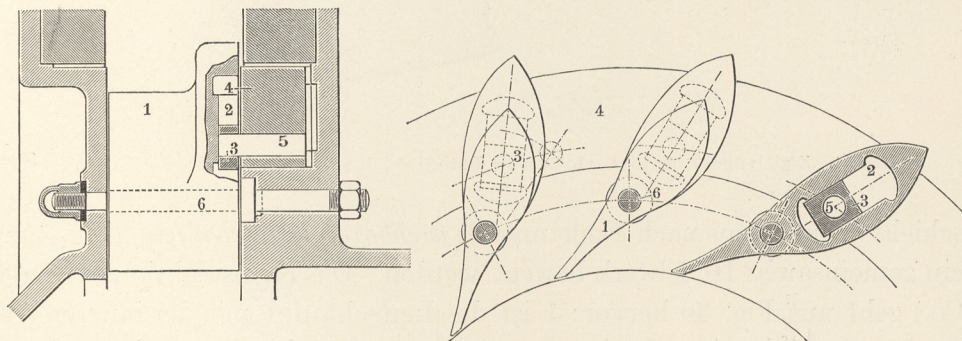


Fig. 50. Drehschaufelkonstruktion.

Kessels 1 von einer Schutzhülse 3 umgeben. Im Abflußrohr 8 ist eine Drosselklappe 9 angeordnet, durch deren Stellung der Wasserzufluß geregelt wird. Die auf die Turbinenwelle 4 aufgekeilte Riemenscheibe 10 dient zur Kraftübertragung. — Die große Einfachheit und leichte Zugänglichkeit

der Jonvalturbine hat dieser Konstruktion eine große Verbreitung verschafft; trotzdem ist sie neuerdings durch die Francisturbine zurückgedrängt worden.

Francisturbine. Diese ist, wie die Fourneyronturbine, eine radiale Reaktionsturbine, jedoch im Gegensatz zu dieser eine solche mit äußerer Beaufschlagung und axialem Wasseraustritt

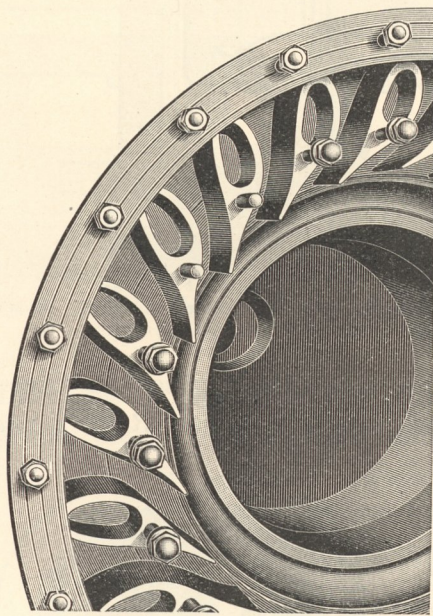


Fig. 51. Drehschaufeln, offen.

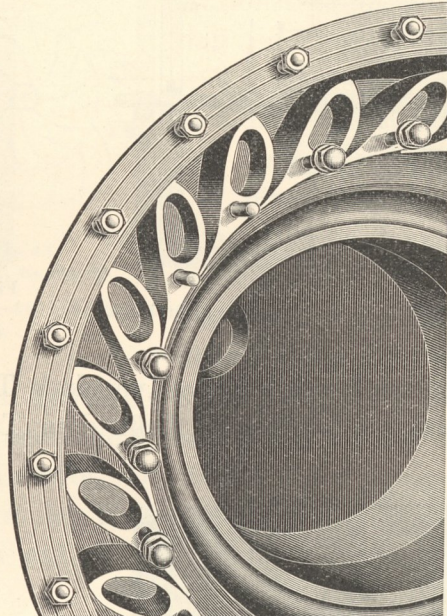


Fig. 52. Drehschaufeln, geschlossen.

(Fig. 46): 1 sind die kreisförmig angeordneten Zellen des Leitrades, 2 die Zellen des Laufrades, und 3 ist das Saugrohr, das Ober- und Unterwasser verbindet. Ein freier Fall des Wassers

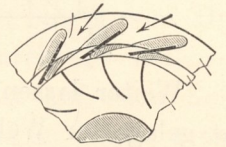


Fig. 53. Francisturbine mit Regulierung durch zwischengelegten Schaufelring nach Zedel.

findet also in dieser Turbine, wie überhaupt in allen Reaktionsturbinen, an keiner Stelle statt, und die Leit- und Laufradzellen sind vollständig mit Wasser gefüllt. Die Francisturbine wurde bis zu Ende des verflossenen Jahrhunderts wenig beachtet, ist aber in-

zwischen an die erste Stelle gerückt.

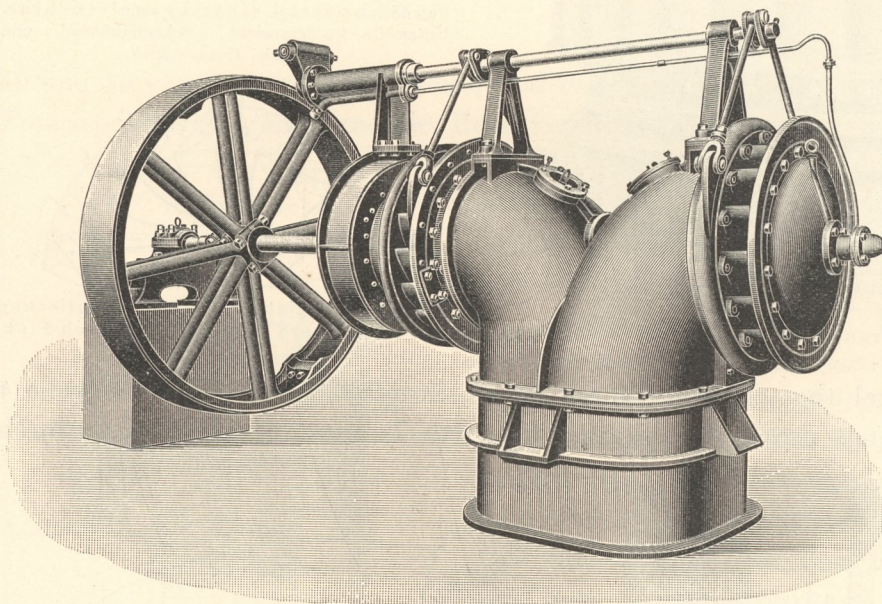


Fig. 54. Zwillings-Francisturbine von Briegleb, Hansen & Co., Gotha.

Fig. 47 zeigt oben das Laufrad und darunter den Leitapparat einer Francisturbine von 210 Pferdestärken Leistung, in der Ausführung von Ganz & Co., Budapest. Die Laufräder erhalten verschiedene Schauffelformen, je nach der gewünschten Umdrehungsgeschwindigkeit. So stellt Fig. 48 ein Schnellläuferrad (Bauart Briegleb, Hansen & Co., Gotha) dar.

Sehr wichtig ist die weitgehende Regulierbarkeit der Francisturbine, und zwar ge-

schieht sie meistens nach Fink mittels drehbarer Leitschaufeln (Fig. 49), die alle gleichzeitig durch ein gemeinsames Hebelwerk bewegt werden. Die Konstruktion der Drehschaufeln (Bauart Ganz & Co.) geht aus Fig. 50 hervor: 1 ist die Leitschaufel mit der inneren Aushöhlung 2, in welcher der Backen 3 geführt ist. In den gemeinsamen Regulierring 4 sind Stifte 5 eingesetzt, auf denen die Leitschaufeln mit Hilfe der Backen 3 gelagert sind, während den Drehpunkt der Leitschaufeln der fixierte Bolzen 6 bildet. Durch die Bewegung des Regulierringes drehen sich sämtliche Leitschaufeln, bis sie in die Schlußstellung gelangen. Fig. 51 zeigt die Drehschaufeln des Leitrades einer Francisturbine offen, Fig. 52 geschlossen.

