

sind die Dampfturbinen (System Brown, Boveri-Parsons) bezeichnet, und zwar I und II solche zu je 10000 PS und III und IV solche zu je 7500 PS. An der Stelle, an der die Dampfturbinen III und IV von insgesamt 15000 PS stehen, stand ursprünglich eine einzige Kolbendampfmaschine von 3500 PS. Die Figur zeigt ohne weiteres die bedeutende Platzersparnis, wobei nicht unberücksichtigt bleiben darf, daß die Kolbendampfmaschinen solche stehender Bauart waren, die außerdem in der Höhe bedeutend mehr Platz beanspruchten als die erheblich stärkeren Dampfturbinen.

Auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit steht die Dampfturbine der Kolbendampfmaschine nicht nach. Überhitzter Dampf ist bei Dampfturbinen ebenfalls von Vorteil, nicht nur in wärmetechnischer Hinsicht, sondern auch, weil hierdurch wirksam das Eindringen kleiner Wasserteilchen in die Maschine verhindert wird, die wegen der großen Geschwindigkeiten starke Abnutzungen der Schaufeln zur Folge haben; solche Abnutzungen machen sich bei Verwendung überhitzten Dampfes so gut wie gar nicht bemerkbar. Von großem Einfluß auf den Dampfverbrauch ist die Höhe des Vakuums, da die Dampfturbine eine viel weitergehende Expansion zuläßt als die Kolbendampfmaschine.

2. Die Dampfturbinensysteme.

In der Dampfturbine leistet der Dampf durch Verminderung seiner Strömungsenergie Arbeit, in der Kolbenmaschine dagegen durch Verminderung seiner Spannungsenergie. Die zahlreichen Dampfturbinensysteme unterscheiden sich durch die Art, wie der Dampf durch die Leit- und Laufkanäle geführt wird und seinen Zustand dabei ändert. Nach der Wirkungsweise des Dampfes wird unterschieden zwischen *Druck-* oder *Aktionsturbinen* und *Überdruck-* oder *Reaktionsturbinen*. Bei den ersteren soll die Spannung oder der Druck des Dampfes beim Durchströmen der Laufradkanäle vom Eintritt bis zum Austritt gleichbleiben (daher *Gleichdruckturbine*). Der Dampf hat also vor und hinter dem Laufrade dieselbe Spannung und soll auf seinem Wege durch dieses lediglich seine Geschwindigkeit einbüßen, weshalb man diese Turbinen auch *Geschwindigkeitsturbinen* nennt. Bei den Überdruckturbinen ist die Dampfspannung beim Eintritt in die Laufkanäle höher als beim Austritt; daher heißen diese Turbinen auch *Spannungsturbinen*. Im Gegensatz zu den Druckturbinen werden sie stets voll beaufschlagt, d. h. der Dampf tritt ringsum am ganzen Umfange des Laufrades ein.

Fig. 172 zeigt schematisch die Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse bei einer einstufigen Druckturbine. Hier wie im folgenden seien stets die Spannungslinien mit 1 und die Geschwindigkeitslinien mit 2 bezeichnet. Beim Durchströmen durch die Düse (Einströmungsrohr) 3 sinkt die Spannung des einströmenden Frischdampfes nach Kurve 1 von 1' auf 1'', während gleichzeitig die Geschwindigkeit nach Kurve 2 von 2' auf 2'' steigt. Der Dampf beaufschlagt sodann die Schaufeln des Laufrades 4, wobei seine Geschwindigkeitsenergie in Arbeitsenergie umgesetzt wird, was ein Sinken der Geschwindigkeit auf 2''' zur Folge hat. Würde die Geschwindigkeit Null werden können, so würde dem Dampf die gesamte Energie entzogen sein. Da der hydraulische Wirkungsgrad am besten ist, wenn die Umfangsgeschwindigkeit gleich der halben Dampfeintrittsgeschwindigkeit wird, so muß, da diese den Betrag von 1200 m in der Sekunde erreicht, also sehr hoch ist, das Laufrad sehr rasch laufen und bis 30 000 Umläufe in der Minute machen.

