

einen kleinen Stift, der mit geringem Spiel in die Muffe *m* eingreift. Dieses Spiel hat zur Folge, daß die Regulatormuffe sich nicht, jeder kleinen Bewegung der Zugstange folgend, verschiebt, sondern daß hierzu erst eine größere Verschiebung, welche auch eine größere Änderung in der Tourenzahl zur Voraussetzung hat, gehört. Es hat dieses seinen Grund darin, daß die Kraft, die einer kleinen Änderung der Tourenzahl entspricht, zu klein ist, um die Dampfzufuhr sicher zu beeinflussen. Auf der Muffe *m* sitzt ein Ring, der an die Regulatorstange *r* angreift. Zur Schmierung des Regulators ist, wie in der Figur angedeutet, Ringschmierung angewendet.

Interessant ist ferner eine elektromagnetische Steuerung, wie sie Fig. 99 darstellt. Der Dampf tritt in den Kanal *a* ein. Von hier kann er bei geöffnetem Ventil *b* zu den Hochdruckdüsen gelangen. Dieses Ventil ist durch eine kleine Stange mit dem Kolben *c* verbunden, auf dessen Rückseite eine Feder *f* drückt. Gesteuert wird das Ventil *b* durch einen Elektromagneten *m*. Dieser ist ein sogenannter Arbeitsstrommagnet. Sobald Strom in die Wickelung des Elektromagneten *m* fließt, wird der Anker *p* desselben vom Magnetkern angezogen. Damit nun die Wickelung des Magneten nicht mit dem Dampfe in Berührung kommt, liegt zwischen dem Anker und dem Kern eine feine Bronzeplatte. An dem Anker *p* ist eine kleine Steuerstange befestigt, die den Ventilkörper *s* trägt. Dieser Ventilkörper verschließt in seiner Tieflage den kleinen Auspuff *n*, der zum Hochdruckdampfraum führt, so daß der auspuffende Dampf nicht verloren geht. In seiner höchsten Stellung öffnet *s* den kleinen Auspuff und verschließt den Kanal *d*, der mit *a* in Verbindung steht. Wenn nun durch die Magnetwicklung kein Strom fließt, dann steht *a* durch *d* mit der Hinterseite des Kolbens *c* in Verbindung, so daß er, die Feder *f* unterstützend, das Ventil *b* schließt. Ist aber der Magnet erregt, so wird der Anker *p* gehoben. Hierdurch wird *d* geschlossen, also die Dampfzufuhr zur Rückseite des Kolbens *c* abgeschnitten und gleichzeitig der Auspuff *n* geöffnet, so daß der hinter *c* noch befindliche Dampf entweichen kann. Jetzt drückt der in *a* befindliche Dampf auf die Vorderseite des Kolbens *c* und öffnet so das Ventil *b*. Es kann also nur bei erregtem Magneten Dampf zu den Düsen gelangen. Der Elektromagnet erhält seinen Strom durch die Stellung eines Kontaktvoltmeters, so daß die Dampfzufuhr direkt nach der Spannung der Dynamo gesteuert wird.

Die de Laval'sche Dampfturbine.

Prinzip.

Von dem auf S. 147 u. f. angeführten Gesichtspunkte ausgehend konstruierte de Laval eine Dampfturbine, bei welcher die Expansionskraft des Dampfes voll ausgenutzt wird. Die de Laval'sche Dampf-

turbine besteht, wie eine Wasserturbine, in der Hauptsache aus einem Laufrade mit gekrümmten Schaufeln und einem Leitapparate, welchen mehrere am Umfange des Laufrades verteilte Dampf Düsen bilden. Die Beaufschlagung des Rades ist demnach eine partielle.