Eine andere Art der Regulierung bei Francisturbinen besteht in einer Anordnung von Zodel (Fig. 53): zwischen Leitrad und Laufrad ist ein mit feststehenden Schaufeln versehener Ring angeordnet, der je nach der Stellung seiner Schaufeln zu denen des Leitrades eine weitere oder engere Öffnung der Kanäle bewirkt. Zur Herstellung einer guten Wasserführung gehen dünne Stahlzungen von den Leitradschaukeln aus durch die Öffnungen des Regulierendes hindurch bis dicht an die Schaufeln des Laufrades. — Außerdem benutzt man zur Regelung der Reaktions-turbinen das Mittel, eine Reihe aufeinanderfolgender Leitkanäle durch Schieber abzusperren.

Der Nutzeffekt der Francisturbine beträgt mindestens 80 Proz. und reicht bis 86 Proz. hinauf. Von diesem günstigen Wirkungsgrad geht auch bei kleinerer Beaufschlagung nicht viel verloren; so sinkt der Nutzeffekt z. B. bei halber Wassermenge auf 79 Proz., beträgt bei 0,4 Beaufschlagung noch 75 Proz. und bei 0,3 noch 70 Proz. Die Francisturbine ist unempfindlicher als alle anderen Turbinenarten gegen Höhenänderungen des Wasser-spiegels; gewöhnlich setzt man sie so hoch wie möglich über das Unterwasser, damit die Turbine jederzeit leicht nachgesehen werden kann.

Als Horizontalturbine, also mit stehender Welle, wird die Francisturbine für Gefälle von 0,75—5 m gebaut. Darüber hinaus konstruiert man sie als Vertikalturbine, und dies ist überhaupt

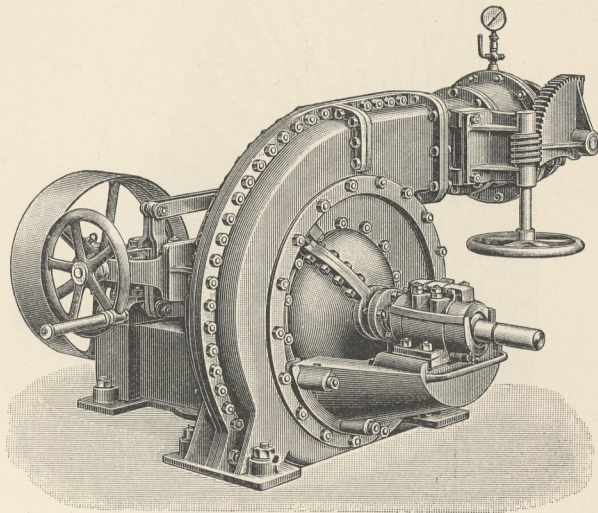


Fig. 55. Francisturbine mit Spiralgehäuse.

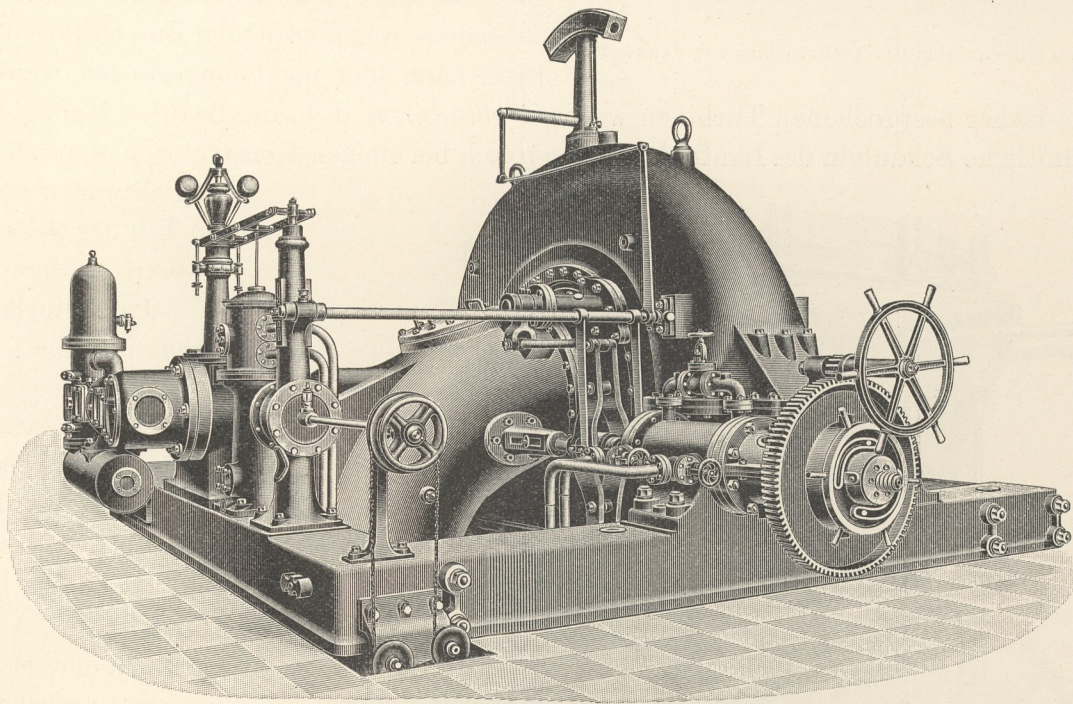


Fig. 56. 2200 PS-Spiral-Francisturbine von Ganz & Co.

die üblichste Anordnung für Francisturbinen. Fig. 54 zeigt eine Francisturbine in stehender Anordnung, wobei also das Saugrohr im rechten Winkel gekrümmt sein muß. Die dargestellte Turbine ist jedoch keine einfache, sondern eine *Zwillingsturbine*, die für den Einbau im offenen Schacht bestimmt ist; es sitzen dabei zwei Turbinen auf derselben Welle. Die sogenannten *Doppelturbinen* unterscheiden sich von den *Zwillingsturbinen* dadurch, daß sie zwar auch auf die gleiche Welle wirken, aber in zwei getrennten Schächten aufzustellen sind.

Spiralturbine. Wenn das Gefälle höher ist als 10 m und offene Turbinenschächte zu schwierig

in der Herstellung und zu teuer werden, umgibt man die Francisturbine mit einem Spiralgehäuse und macht sie dadurch zur *Spiralturbine*, die ebenfalls ein vertikales Laufrad hat. Fig. 55 zeigt

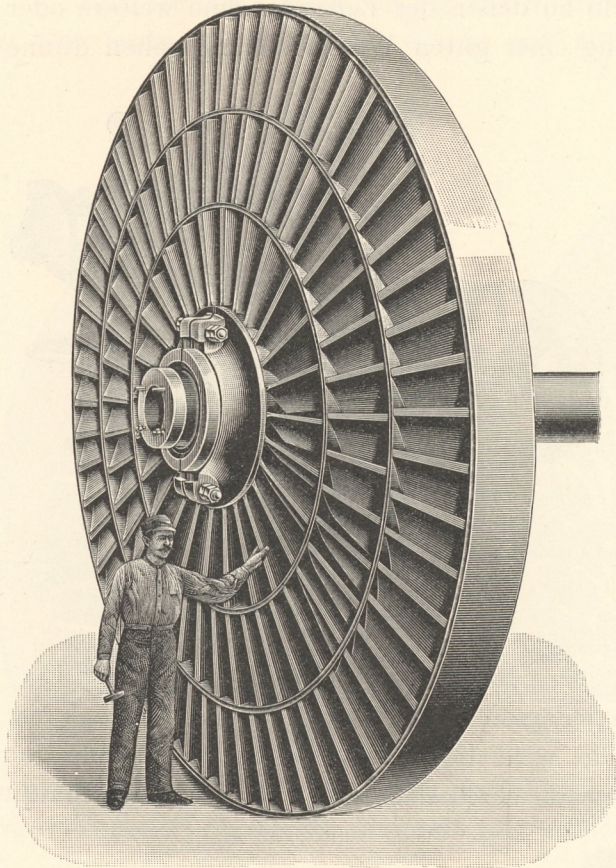


Fig. 57. Laufrad einer axialen Dreikranzturbine von Ganz & Co.

eine kleinere derartige Turbine, Fig. 56 eine große für 2200 Pferdestärken Leistung, wie sie von der Firma Ganz & Co. in Budapest für die Zentrale Morbegno gebaut worden ist. Letztere Figur zeigt auch die automatischen Reguliervorrichtungen, auf die wir noch zurückkommen.