Mit derartig hohen Umdrehungszahlen laufende Kraftmaschinen lassen sich praktisch nicht verwerten; es sind daher die verschiedensten Mittel zu ihrer Herabsetzung vorgeschlagen worden. Das nächstliegende Mittel war die Einschaltung einer Übersetzung ins Langsame; ein anderes, von Riedler und Stumpf vorgeschlagenes, bestand in der Vergrößerung des Laufraddurchmessers, die bei gleichbleibender Umfangsgeschwindigkeit eine Verminderung der Umdrehungszahl zur Folge hat. Besser als diese beiden Mittel ist die Ausnutzung des Dampfes in mehreren aufeinanderfolgenden, verhältnismäßig langsam laufenden Turbinenrädern. Hier wird unterschieden zwischen *Druckturbinen mit Geschwindigkeits-* und solchen *mit Spannungsstufen*.

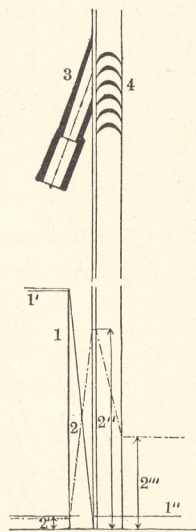


Fig. 172. Einstufige Druckturbine.

Bei ersteren (Fig. 173) erreicht der mit der Geschwindigkeit $2'$ zuströmende Dampf in den Leitradkäsen 3 zunächst wieder seine Höchstgeschwindigkeit $2''$, wobei seine Spannung von $1'$ bis auf Auspuff- bzw. Kondensatorspannung $1''$ sinkt. Die Gesamtgeschwindigkeit wird aber nicht wie bei der einstufigen Druckturbine in einem einzigen Laufrade ausgenutzt, sondern in drei aufeinanderfolgenden Rädern $4, 4', 4''$. In dem ersten büßt der Dampf ein Drittel seiner Geschwindigkeit ein und strömt hierauf in den zweiten Leitradkranz $3'$, in dem lediglich seine Richtung geändert wird. Seine Geschwindigkeit bleibt hierbei, wie aus der wagerechten Linie im Geschwindigkeitsdiagramm hervorgeht, unverändert. Der Dampf verliert dann im zweiten Laufrade $4'$ das zweite Drittel seiner Geschwindigkeit, wird im Leitrade $3''$ wieder gewendet und verläßt schließlich das letzte Laufrad mit der kleinsten Geschwindigkeit $2'''$. Bei den nach diesem Verfahren arbeitenden Turbinen sind sämtliche Laufräder ständig von Dampf gleicher Spannung umgeben, jedoch führt die hohe Anfangsgeschwindigkeit des Dampfes zu empfindlichen Stoß- und Reibungsverlusten.

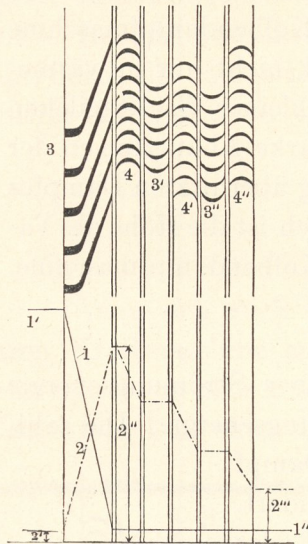


Fig. 173. Druckturbine mit drei Geschwindigkeitsstufen.