Das Wesentlichste an der de Laval'schen Konstruktion ist in der Verwendung und der Bauart der Dampf Düsen zu suchen. Die Düsen, welche durch einen Dampfkessel gespeist werden, lassen den zuvor hochgespannten Dampf mit bedeutend reduzierter Spannung (entweder atmosphärischer, wie bei freiem Auspuff, oder Kondensationsspannung) und aus diesem Grunde mit außerordentlicher Geschwindigkeit in einem geschlossenen Strahle gegen die Schaufeln des Laufrades austreten. Da der Dampf keinen Überdruck über die Spannung im Turbinenraum mehr besitzt und eben deshalb einen Strahl bildet, wie weiter unten noch näher ausgeführt werden soll, so sind auch die Spaltverluste, d. h. Dampfverluste an der Übergangsstelle von Düsen und Laufradkranz, sehr gering. Beim Durchgang durch das Laufrad verliert der Dampf seine Geschwindigkeit zum größten Teile wieder und wird demnach die kinetische Energie des Dampfes zur Leistung mechanischer Arbeit verwendet.

Die außergewöhnliche Geschwindigkeit des arbeitenden Dampfes bedingt gleichfalls eine sehr hohe Geschwindigkeit der bewegten Maschinenteile (Laufrad), wohl das am meisten in die Augen springende und in konstruktiver Hinsicht das größte Interesse bietende Merkmal der Dampfturbinen. Soll die Bewegungsenergie des Dampfes möglichst vorteilhaft ausgenutzt werden, so darf derselbe nicht durch Stoß, durch welchen eine plötzliche Geschwindigkeitsverminderung bedingt wäre, wirken, sondern muß seine Geschwindigkeit, während er sich an den gekrümmten Schaufeln entlang bewegt, allmählich verlieren. Dies führt naturgemäß zu der Forderung, daß die absolute Eintrittsgeschwindigkeit des Dampfes in das Laufrad annähernd gleich der Austrittsgeschwindigkeit aus der Düse sei. Theoretisch hat die gleiche Forderung auch für Wasserturbinen Geltung. Bei beiden Maschinenarten wird jedoch aus praktischen Gründen von der strengen Erfüllung obiger Bedingung abgegangen. Die Eintrittsgeschwindigkeit in das Leitrad wird bei den Wasserturbinen meist etwas kleiner gewählt als die Austrittsgeschwindigkeit; es tritt somit eine schwache Stoßwirkung auf. Bei den Dampfturbinen geht man hierin weiter als bei den Wasserturbinen, um die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades tunlichst zu reduzieren; die Bedingung des stoßfreien Eintrittes braucht hier um so weniger streng erfüllt zu sein, als der Dampf einen elastischen Arbeitskörper darstellt, dessen lebendige Kraft auch bei Stoß noch verhältnismäßig günstig ausgenutzt wird.

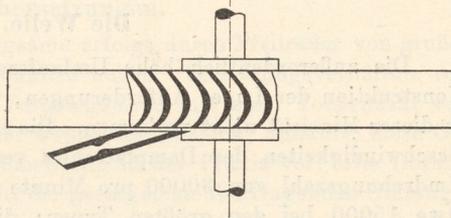
Im übrigen sind die Bedingungen für die vorteilhafteste Ausnutzung der dem Dampfe innewohnenden Energie hinsichtlich Ausbildung der Schaufelform dieselben wie bei den Wasserturbinen.

Spezielles über die Düsenkonstruktion und die Dampfgeschwindigkeit.

Die Richtung, in welcher der Dampf durch das Turbinenrad tritt, ist im ganzen die axiale; die Düsen sind daher seitlich von der Rotations-ebene angebracht. Um das Wesen der von de Laval eingeführten Düsenkonstruktion zu verstehen, ist zunächst eine interessante Eigenschaft des Dampfes zu beachten, die sich auf das Ausströmen aus Düsen unter Spannung bezieht.