Derartigen Hochdruck-Spiralturbinen wird das Wasser nicht mehr durch offene Kanäle, sondern durch geschlossene eiserne Rohrleitungen (vgl. Fig. 71, S. 35) zugeführt. — Alle Turbinen mit Druck- oder Saugrohr bezeichnet man als *Rohrturbinen*.

Vielfach werden *mehrkränzige* Turbinen benutzt; so zeigt Fig. 57 das Laufrad und Fig. 58 das Leitrad einer axialen Dreikranzturbine von Ganz & Co. Derartige mehrkränzige Turbinen eignen sich zur Ausnutzung großer Wassermengen bei kleinem Gefälle. So leistet die dargestellte Turbine bei 1,5 m Gefälle und 20 cbm Wasser in der Sekunde 300 Pferdestärken, und zwar bei nur 27 Umdrehungen in der Minute. Das Laufrad hat über 4 m Durchmesser. Auf die verschiedene Regulierung der drei Kränze dieser Turbine kann hier nicht eingegangen werden.

Alle bisher besprochenen Turbinen waren *Vollturbinen*, d. h. die Beaufschlagung erstreckte sich auf sämtliche Schaufeln des Laufrades, wengleich bei einigen Konstruktionen durch Regulier-

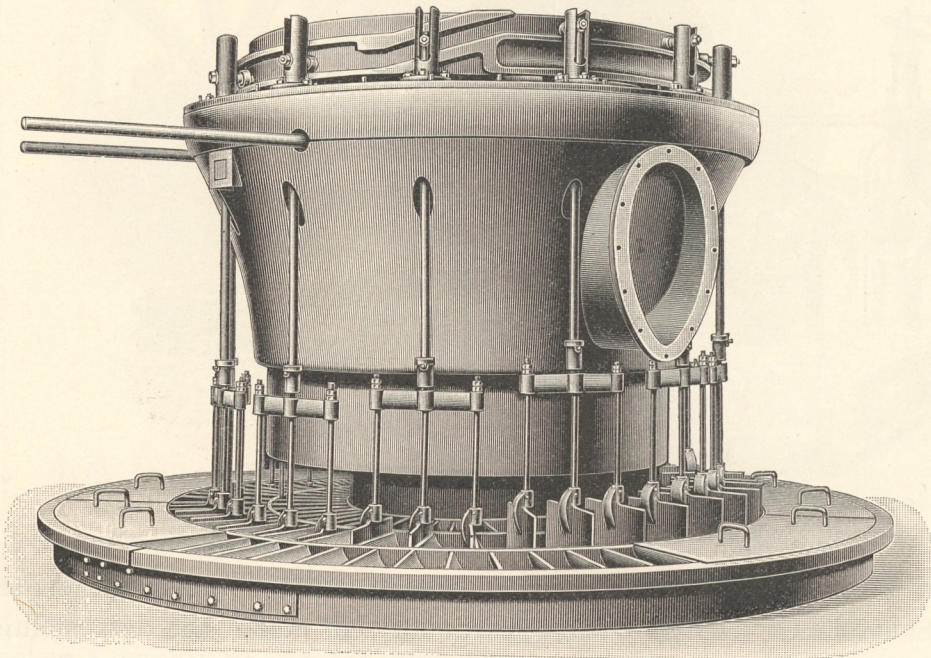


Fig. 58. Leitrad einer axialen Dreikranzturbine von Ganz & Co.

vorrichtungen nach Bedarf ein Teil der Schaufeln abgesperrt werden kann.

Partialturbinen im engeren Sinne sind horizontale oder vertikale Wasserräder, bei denen der Leitapparat überhaupt nur einen Teil des Laufrades beherrscht. Sämtliche Partialturbinen gehören zu den Aktionsturbinen, da eine geschlossene Leitung zwischen Ober- und Unterwasser nicht vorhanden ist.

großem vertikalem Rad; der ins Laufradinnere führende Leitapparat hat fünf Einlaßkanäle, die durch einen Schieber ganz oder teilweise abgesperrt werden können. Die Richtung des Wassers ist tangential zum Laufrade. Die Schaufeln des Laufrades erweitern sich nach der Austrittsseite

Schwamkrugturbine. Diese ist eine Partialturbine (Fig. 59 und 60) mit

hin, und um einen möglichst schnellen Austritt des Wassers herbeizuführen, sind in den Seitenwänden Luftöffnungen angeordnet. Die äußere Ansicht einer Schwamkrugturbine der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz gibt Fig. 61 wieder.

Zuppinger-Tangentialrad (Fig. 62 und 63). Bei dieser Partialturbine erfolgt der Wassereintritt ähnlich wie bei der Francisturbine durch einen tangential gestellten Leitapparat, und zwar besteht dieser entweder aus einem weiten Leitkanal (wie gezeichnet) oder aus mehreren engeren Leitkanälen, die durch einen Schieber ganz oder teilweise verdeckt werden können.

Endlich wird auch die *Girardturbine* vielfach als Partialturbine gebaut und findet als solche für viele Verhältnisse sogar vorzugsweise Verwendung.

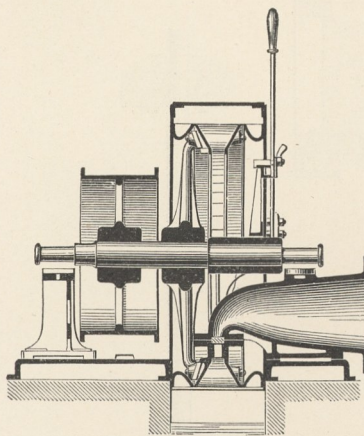


Fig. 59. Partialturbine nach Schwamkrug (Querschnitt).

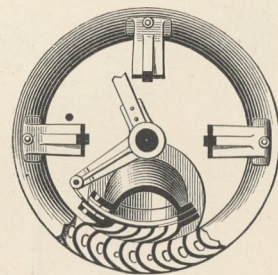


Fig. 60. Aufriß der Fig. 59.

Freistrahlturbinen. Eine eigenartige Stellung unter den Turbinen nimmt das *Peltonrad* ein, ja es gehört strenggenommen kaum vollständig zu den Turbinen, da es keine vom Wasser durchströmten Turbinenkanäle hat, sondern nur direkt beaufschlagte Schaufeln. Jedenfalls ist das Peltonrad, auch *Becherturbine* genannt, eine der wichtigsten Konstruktionen

geworden und behauptet unter der Bezeichnung *Freistrahlturbine* neben der Francisturbine siegreich das Feld. Für sehr hohe Gefälle wird es fast ausschließlich verwendet.