Während bei den bisher beschriebenen Turbinen das ganze Druckgefälle vor dem Eintritt in das erste Laufrad in Geschwindigkeit umgesetzt wurde, findet bei den Turbinen mit Spannungsstufen eine Unterteilung des Spannungsgefälles statt, ähnlich wie bei den Expansionsmaschinen. So läßt es sich erreichen, daß der Dampf in sämtlichen Laufrädern die gleichen Geschwindigkeiten besitzt. In den ersten Düsen oder Leitrad-schaufeln 3 sinkt seine Spannung in dem Beispiele gemäß Fig. 174 um ein Viertel des gesamten Druckgefälles. Der Dampf erreicht hierbei eine gewisse Geschwindigkeit $2'$, die im ersten Laufrade 4 in Arbeit umgesetzt wird. Im zweiten Leitschaufelsatze $3'$ dehnt sich der Dampf um ein weiteres Viertel aus und erreicht hierbei dieselbe Geschwindigkeit wie vor dem ersten

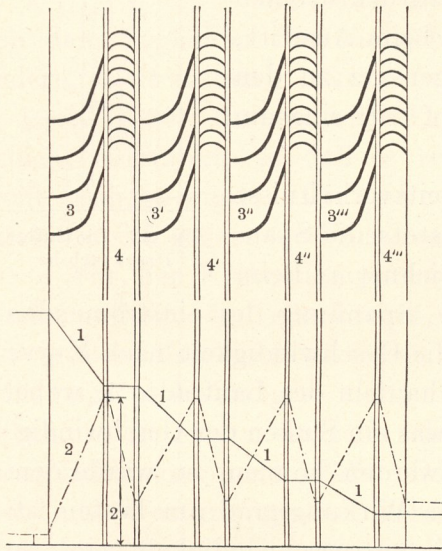


Fig. 174. Druckturbine mit vier Spannungsstufen.

Laufrade usw. Die Zahl der Druckstufen kann beliebig groß gewählt werden, so daß wenigstens theoretisch eine beliebig geringe Dampfgeschwindigkeit erzielt werden kann. Wie die wagerecht verlaufenden Spannungslinien des Dampfes unter den Laufrädern $4, 4', 4'', 4'''$ zeigen, findet innerhalb der Laufräder kein Spannungsabfall statt, es herrscht also unmittelbar vor und hinter jedem Laufrade derselbe Druck. In jedem der einzelnen Laufräder herrscht aber, wie aus der treppenförmig verlaufenden Spannungslinie 1 hervorgeht, ein niedrigerer Druck als in dem vorhergehenden. Die einzelnen Räder müssen also hier in tunlichst dampfdicht voneinander getrennten Räumen laufen. Ferner müssen sich allmählich die Durchtrittsquerschnitte der einzelnen Schaufelräder vergrößern, denn in jeder Zeiteinheit strömt, da die Geschwindigkeitsverhältnisse in allen Rädern die gleichen sind, durch die Schaufelräder wohl die gleiche Gewichtsmenge Dampf, keineswegs aber dasselbe Volumen, denn dieses hat sich durch die fortgesetzten Expansionen in den einzelnen Leitradern $3, 3', 3'', 3'''$ erheblich vergrößert. Diesem wird Rechnung getragen durch eine Ausbildung der Leiträder, bei der nicht nur der Umfang der Räder immer größer wird, sondern auch jedesmal größere Teile des Umfanges für den Dampfdurchgang freigelegt werden. Wenn man das verfügbare Spannungsgefälle so teilt, daß das Spannungsverhältnis zwischen einer höheren Spannungsstufe und der anschließenden niedrigeren Spannungsstufe den Wert von etwa 1,7 (kritisches Verhältnis) nicht überschreitet, so bedarf man der sich erweiternden Düsen nicht, sondern es genügen zur Erreichung des Zweckes einfache Überströmkanäle.