Sobald die letztere über 2 Atm. absolut beträgt, so ist die Ausströmungsgeschwindigkeit des Dampfes in die Atmosphäre bei einfacher Öffnung nicht mehr als rund 350 m/sec, unabhängig von der Höhe des Druckes im Innern des Dampfraumes, d. h. die dem Dampfe inwohnende kalorische Energie wird nur bis zu einem gewissen Grade in Bewegungsenergie verwandelt, und der Dampf behält unmittelbar nach dem Austritt noch einen Überdruck, welcher um so höher ist, je größer die Spannung im Dampfraum war. Die Folge dieser Erscheinung ist, daß der Dampf nicht in einem geschlossenen Strahle, wie es für die Wirkung desselben auf das Laufrad wünschenswert wäre, aus der einfachen Öffnung austritt, sondern infolge der inneren Pressung der Dampfmasse nach allen Richtungen expandiert, d. h. zerstäubt. Dieses Zerstäuben vermeidet de Laval durch besondere Düsenkonstruktion. Der aus dem engen Düsenhals ausgetretene Dampf wird durch einen sich allmählich erweiternden Kanal noch auf eine Strecke hin geführt; hierbei ist der Dampf gezwungen, nach und nach auf die atmosphärische Spannung (bzw. bei Kondensation auf die Vakuumspannung) unter gleichzeitiger Vermehrung seiner Geschwindigkeit zu expandieren und auf diese Weise sein gesamtes Leistungsvermögen in Bewegungsenergie umzusetzen. Da nunmehr der Dampf keinen

Fig. 100.



inneren Überdruck über den Turbinenraum mehr besitzt, so hat er auch nicht das Bestreben zu zerstäuben, sondern bildet beim Verlassen des Düsenrohres einen geschlossenen Strahl. Fig. 100 zeigt die Anordnung von Laufrad und Düsen einer de Laval'schen Dampfturbine.

Nach vorstehendem ist die Geschwindigkeit des austretenden Dampfstrahles mit der Höhe der Betriebsspannung veränderlich; für jede andere Betriebsspannung ist die Düsenform eine andere: für höhere Spannung kommt eine sich mehr erweiternde Düse in Anwendung als für geringere Spannung. Die Dampfgeschwindigkeit wird bei Anwendung

der de Laval-Düse von 350 m/sec auf rund 1100 m/sec gesteigert. Im einzelnen gibt folgende Tabelle den Zusammenhang der Dampfgeschwindigkeit mit der Kesselspannung, und zwar bei freiem Auspuff und bei Anwendung von Kondensation unter Annahme eines Vakuums von 92 Proz. des absoluten Luftdruckes.

Dampfspannung hinter der Düse in Atm. . . .	3	5	7	9	11	13	15	20
Geschwindigkeit des Dampfstrahles bei Aus- puff in m/sec	673	770	828	872	908	937	960	1007
Geschwindigkeit des Dampfstrahles bei Kon- densation in m/sec . .	1070	1128	1165	1195	1218	1240	1252	1280

Als besonderer Vorteil der Dampf Düse ist noch hervorzuheben, daß der expandierende Dampf an derselben Stelle des Düsenkanales stets denselben Druck und dieselbe Temperatur besitzt, weshalb auch die Düsenwandungen im Beharrungszustande konstante Temperatur haben; ein nennenswerter Wärmeaustausch zwischen Dampf und Wandung findet daher nicht statt, d. h. die Expansion des ersteren erfolgt adiabatisch, wie es dem idealen Vorgange im Carnot'schen Kreisprozeß entspricht. Gerade in dieser Hinsicht ist die Dampfturbine der Zylinderdampfmaschine weit überlegen, da bei letzterer ein beständiger periodisch wechselnder Wärmeaustausch zwischen Dampf und Zylinderwand sich vollzieht.

Die Welle.