Das Peltonrad eignet sich namentlich für kleine Wassermengen bei hohem Gefälle, also für

Verhältnisse, unter denen alle sonstigen Turbinen einen ungünstigen Wirkungsgrad haben. Man kann das Peltonrad zu den Partialturbinen zählen, d. h. es ist eine Druckturbine mit äußerer Beaufschlagung, und zwar erstreckt sich die Beaufschlagung nur auf wenige Schaufeln. Die Anordnung zeigt Fig. 64: Der Radkörper, der eine wagerechte Welle hat, ist am Umfang mit eigenartig geformten Schaufeln besetzt, gegen die an der tiefsten Stelle des Radumfangs aus einer konischen Düse ein Wasserstrahl geleitet wird. Die Stärke des Wasserstrahls ist durch eine Regulierspindel verstellbar. Die Schaufelform ist aus Fig. 65 zu erkennen, d. h. jede Schaufel wird durch eine scharfe Mittelrippe in zwei Hohlräume („Becher“) geteilt. Die Mittelrippe der Schaufeln teilt den Wasserstrahl und lenkt ihn um nahezu 180° nach beiden Schaufelseiten hin ab (Fig. 66). Hierbei versetzt der auf die Schaufelwandung ausgeübte Druck das Rad in Rotation. Man kann also jedes Peltonrad gewissermaßen als Turbine mit doppeltem Laufkranz ansehen, wenn man jede Schaufelhälfte, also jeden Becher (auch „Trog“ genannt), für sich als annähernd kreisförmig verlaufende Laufradschaufel betrachtet. Die Schaufeln bestehen aus polierter Bronze, um die Reibung möglichst gering zu halten. Fig. 67 stellt ein doppeltes Peltonrad (Zwillingturbine) der Firma Escher, Wyß & Co., Zürich, dar, und zwar geöffnet, so daß die Anordnung der Räder wie der Düsen gut erkennbar ist. Die abgebildete

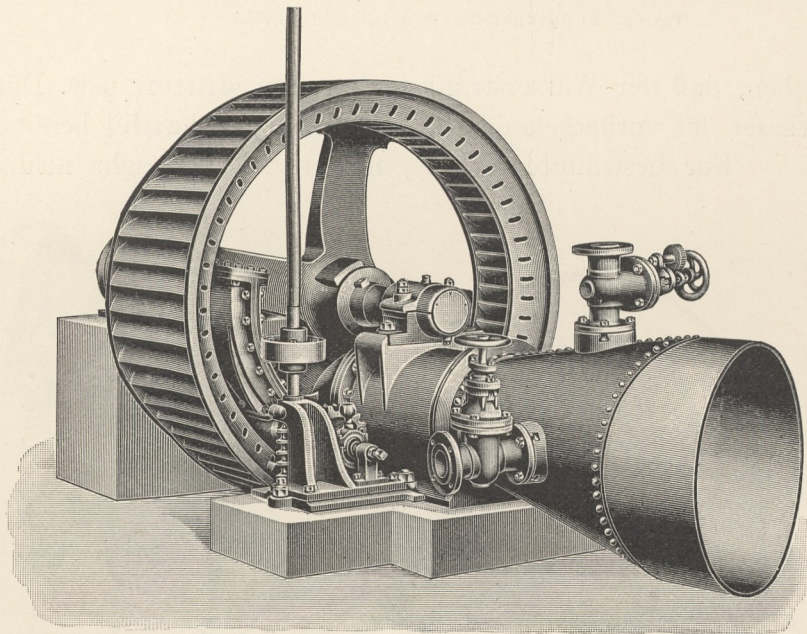


Fig. 61. Schwamkrugturbine der Maschinenfabrik Germania, Chemnitz.

Verhältnisse, unter denen alle sonstigen Turbinen einen ungünstigen Wirkungsgrad haben. Man kann das Peltonrad zu den Partialturbinen zählen, d. h. es ist eine Druckturbine mit äußerer Beaufschlagung, und zwar erstreckt sich die Beaufschlagung nur auf wenige Schaufeln. Die Anordnung zeigt Fig. 64: Der Radkörper, der eine wagerechte Welle hat, ist am Umfang mit eigenartig geformten Schaufeln besetzt, gegen die an der tiefsten Stelle des Radumfangs aus einer konischen Düse ein Wasserstrahl geleitet wird. Die Stärke des Wasserstrahls ist durch eine Regulierspindel verstellbar. Die Schaufelform ist aus Fig. 65 zu erkennen, d. h. jede Schaufel wird durch eine scharfe Mittelrippe in zwei Hohlräume („Becher“) geteilt. Die Mittelrippe der Schaufeln teilt den Wasserstrahl und lenkt ihn um nahezu 180° nach beiden Schaufelseiten hin ab (Fig. 66). Hierbei versetzt der auf die Schaufelwandung ausgeübte Druck das Rad in Rotation. Man kann also jedes Peltonrad gewissermaßen als Turbine mit doppeltem Laufkranz ansehen, wenn man jede Schaufelhälfte, also jeden Becher (auch „Trog“ genannt), für sich als annähernd kreisförmig verlaufende Laufradschaufel betrachtet. Die Schaufeln bestehen aus polierter Bronze, um die Reibung möglichst gering zu halten. Fig. 67 stellt ein doppeltes Peltonrad (Zwillingturbine) der Firma Escher, Wyß & Co., Zürich, dar, und zwar geöffnet, so daß die Anordnung der Räder wie der Düsen gut erkennbar ist. Die abgebildete

Doppel-Freistrahlturbine leistet 4600 Pferdestärken bei 130 m Gefälle. Eine geschlossene Freistrahlturbine mit Druckregulierapparat derselben Firma ist in Fig. 68 dargestellt.

Das Peltonrad läßt sich mit mehreren Wasserstrahlen betreiben, wenn ein einziger nicht ausreicht. So zeigt Fig. 69 den Schnitt einer *Hochdruck-Freistrahlturbine* von Briegleb, Hansen & Co., die mit zwei von demselben Druckrohr ausgehenden Düsen ausgestattet ist. Auch drei oder vier Düsen läßt man bei Bedarf von einem Rohr ausgehen, nur müssen die einzelnen Düsen so viel Abstand voneinander

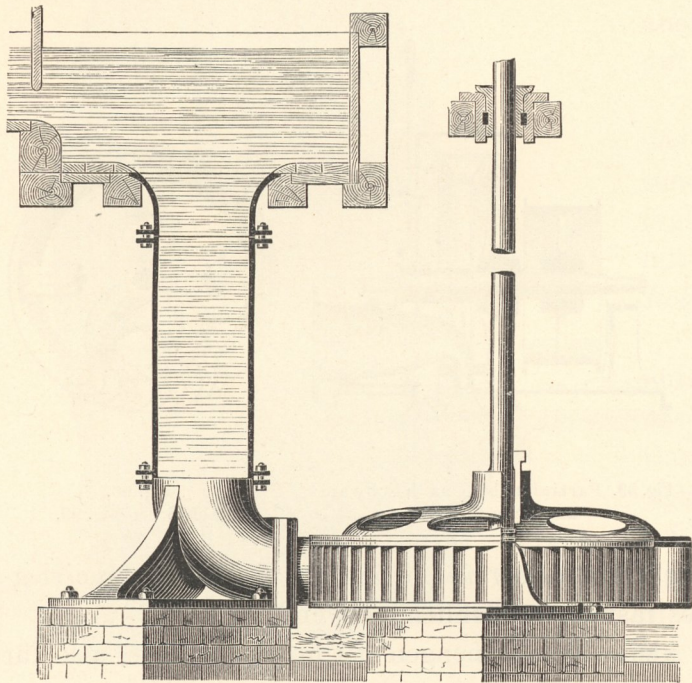


Fig. 62. Zuppinger-Tangentialrad (Aufriß).