Durch die Vereinigung der beiden letztgenannten Bauweisen ist die *Turbine mit*

Spannungs- und Geschwindigkeitsstufen (Fig. 175 u. 176) entstanden. Zunächst wird, wie in Fig. 174, das Spannungsgefälle unterteilt und dann die bei jedem Spannungsabfall entstehende Geschwindigkeit nicht in einem, sondern in mehreren Laufrädern ausgenutzt. Der Linienzug 1 versinnbildlicht wieder die Änderungen der Spannungen und der Linienzug 2 die der Geschwindigkeiten. Im ersten Leitradkranze 3 sinkt die Spannung auf $1'$ und in dem zweiten $3'$ auf $1''$. Die beiden mit je zwei Laufradkränzen ausgerüsteten Laufräder 5, 6 drehen sich in zwei dampfdicht voneinander getrennten Abteilungen 7, 8, in denen die Spannungen $1'$ und $1''$ herrschen. Im ersten Laufradkranze 4 wird nur ein Teil der Dampfgeschwindigkeit in Arbeit umgesetzt. Der Dampf strömt aus diesem durch den Leitradkranz 9, in dem Geschwindigkeit und Spannung unverändert bleiben, der also nur dazu dient, die Richtung des Dampfes zu ändern (vgl. Fig. 173, Teil $3'$, $3''$), in den zweiten Laufkranz $4'$, in dem der Rest der Dampfgeschwindigkeit nutzbar gemacht wird. In dem sich an diesen anschließenden Leitradkranze $3'$ findet wieder ein Spannungsabfall unter gleichzeitiger Geschwindigkeitserhöhung statt. Die Arbeitsweise im Raum 8 vollzieht sich hierauf genau so wie in 7.

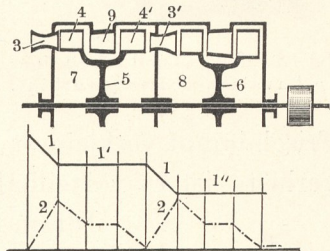


Fig. 175 und 176. Druckturbinen mit Spannungs- und Geschwindigkeitsstufen.

Bei den *Überdruckturbinen* erfolgt im Gegensatz zu den Druckturbinen, wie schon oben bemerkt ist, die Umsetzung der Dampfspannung in Geschwindigkeit auch auf dem Wege durch die Laufkanäle, so daß der aus den Kanälen des Laufrades austretende Dampf auch durch Rückdruck wirkt, weshalb diese Turbinen auch *Reaktionsturbinen* genannt werden. Der bei 7 zugeführte Dampf expandiert, wie der Linienzug 1 in Fig. 177 zeigt, fortlaufend durch sämtliche Radkränze. Die in den Leitradkränzen 3 erzeugte Geschwindigkeit wird in den Laufradkränzen in Arbeit umgesetzt. Hierbei kann die Geschwindigkeit nicht so tief sinken wie bei den Druckturbinen, da gleichzeitig in den Laufradkränzen 4 ein weiterer Teil des Spannungsgefälles in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Die Geschwindigkeit wird also, wie der Linienzug 2 zeigt, abwechselnd steigen und sinken, im ganzen aber allmählich steigen. Diese Steigerung der Geschwindigkeit geht jedoch nicht in demselben Maße vor sich wie die infolge der Expansion stattfindende Volumenvergrößerung des Dampfes, so daß die Durchflußquerschnitte der einzelnen Räder eine allmähliche Vergrößerung erfahren müssen. Da die Überdruckturbinen mit voller Beaufschlagung arbeiten, ist dieses nur möglich durch Vergrößerung der Raddurchmesser. Theoretisch müßte also jedes Rad größer sein als das vorhergehende. Mit Rücksicht darauf, daß dieses die Herstellung erheblich verteuern würde — denn eine derartige Turbine hat etwa 100 Druckstufen, also noch einmal soviel Räder —, hat man sich damit geholfen, daß man immer eine Anzahl Räder gleichgroß ausbildet, die Durchmesser also nicht allmählich, sondern sprungweise steigert. Da der Druck vor und hinter den Laufrädern 4 verschieden hoch ist, tritt eine in Richtung der Achse wirkende Schubkraft auf, die bestrebt ist, die Laufradachse zu verschieben. Zur Aufnahme dieses Druckes dienen die Ausgleichkolben 5, von denen so viele vorgesehen sind, wie die Turbine Abstufungen enthält. Die entsprechenden Räume stehen durch Rohrleitungen 6 miteinander in Verbindung, so daß derselbe Druck bestrebt ist, die Turbinenwelle einmal nach rechts, ein andermal nach links zu drücken; beide Drucke heben sich also auf. Weiter entsteht infolge der Druckunterschiede zwischen den einzelnen Rädern ein Spaltüberdruck, der eine Abdichtung zwischen den ruhenden und bewegten Teilen notwendig macht, da sonst der Dampf statt durch die Räder durch die Zwischenräume zwischen ihnen überströmt. Diese Abdichtung wird durch möglichste Annäherung der