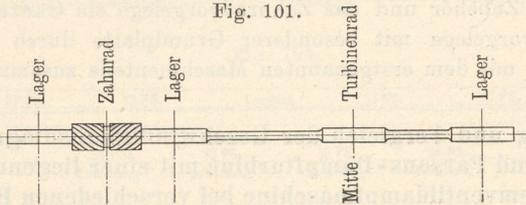
Die außerordentlich hohe Umlaufzahl der Turbine stellt an die Konstruktion der Lager Anforderungen, wie sie zuvor in der Technik in dieser Hinsicht nicht vorkamen. Die in obiger Tabelle angegebenen Geschwindigkeiten des Dampfstrahles verleihen dem Turbinenrad eine Umdrehungszahl von 30000 pro Minute bei kleineren Maschinen, bis etwa 15000 bei den größten Typen; die Umfangsgeschwindigkeiten bewegen sich entsprechend in den Grenzen von 170 m/sec bis etwa 400 m/sec.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß es unmöglich ist, ein Turbinenrad vollkommen auszubalancieren; der Schwerpunkt desselben liegt auch bei sorgfältiger Bearbeitung und vorzüglichem Material nie ganz in der Achse. Dieser Umstand führt bei der enormen Umdrehungsgeschwindigkeit der Radscheibe zu sehr großen Zentrifugalkräften, die durch die Lager aufgenommen werden müßten. Beispielsweise würde auf jedes Kilogramm der rotierenden Masse bei $\frac{1}{10}$ mm Exzentrizität

und 30000 Umdrehungen eine Zentrifugalkraft von ~ 100 kg kommen¹⁾. Bei der sonst üblichen Anwendung einer starren Welle würden die exzentrisch wirkenden Fliehkräfte notwendig die Zerstörung der Lager durch Klemmen, Heißlaufen und Anfressen zur Folge haben.

Um die gewaltigen Lagerdrucke zu vermeiden, verwertet de Laval eine bekannte Eigenschaft rotierender Körper in genialer Weise: ein frei rotierender Körper stellt sich stets auf die durch seinen Schwerpunkt gehende Hauptachse ein; bei Rotation um diese heben sich die Zentrifugalkräfte gegenseitig auf. Indem nun de Laval die Welle des Turbinenrades sehr dünn und biegsam wählt, gibt er dem letzteren nahezu die Eigenschaft eines frei rotierenden Körpers. Die Welle biegt sich bei rascher Umdrehungszahl durch und schwingt in einem flachen

Fig. 101.



Bogen um ihre natürliche Mittellage, während sich das Turbinenrad selbst mit seinem Schwerpunkte in die Achse der Lager einstellt und um diese rotiert.

Die Lager werden hierbei nur mit derjenigen Kraft beansprucht, welche zur Durchbiegung der schwachen Welle erforderlich ist.

Der Abstand der Lager von der Turbine ist verhältnismäßig groß. Die Lagerzapfen sind bedeutend stärker dimensioniert als die Welle, wie Fig. 101 darstellt.

Übersetzungen.

Die Übersetzung ins Langsame erfolgt durch Pfeilräder von großer Breite und mit einem ungewöhnlich hohen Übersetzungsverhältnis von 1:10 bis 1:12, so daß die Vorgelegewelle mit einer Tourenzahl von 3000 und weniger, je nach der Größe der Turbine, umläuft; diese Geschwindigkeit kommt auch anderweitig in der Praxis vor. Die Teilung der Zahnräder ist in Anbetracht der geringen zu übertragenden Umfangskraft eine sehr feine. Um einen sichereren Betrieb zu gewährleisten, erfordern sie in der Bearbeitung die größte Sorgfalt und werden im Betriebe durch einen kontinuierlichen Ölstrom geschmiert. Das ganze

¹⁾ Die Rechnung ist die folgende: v bedeute die Geschwindigkeit im Schwerpunkt, r die Exzentrizität in Meter, m die Masse eines Kilogramms, G die Gewichtskraft ($G = 1$ kg), n die Umdrehungszahl und K die Zentrifugalkraft; dann gilt:

$$K = m \frac{v^2}{r} = \frac{G}{g} \cdot \frac{r \cdot \pi^2 \cdot n^2}{30^2} = \frac{1}{9,81} \cdot \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot 30000^2}{10000 \cdot 900} = \sim 100 \text{ kg.}$$

Zahnradgetriebe ist durch ein Gehäuse gegen die Umgebung abgeschlossen.