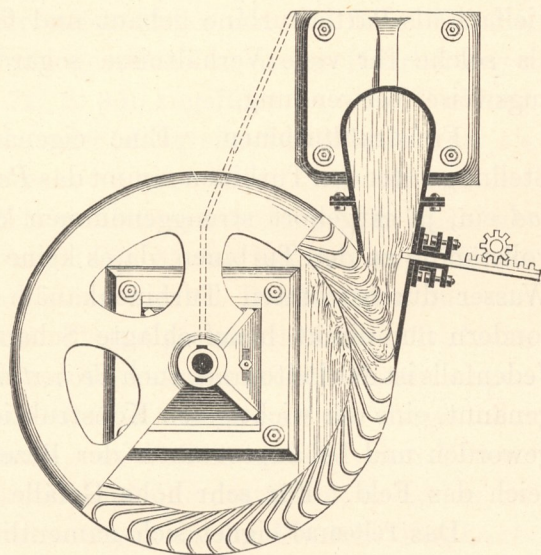


Fig. 63. Grundriß der Fig. 62.

haben, daß der Wasserstrahl der zweiten, dritten usw. Düse eine Schaufel erst trifft, wenn das Wasser der vorhergehenden Düse dieselbe Schaufel bereits wieder verlassen hat.

Für bestimmte Zwecke, namentlich für sehr niedrige Umdrehungszahlen, erhalten die

Freistrahlturbinen sehr große Durchmesser. So zeigt Fig. 70 eine Becherturbine von Ganz & Co. für 1600 Pferdestärken mit abgenommener Schutzhaube. Bei dieser für ein Walzwerk bestimmten Turbine ist, um Rädervorgelege zu vermeiden, das Schwungrad am Umfang direkt mit Bechern versehen. Das Rad hat 9 m Durchmesser und wiegt 90 000 kg; an Bechern sind 56 Stück auf dem äußeren Radkranz sattelartig befestigt. Die Rohrleitung hat 500 mm

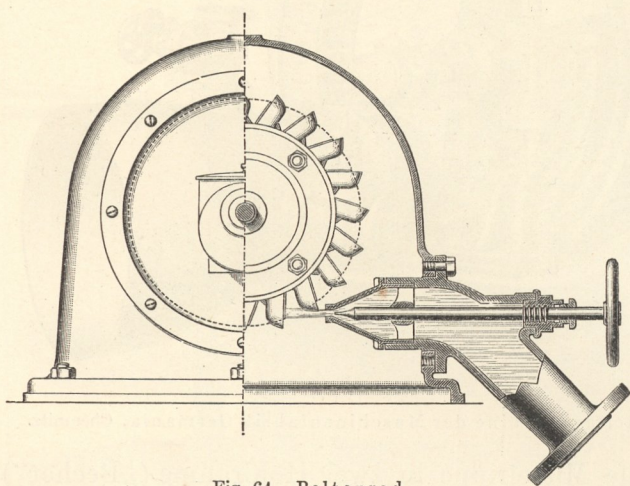


Fig. 64. Peltonrad.

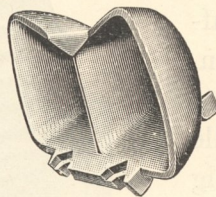


Fig. 65. Peltonbecher.

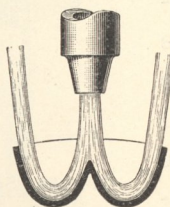


Fig. 66. Schaufel querschnitt.

Durchmesser; von ihr gehen vier Düsen von 60 mm Durchmesser aus.

Wie S. 30 erwähnt ist, muß man den Hochdruckturbinen das Wasser durch geschlossene Rohrleitungen zuführen. Derartige Rohre können oft eine gewaltige Länge erreichen. So zeigt Fig. 71 eine Ansicht der *Hochdruckleitungen*, welche Escher, Wyß & Co., Zürich, für die Kraftwerke Brusio in Campocologno (Graubünden) gebaut haben. Diese Kraftwerke entnehmen die Betriebskraft einem See und arbeiten mit 420 m Gefälle. Die Gesamtleistung beläuft sich auf 42 000 Pferdestärken, die teilweise durch Girard-Partialturbinen, teilweise durch Freistrahlräder

gewonnen werden. Die Druckrohre verbinden zwischen Hochreservoir und Maschinenhaus eine Strecke von 1086 m. Der lichte Durchmesser der flußeisernen Rohre bewegt sich zwischen 790 und 870 mm; die Wandstärke steigt, proportional zum Wasserdruck, von 6 auf 23 mm an.

Reguliorrichtungen haben den Zweck, bei geringeren abzugebenden Leistungen den

Wasserzufluß so weit herabzusetzen, daß die Umlaufzahl ungeändert bleibt. Zur Regelung der Aktionsturbinen sperrt man den Wassereintritt in die Leitkanäle mehr oder weniger ab, und zwar dienen dazu je nach dem axialen oder radialen Wassereintritt entweder flache oder zylindrische Schieber, Klappen oder Rollwände. Dagegen sind Drosselklappe, Einlauf- oder Auslaufschütze weniger vorteilhaft, namentlich für

Reaktionsturbinen, werden aber wegen ihrer Einfachheit bei reichlichem Betriebswasser dann angewendet, wenn es nicht auf äußerste Ausnutzung des Wassers ankommt. Für Reaktionsturbinen empfiehlt es sich, eine Reihe unmittelbar aufeinanderfolgender Leitkanäle durch Schieber abzusperren, die Schieberstangen dabei aus Gasrohr zu fertigen und durch dieses einen Luftzutritt zu ermöglichen.

Durch gleichmäßige Verkleinerung sämtlicher Lauf- und Leitradkanäle lassen sich Reaktionsturbinen nicht vollkommen richtig regeln. Annähernd erreicht man den Zweck durch Anwendung mehrerer Schaufelkränze (vgl. S. 30, Fig. 57 und 58), von denen dann jeweils die unbenutzten durch ringförmige Deckel geschlossen werden. Die Regelung der Francisturbinen mittels drehbarer Leitschaufeln oder mittels zwischengelegten Ringes ist S. 28 und 29 behandelt.

Sehr wichtig geworden ist neuerdings die *selbsttätige Regulierung* der Turbinen, die man durch Zentrifugalregulatoren (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen“) besorgen läßt. Da aber das Verstellen von Schützen, Leitschaufeln usw. erhebliche Kraft erfordert, kann der Zentrifugalregulator nicht unmittelbar diese Verstellung besorgen. Dies geschieht vielmehr durch einen

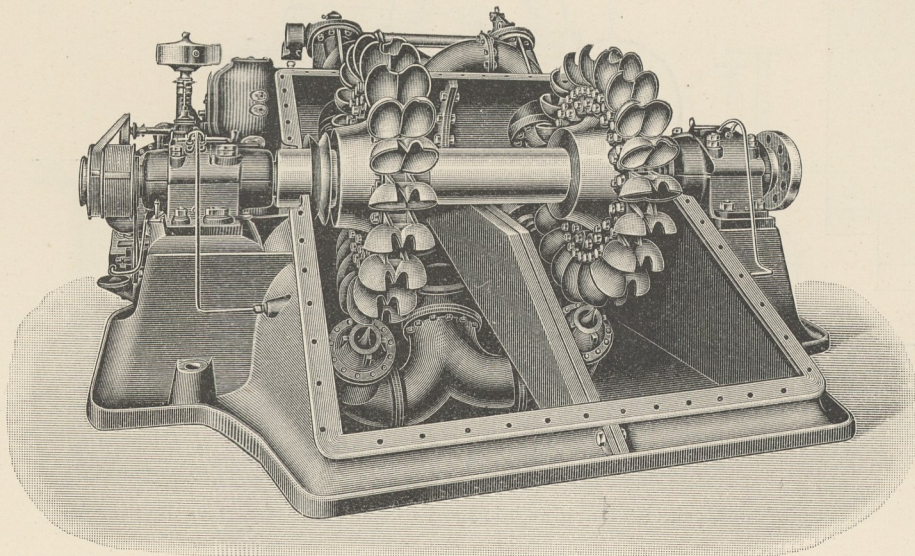


Fig. 67. Doppel-Freistrahlturbine von Escher, Wyß & Co., Zürich, geöffnet.