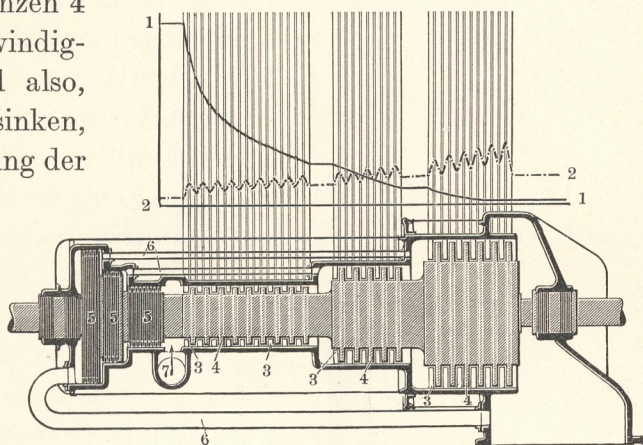


Fig. 177. Überdruckturbinen der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft.

bewegten Teile an die unbewegten erreicht, und zwar werden nicht die Stirn-, sondern die Mantelflächen der Räder möglichst dicht aneinander gebracht.

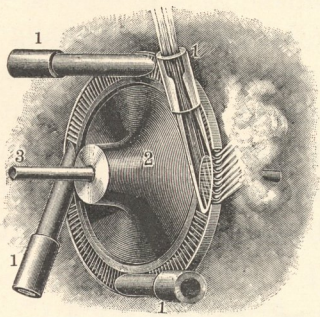


Fig. 178. Laufrad und Düsen einer de Laval'schen Dampfturbine.

3. Verschiedene Bauarten der Dampfturbinen.

Die Hauptvertreterin der einstufigen Druckturbine ist die *Lavalturbine*, eine Axialturbine, weil die Hauptströmungsrichtung des Dampfes der Umdrehungsachse 3 des Rades annähernd gleichgerichtet ist (s. Fig. 178). Am Umfange des Laufrades 2 sind die Dampfzuleitungsdüsen 1 verteilt. Der aus ihnen austretende Dampf durchströmt die Laufradschaufeln, wobei seine Geschwindigkeitsenergie in Arbeitsenergie umgewandelt wird. Die Regulierung der Turbine kann dadurch bewirkt werden, daß durch Verstellen des Ventilkegels 1 (Fig. 179) mittels des Handrades 2 die Zuströmöffnung für den Frischdampf verkleinert bzw. vergrößert wird. Zur Vermeidung der hierbei auftretenden Drosselverluste ist es vorteilhafter, je nach der Größe der gewünschten Leistung mehr oder weniger

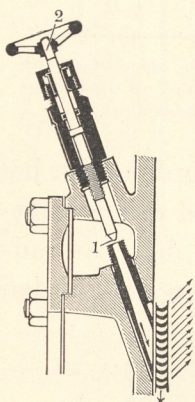


Fig. 179. Regulierventil einer Druckturbine.