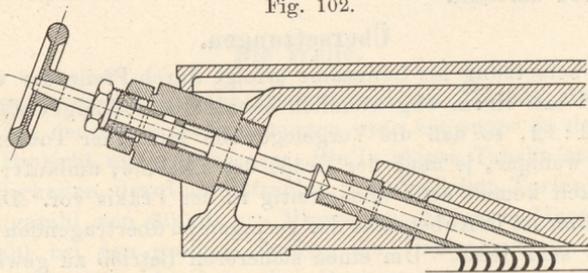
Vielfach, besonders bei größeren Typen, ist die Anordnung derart, daß das kleine Zahnrad in zwei große, einander gegenüberliegende Räder eingreift; auf diese Weise arbeitet die Dampfturbine auf zwei Vorgelegewellen. Insoweit die Vorgelegewellen nicht direkt mit anderen Maschinen gekuppelt sind, sind sie mit kleinen Riemenscheiben oder Seilgarnituren versehen, mittels deren die Arbeitsübertragung unter weiterer Tourenverminderung an Maschinen oder Transmissionen erfolgt.

Meistens wird die Turbine mit dem einfachen oder doppelten Vorgelege auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert. Bei sehr großen Leistungen (mehrere hundert Pferdestärken) dagegen bilden nur die Turbine mit Zubehör und das Zahnradvorgelege ein Ganzes, während das Riemenvorgelege mit besonderer Grundplatte durch die Wellenkuppelungen mit dem erstgenannten Maschinenteile zusammenhängt.

Regulierung und Vergleich der Geschwindigkeitsdiagramme der de Laval- und Parsons-Dampfturbine mit einer liegenden Kuhn-schen Tandemventildampfmaschine bei verschiedenen Belastungsänderungen.

Die Regulierung der de Laval-Turbine geschieht auf zweierlei Weise. Die Dampfzufuhr kann zunächst in größeren Stufen von Hand durch Abstellen einer oder mehrerer Düsen, welche meist in größerer Anzahl am Umfange des Turbinengehäuses verteilt sind, geregelt werden. Zu diesem Zwecke ist jede Düse mit einem konischen Absperrventil und einer Spindel mit Handrad versehen, wie aus Fig. 102 zu erkennen

Fig. 102.



ist. (Man ist naturgemäß mit dem Handrade auch imstande, den in die Düse eintretenden Dampf in beliebigem Grade zu drosseln.) Die feinere, kontinuierliche und selbsttätige Regulierung jedoch besorgt ein auf der Vorgelegewelle sitzender Achsenregulator, welcher auf ein Drosselventil im Dampfzufluß wirkt. Da die Drosselung des Dampfes in weiten Grenzen Dampfverluste zur Folge haben würde, so ist in der oben erwähnten Abstellung einzelner Düsen von Hand, d. h. der Regulierung der Beaufschlagung der Turbine, eine vorteilhafte Ergänzung der

automatischen Regulierung zu erblicken. Der Achsenregulator ist sehr kompensiös konstruiert; er sitzt auf dem Wellenende des einen großen Zahnrades. Der Hub des Regulators ist ein axialer; ein Stift in der Verlängerung der Welle drückt auf einen nach dem Drosselventil führenden Hebel ¹⁾.

Die Regulierung ist sehr empfindlich und genügt auch bei bedeutenden Belastungsänderungen weitgehenden Anforderungen.

Fig. 103.

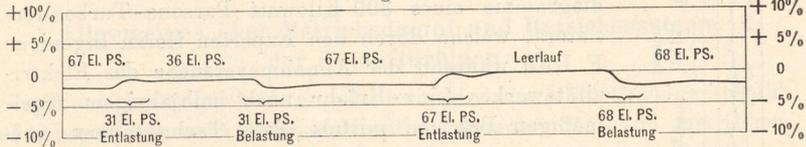


Fig. 104.



Fig. 105.