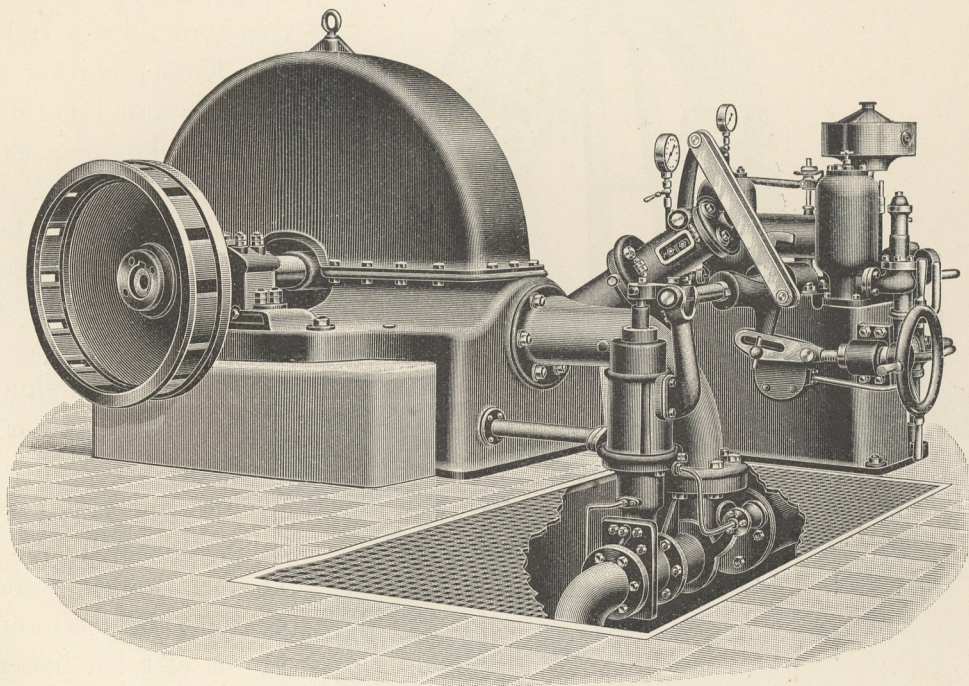


Fig. 68. Freistrahlturbine mit Druckregulierapparat von Escher, Wyß & Co., Zürich.

sogenannten *Servomotor* (Hilfsmotor), als welcher eine kleine Wassersäulenmaschine dient. Der Zentrifugalregulator hat dann nur die Aufgabe, den Servomotor zu steuern, und zwar wird der

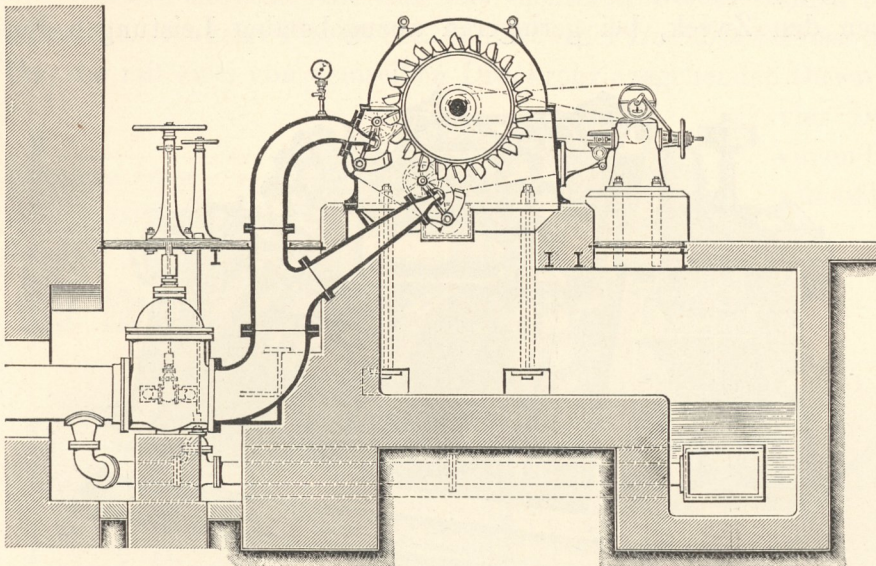


Fig. 69. Hochdruckfreistrahlturbine mit zwei Düsen von Briegleb, Hansen & Co.

durch den Regulator in Gang gesetzte Servomotor wieder abgestellt, sobald er die der Stellung des Regulators entsprechende Öffnung der Leit- zellen oder Schützen bewirkt hat. Die Wirkungsweise eines

hydraulisch-automatischen Turbinenreglers erklärt Fig. 72. Steigt die Umlaufzahl der Turbine über das ihrer Be- lastung entsprechende Maß, so hebt sich die Muffe 1 des Zentrifugalregulators 2 und dreht den Hebel 1, 3, 4 um 4. Der Hebel hebt den entlasteten Steuerkolbenschieber 5 des

Servomotors (Druckwassermotors), so daß Druckflüssigkeit in den hinteren Raum 6 seines Zylinders gelangt, dessen Kolben vorschiebt und die Regelwelle 7 so dreht, daß die Ausfluß- öffnungen des Leitrades der Turbine verengt werden. Mit der Regelwelle 7 dreht sich der Arm 8 und bewirkt die sogenannte Nach- oder Rückführung, indem er mittels der Stange 9 den Punkt 4 des Hebels 1, 3, 4 herabzieht, bis der Kolbenschieber 5 wieder in seine Mittel- stellung und damit der Hauptkolben zum Still- stande gekommen ist. Nun befinden sich die Gestängeteile 1, 3, 4 und 9, 8, 7 sowie die Drehschaufeln des Leitrades in derselben Stel- lung, als ob die Regelwelle 7 bei feststehendem Drehpunkte 3 direkt durch die Muffe 1 des Zentrifugalregulators 2 gedreht worden wäre. Sinkt die Umdrehungszahl der Turbine da- gegen unter das der Belastung entsprechende Maß, so geschieht die Rege- lung in gleicher Weise, aber in umgekehrtem Sinne. Das Ende 4 des Hebels 1, 3, 4 kann durch ein Handrad an der Stange 9 auf- und niedergeschraubt werden; in letzterem Falle wird der Servo- motor erst bei höherer Stellung der Muffe 1, also bei größerer Umdrehungszahl, abgestellt werden. Man kann mithin die Regelung auf bestimmte Umdrehungszahlen der Turbine ein- stellen. Ist bei größerem Durchmesser des Steuerkolbens dessen Reibung noch zu groß, um ihn direkt durch den Zentrifugalregulator