Düsen gänzlich abzuschließen. Bei den hohen Umdrehungszahlen der Lavalturbine von 9000—30 000 in der Minute ist es von großer Wichtigkeit, daß der Schwerpunkt des Turbinenrades genau in die geometrische Rotationsachse fällt, da schon die geringsten Abweichungen gewaltige Fliehkräfte entstehen lassen. Ein derartig genaues Ausbalancieren ist aber praktisch nicht zu erreichen. De Laval half sich dadurch, daß er die Welle, statt sie zur Erhöhung ihrer Widerstandskraft besonders stark zu nehmen, im Gegenteil auffallend schwach und lang ausbildete. Der Erfolg ist der, daß sich infolge der nachgiebigen Turbinenwelle das Laufrad so einstellt, daß seine Schwerachse mit der Rotationsachse zusammenfällt. Zur Herabsetzung der hohen Umdrehungszahlen wird ein Zahnradgetriebe eingeschaltet, das die Bewegung im Verhältnis 1:10 bis 1:13 ins Langsame überträgt. Eine kleinere Lavalturbine zeigt Fig. 180 in Ansicht. Bei 1 wird der Dampf zu- und bei 2 abgeführt. 3 ist ein Handrad zum Verstellen

einer Dampfzuleitungsdüse und 4 das Gehäuse für ein von einem Achsenregler verstellbares Drosselorgan. Im Gehäuse 5 sitzt das Zahnradgetriebe, das die Bewegung auf die Vorgelegewelle und die auf dieser sitzende Riemenscheibe 6 überträgt.

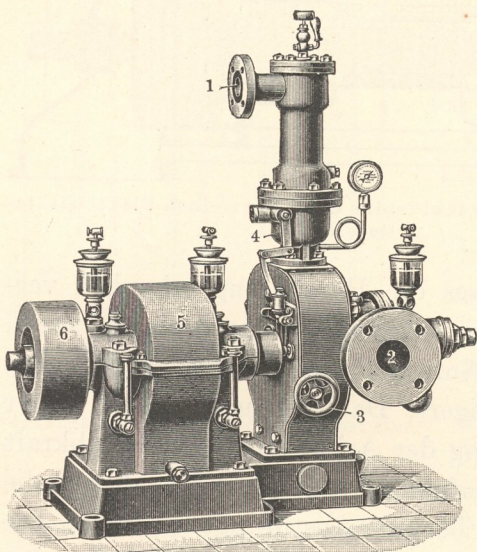


Fig. 180. Dampfturbine von de Laval.

Eine mit Geschwindigkeitsstufen arbeitende Dampfturbine ist die in den Fig. 181 und 182 schematisch veranschaulichte Turbine der Elektra-Dampfturbinen-Gesellschaft m. b. H. in Karlsruhe i. B. Die in den Figuren veranschaulichte *Elektraturbine* ist mit einer Druck- und vier Geschwindigkeitsstufen versehen. Auf der Welle sitzt fest der Laufradkörper 1, aus dem seitlich die Schaufeln 2 hervorragen. Durch Stutzen 3 tritt der Dampf in einen ringförmig um das Turbinengehäuse herumlaufenden Kanal 4, aus dem er in die einander gegenüberliegenden Düsen 5 gelangt. In diesen setzt er seine ganze Spannungsenergie in Geschwindigkeit um, durchströmt die Laufradschaufeln in radialer Richtung und gelangt in einen Kanal 6, der so gekrümmt ist, daß er den Dampfstrahl dem Laufrade zum zweiten Male zuführt. Dieses wiederholt sich, wie Fig. 182 zeigt, mehrmals, wobei beim

jedesmaligen Durchströmen des Dampfes durch die Laufradschaufeln ein Teil seiner Geschwindigkeit in Arbeit umgesetzt wird. Der stufenweisen Abnahme der Geschwindigkeit im Laufrade wird dadurch Rechnung getragen, daß die Querschnitte der Überströmkanäle ebenfalls entsprechend vergrößert werden. Schließlich gelangt der Dampf nach seinem letzten Durchgang durch das