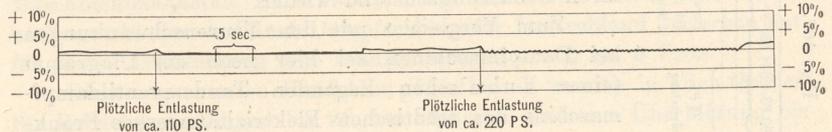


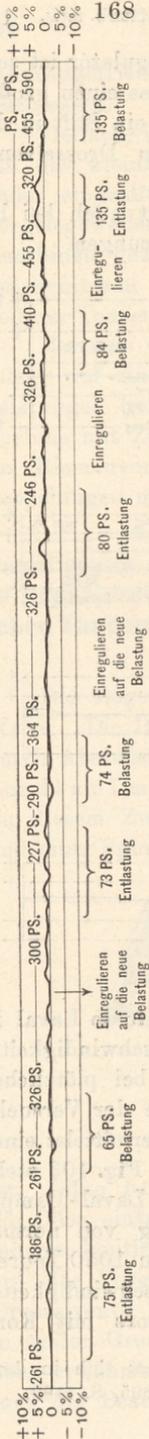
Fig. 106.



Die Ingenieure der Dampfturbinen-Aktiengesellschaft de Laval in Stockholm haben eine Reihe von Versuchen über die Geschwindigkeitsänderungen der de Laval-Dampfturbine im Betriebe bei plötzlicher Belastung oder Entlastung angestellt. Einige Resultate der Versuche geben beifolgende Diagramme (Fig. 103 u. 104), welche vermittelt eines Horn'schen selbsttätigen Tachographen gefunden sind. Fig. 103 stellt die beobachteten Geschwindigkeitsänderungen einer de Laval-Dampfturbinendynamo ohne Kondensation für eine Leistung von normal 135 elektrischen Pferdestärken und einer Tourenzahl von 1050 Touren pro Minute dar. Fig. 104 zeigt die Aufzeichnung der Geschwindigkeitsänderungen eines de Laval'schen Dampfturbinenmotors mit Kon-

¹⁾ Näheres über die Konstruktion des Regulators findet sich in dem Aufsatz von Klein, Zeitschr. des Vereins deutsch. Ingen. 1895, S. 1189.

Fig. 107.



densation und einer normalen Leistung von 100 PS und einer Tourenzahl von 1050 pro Minute. Bei der Dampfturbinendynamo beträgt die maximale Tourenschwankung bei plötzlicher Entlastung bzw. Belastung von etwa 68 PS rund 2 Proz., während beim Dampfturbinenmotor dieselbe bei plötzlicher Entlastung bzw. Belastung von etwa 34 PS sich auf 1 Proz. beläuft.

Fig. 105 u. 106 (a. v. S.) geben Geschwindigkeitsdiagramme eines 300 Kilowatt-Parsons-Turboalternators, welche durch den Experten Herrn Ingenieur F. Roß während der Abnahmeversuche des Elektrizitätswerkes Linz-Urfahr nach halbjährigem regelmäßigen Betriebe mittels eines Tachographen aufgenommen wurden. Aus dem Diagramm ersieht man, daß die Tourenzahl sich zwischen Leerlauf und Vollbelastung nur um etwa 2 Proz. und bei plötzlichen Belastungsänderungen von 100 Proz. sich die Tourenzahl nur um etwa $\pm 1\frac{1}{2}$ Proz., von der Mitte aus gerechnet, ändert; die Maschine erreichte nach Belastungsänderungen von 100 Proz. schon nach $3\frac{1}{2}$ sec ihren Beharrungszustand wieder.

Zum Vergleiche mit den Tourenschwankungen bei Dampfmaschinen sei hier noch ein Diagramm (einer Kuhn'schen liegenden Tandemventildampfmaschine des städtischen Elektrizitätswerkes Frankfurt a. M.), welches auch mittels des selbsttätigen Tachographen gefunden worden ist, gegeben. Die Maschine dient zum Betriebe einer Wechselstromdynamo und leistet normal 560 eff. PS und maximal 750 eff. PS. Die Stromspannung beträgt 3000 Volt, die normale Tourenzahl der Maschine ergibt sich zu 85 Touren pro Minute und der Gesamtwirkungsgrad von Dampfmaschine und Dynamo zu 80,05 Proz. bei Normal- und zu 81,9 Proz. bei Maximalbelastung. Fig. 107 stellt die beobachteten Geschwindigkeitsänderungen der Kuhn'schen Maschine bei verschiedenen Belastungen und Entlastungen dar.