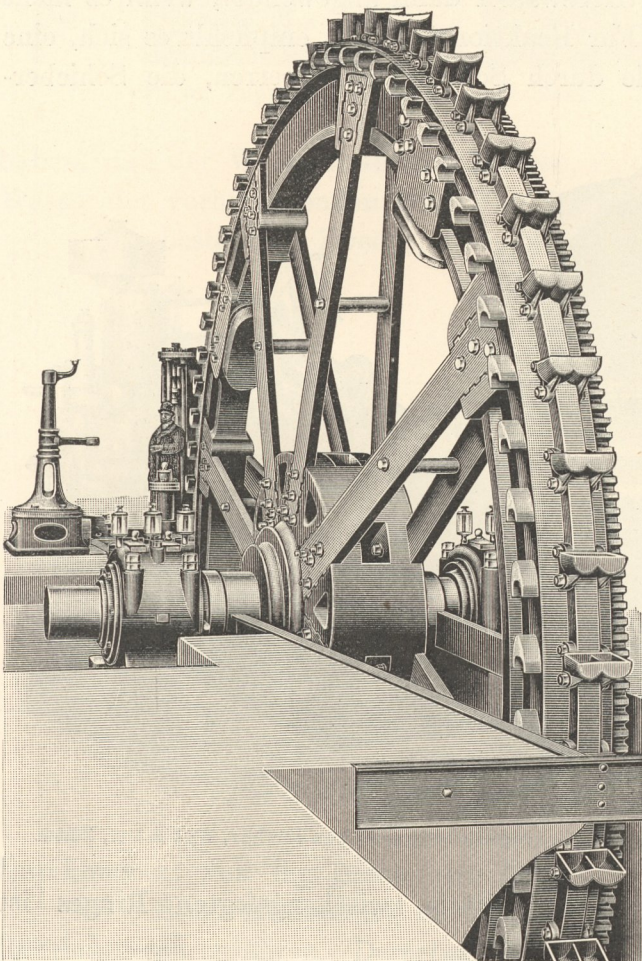


Fig. 70. 1600 PS-Becherturbine von Ganz & Co. bei abgenommener Schutzhaube.

bewegen zu lassen, so wird noch eine zweite, indirekte Steuerung eingeschaltet, indem man den Steuerschieber des Hauptkolbens durch einen zweiten Arbeitskolben bewegt und nur diesen

durch den Regulator in Gang gesetzte Servomotor wieder abgestellt, sobald er die der Stellung des Regulators entsprechende Öffnung der Leit- zellen oder Schützen bewirkt hat. Die Wirkungsweise eines hydraulisch-automatischen Turbinenreglers erklärt Fig. 72. Steigt die Umlaufzahl der Turbine über das ihrer Be- lastung entsprechende Maß, so hebt sich die Muffe 1 des Zentrifugalregulators 2 und dreht den Hebel 1, 3, 4 um 4. Der Hebel hebt den entlasteten Steuerkolbenschieber 5 des

Servomotors (Druckwassermotors), so daß Druckflüssigkeit in den hinteren Raum 6 seines Zylinders gelangt, dessen Kolben vorschiebt und die Regelwelle 7 so dreht, daß die Ausfluß- öffnungen des Leitrades der Turbine verengt werden. Mit der Regelwelle 7 dreht sich der Arm 8 und bewirkt die sogenannte Nach- oder Rückführung, indem er mittels der Stange 9 den Punkt 4 des Hebels 1, 3, 4 herabzieht, bis der Kolbenschieber 5 wieder in seine Mittel- stellung und damit der Hauptkolben zum Still- stande gekommen ist. Nun befinden sich die Gestängeteile 1, 3, 4 und 9, 8, 7 sowie die Drehschaufeln des Leitrades in derselben Stel- lung, als ob die Regelwelle 7 bei feststehendem Drehpunkte 3 direkt durch die Muffe 1 des Zentrifugalregulators 2 gedreht worden wäre. Sinkt die Umdrehungszahl der Turbine da- gegen unter das der Belastung entsprechende Maß, so geschieht die Rege- lung in gleicher Weise, aber in umgekehrtem Sinne. Das Ende 4 des Hebels 1, 3, 4 kann durch ein Handrad an der Stange 9 auf- und niedergeschraubt werden; in letzterem Falle wird der Servo- motor erst bei höherer Stellung der Muffe 1, also bei größerer Umdrehungszahl, abgestellt werden. Man kann mithin die Regelung auf bestimmte Umdrehungszahlen der Turbine ein- stellen. Ist bei größerem Durchmesser des Steuerkolbens dessen Reibung noch zu groß, um ihn direkt durch den Zentrifugalregulator

kleinen sogenannten Zwischenkolben vom Zentrifugalregulator steuern läßt. Derartige Regulatoren werden in sehr verschiedenen Ausführungsformen gebaut, teilweise übrigens auch nach anderen Grundsätzen. Einen hydraulisch-automatischen Turbinenregler von Ganz & Co. gibt Fig. 73 wieder. —

Wie schon erwähnt ist, beherrschen Francisturbinen und Freistrahlturbinen fast allein das Feld, wobei der Nutzeffekt mindestens 80 Proz. beträgt und nicht selten bis auf 90 Proz. steigt.

Alle Turbinen, die über dem Unterwasser ausgießen, also sämtliche Aktionsturbinen, müssen, um eine möglichst große Wirkung mit der verfügbaren Wassermenge zu ergeben, am Fuße des Gefälles aufgestellt werden. Dagegen kann bei Rohrturbinen das Laufrad in beliebiger Höhe zwischen Ober- und Unterwasser liegen. Dabei macht man aus praktischen Gründen allerdings bei den Rohrturbinen die Saughöhe der unteren Rohrhälfte — vom Spalt zwischen Leit- und Laufrad aus gemessen — stets kleiner als die Druckhöhe der oberen Rohrhälfte, um das Nachsaugen sowie Wirbel- und Trichterbildung zu verhüten, die den Nutzeffekt herabsetzen.

Turbinen eignen sich für Gefälle von 0,3 bis über 500 m und werden für Tausende von Pferdestärken gebaut. Ihnen ist die Möglichkeit zu danken, die gewaltigen Wasserkräfte auszunutzen. Allein an den Niagarafällen werden heute schon mehr als 300 000 Pferdestärken durch Turbinen nutzbar gemacht, und doch ist dies noch nicht ein Zwanzigstel der ganzen in diesen gewaltigen Wasserfällen stecken-