Aus dem Geschwindigkeitsdiagramm geht hervor, daß beim regelmäßigen Betriebe unter irgend einer Belastung die Tourenschwankungen kaum bemerkenswert sind und daß sie bei einer Belastung bzw. Entlastung von 455 auf 590 PS, also um 135 PS, bzw. von 455 PS auf 320 PS, also um 135 PS, nur rund 2 bzw. rund 3 Proz. betragen. Bei einer Belastung von 326 PS auf 410 PS, also um 84 PS, bzw. bei

einer Entlastung von 326 PS auf 246 PS, also um 80 PS, ergeben sich Tourenschwankungen von 2,5 bzw. 2,3 Proz.

Bezüglich der Kuhn'schen Maschinen sei noch erwähnt, daß durch die seit einigen Jahren eingeführten Federregulatoren noch eine günstigere Regulierung erreicht wird.

Einen genaueren Überblick über die Regelmäßigkeit des Betriebes unter verschiedenen Verhältnissen geben die graphischen Darstellungen Fig. 103 bis 107.

Allgemeines über Betriebsdampf und Betriebssysteme der Dampfturbinen.

Wie schon mehrfach angedeutet, wird die Dampfturbine sowohl für Auspuff als auch für Kondensation gebaut. Sie kann mit jedem technisch gebräuchlichen Dampfdrucke bis zu 20 Atm. (vgl. Tabelle zu S. 172) arbeiten. Der Dampfverbrauch gestaltet sich um so günstiger, je größer das Druckgefälle ist. Dies weist darauf hin, wenn möglich, Kondensationsbetrieb zur Anwendung zu bringen. Der verwendete Betriebsdampf soll, wie auch bei Zylinderdampfmaschinen, möglichst trocken dem Turbinenrade zuströmen. Mit besonderem Vorteil wird hochüberhitzter Dampf benutzt. In dieser Hinsicht garantiert z. B. die Maschinenbauanstalt Humboldt, Kalk bei Köln, welche das Fabrikationsrecht der de Laval-Dampfturbine für Deutschland erworben hat, für je 50° Überhitzung eine Dampfersparnis von 5 bis 6 Proz.

Diese sogenannten Heißdampfturbinen werden in allen Größen für Betriebsspannungen bis 20 Atmosphären und eine Überhitzung bis zu 500° C gebaut. Der Betrieb durch Heißdampf mit so außerordentlichen Überhitzungsgraden bietet besonders aus dem Grunde keine Schwierigkeiten, weil der Heißdampf nicht als solcher in den Turbinenraum gelangt, so daß weder hinsichtlich der Dichtung noch hinsichtlich der Schmierung der Lager ein Betriebshindernis seiner Anwendung entgegensteht. Bekanntlich kann man bei Kolbendampfmaschinen höchstens bis zu Überhitzungstemperaturen von 380° C gehen.

Naturgemäß steht dem geringeren Dampfverbrauch bei Überhitzung ein größerer Brennmaterialverbrauch pro Kilogramm Dampf gegenüber. Immerhin hat die Verwendung von Heißdampf einen ökonomischeren Betrieb bezüglich Kohlenverbrauch pro Leistungseinheit im Gefolge. Die Vorteile des Heißdampfbetriebes können durch Ausnutzung der im heißen Austrittsdampf enthaltenen Wärme zu verschiedenen Heizzwecken noch erhöht werden.

Außer den Dampfturbinen für trocken gesättigten Dampf und den Heißdampfturbinen sei noch kurz einer besonderen Klasse, der „Niederdruckdampfturbinen“, Erwähnung getan.