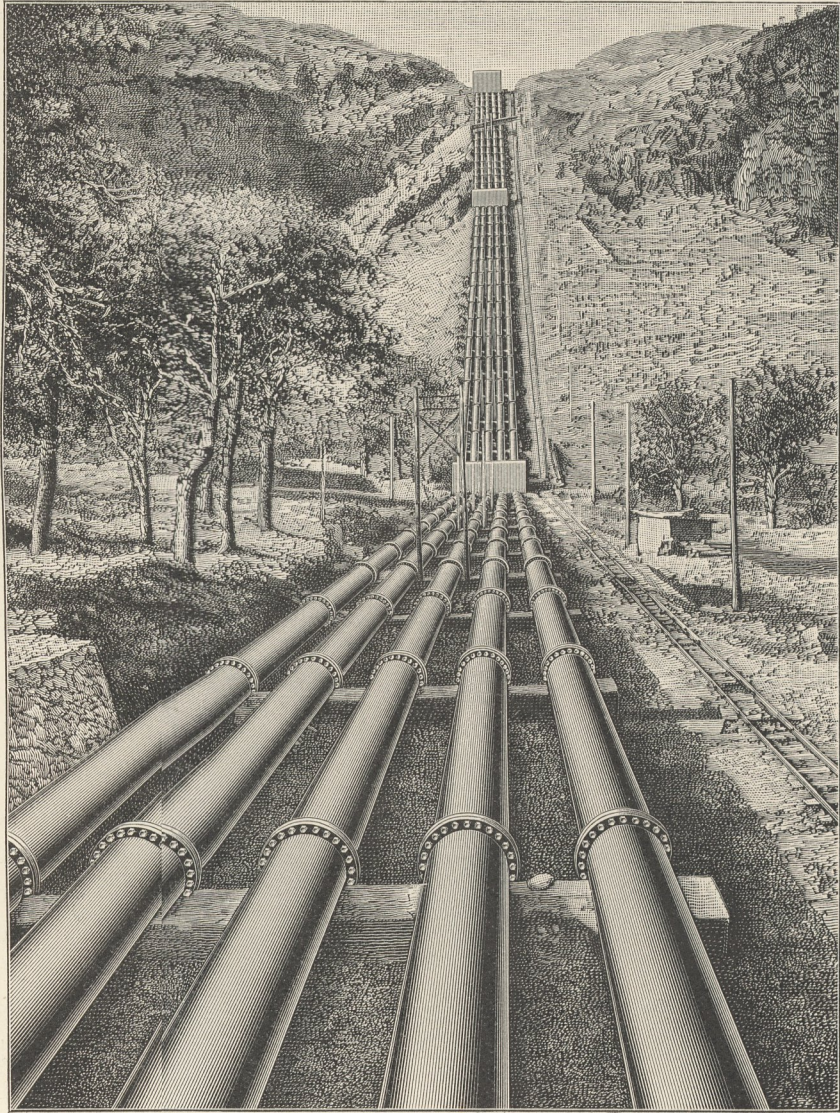


Fig. 71. Hochdruckrohrleitungen der Kraftwerke Brusio.

den Energie. Seitdem die Anlage der *Talsperren* sich mehrt, gelangt man auch zur Ausnutzung von Wasserkraften, die eine solche früher nicht ermöglichten oder doch nicht lohnten.

Eine *Talsperre*, auch *Staudamm* genannt, ist ein widerstandsfähiger Absperrdamm, der die Wassermengen eines oder mehrerer kleinerer Wasserläufe am Fortfließen hindert, also aufstaut. Man sperrt so ganze Täler ab und bildet in ihnen *Stauseen* (*Staubecken*). Nicht immer ist der Zweck dabei die motorische Ausnutzung der Wasserkraft, vielmehr ist diese Verwendungsart erst nach und nach wichtig geworden und wird es in Zukunft noch mehr werden. Man baut die meisten Talsperren zu dem Zwecke, die Wasserverhältnisse zu regulieren und Überschwemmungsgefahren seitens der Wildbäche usw. zu beseitigen. Das Niveau des angestauten Wassers ändert sich bei der großen Fläche, auf die es sich verteilt, unbeschadet des wechselnden Zuflusses nur wenig. So dienen die Staubecken vorzugsweise zur geregelten Bewässerung von

Ländereien. Zu diesen Verwendungsmöglichkeiten tritt nun, wie gesagt, die der motorischen Ausnutzung als sehr bedeutsam hinzu.

Die Staudämme können nur bei ganz kleinen Anlagen aus Erde bestehen, werden dagegen für größere Staumengen und Stauhöhen aus Steinen wasserdicht (mit Zement) gemauert.

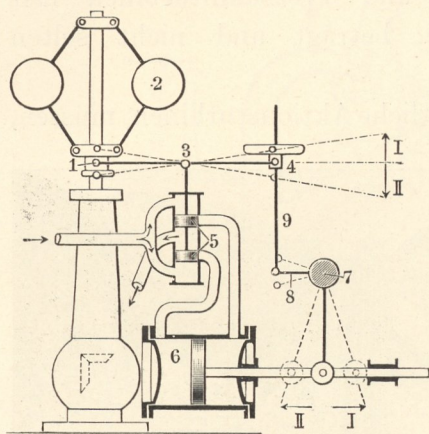


Fig. 72. Schema der hydraulischen Turbinenregulierung (I zu, II auf).

Die Stärke des Dammes muß dabei, entsprechend dem Wasserdruck, von oben nach unten zunehmen, so daß die Stärke des Dammes oben („Kronenbreite“) am geringsten, unten an der Sohle am größten ist. Unsorgfältig hergestellte Sperrwerke können unter dem ungeheuren Wasserdruck bersten und durch die plötzliche Entleerung des ganzen Staubeckens furchtbare Verwüstungen anrichten. So zerstörte der Bruch des Staudammes oberhalb Johnstown in Pennsylvanien 1889 ganze Stadtteile, wobei 4000 Menschen umkamen.

In neuester Zeit hat man, um die teuren Mauerwerksperren zu vermeiden, in Amerika Talsperren ganz aus Eisen hergestellt, und ferner solche aus Eisenbeton, jedoch bleiben die Erfahrungen abzuwarten.

In den letzten 20 Jahren sind in Deutschland etwa 25 Talsperren mit insgesamt 120 Millionen cbm Inhalt und einem Kostenaufwand von 30 Mill. Mark erbaut worden; weitere 15 Sperren mit 400 Millionen cbm Inhalt sind im Bau.

Die größte Talsperre Europas wird die *Edertalsperre* in Waldeck, deren Staubecken bei 25 km Länge und 2 km Breite 300 Millionen cbm Wasser faßt. Übrigens hat das Ausland noch erheblich größere Sperren, namentlich

Amerika sowie Afrika (Staudamm des Nils bei Assuan).

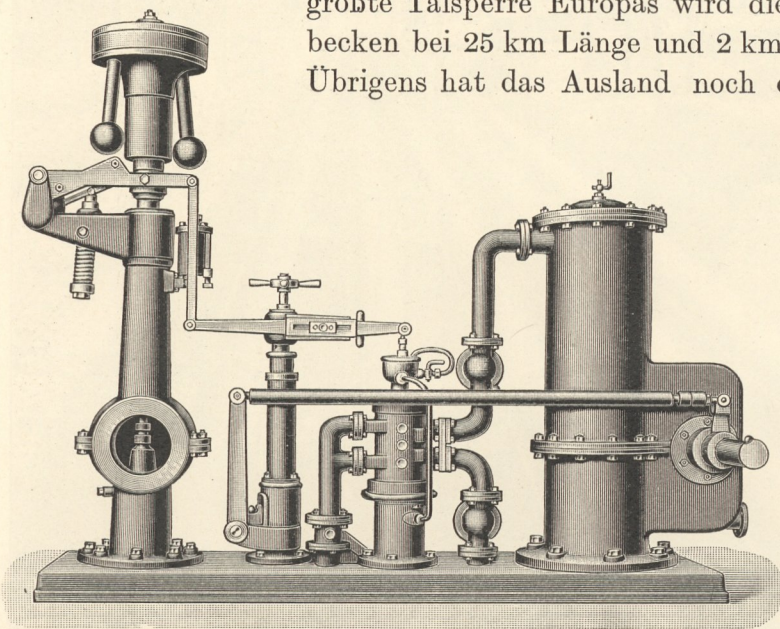


Fig. 73. Hydraulisch-automatischer Turbinenregler von Ganz & Co.

Die motorische Ausnutzung des in den Talsperren angestauten Wassers rückt gegenüber den sonstigen Verwendungszwecken immer mehr in den Vordergrund. Freilich ist die nutzbringende Verwertung der Wasserkräfte erst möglich geworden durch die Leichtigkeit der *elektrischen Kraftübertragung* (vgl. Abteilung „Elektrotechnik“). In erschreckender Weise wächst der Verbrauch an Kohle, und sorgenvoll muß man für eine nicht zu ferne Zukunft den Tag prophezeien,

wo die Kohlenschätze der Erde, soweit sie dem Abbau zugänglich sind, versiegen. Dieser schweren Sorge gegenüber muß die möglichst weitgehende Ausnutzung der Wasserkräfte eine Hauptaufgabe der modernen Technik bilden, und ihr gegenüber verdienen die Stimmen, die des Natureindrucks wegen jeden Wasserfall ungebändigt sehen möchten, keine Beachtung.