Dieselben kommen in zweierlei Fällen zur Anwendung: 1. Zur Ausnutzung des Auspuffdampfes von Kolbendampfmaschinen, indem der Temperaturabfall des Dampfes vom atmosphärischen Druck bis zur

Kondensatorsspannung durch die Dampfturbine noch sehr vorteilhaft zur Leistung mechanischer Arbeit nutzbar gemacht wird.

2. Zur Einschaltung in eine vorhandene Kondensleitung einer Kondensationsdampfmaschine; hierbei wird der Dampf dem Niederdruckzylinder der Kolbendampfmaschine mit höherem Drucke entnommen als bei direkter Kondensation und das so entstehende kleine Druckgefälle zwischen der Kolbendampfmaschine und der Kondensationsanlage durch die Niederdruckdampfturbine zu mechanischer Arbeitsleistung verwertet. Die Leistung der Dampfmaschine wird hierbei naturgemäß verringert. Dem steht jedoch infolge der vorteilhaften Wirkungsweise der Niederdruckdampfturbine ein erheblich größerer Gewinn an mechanischer Arbeitsleistung gegenüber. Somit dient die Dampfturbine als eine Ergänzung und Vervollkommnung vorhandener Kondensationsanlagen.

Vorzüge und Verwendbarkeit der de Laval-Dampfturbine.

Die Vorzüge der de Laval'schen Dampfturbine liegen vor allem in der einfachen Konstruktion und der gedrängten Bauart. Die Konstruktion, die allerdings in der Ausführung besonders des Turbinenrades und der Übersetzungsräder große Sorgfalt und Präzision erfordert, ist verhältnismäßig einfach, womit hinsichtlich Bedienung, Betriebssicherheit und Instandhaltung große Vorteile verbunden sind. Die Verpackung und Dichtung bietet keine Schwierigkeiten, da Dichtungsflächen nur an den kleinen Buchsen zu den Düsenspindeln vorkommen. Vor allem ist gegenüber den Zylinderdampfmaschinen der Fortfall des schwer zu dichtenden Kolbens von großer Wichtigkeit, wie überhaupt die rein rotierende Bewegung in mehrfacher Hinsicht eine bedeutende Vereinfachung darstellt. Der außerordentlichen Geschwindigkeit, mit der die Turbine betrieben wird, entsprechen kleine Maschinenabmessungen, somit eine große Material- und Raumersparnis. Infolge hiervon und besonders mit Rücksicht auf den Wegfall der Kurbelbewegung, welcher stoßfreien Gang zur Folge hat, können die Fundamente viel schwächer ausgeführt werden als bei allen übrigen Betriebsmaschinen; Dampfturbinen von bedeutenden Leistungen können auf Wandkonsolen und in Stockwerken aufgestellt werden, ohne dem Gebäude schädlich zu werden. Das Schwungrad ist entbehrlich, die Steuerung bei großer Einfachheit sehr empfindlich. Bezüglich des Dampfverbrauches sei auf den unten folgenden Abschnitt verwiesen.

Die hohe Geschwindigkeit der Dampfturbine macht sie in erster Linie für solche Betriebszwecke geeignet, bei welchen an und für sich hohe Umdrehungszahlen gefordert werden. Wenn sie auch für alle anderen Betriebszwecke bei geeigneten Übersetzungen ins Langsame durch Vorgelege brauchbar ist, so wird sie doch besonders da mit Vorteil verwandt, wo eine direkte Kuppelung der zu betreibenden Maschine mit der Welle des Zahnradvorgeleges möglich ist.

Hier ist vor allem der Betrieb der elektrischen Stromerzeuger zu

nennen. Bisher war in der Entwicklung des Dynamobaus die Tendenz zu erkennen, den Stromerzeuger bezüglich Umdrehungszahl immer mehr den gebräuchlichen langsam laufenden Betriebsdampfmaschinen anzupassen, indem man vom Riemenbetrieb und den Dynamos mit wenigen Polen zu dem der direkten Kuppelung und den vielpoligen Generatoren mit ungewöhnlich großen Ankerdurchmessern überging. Der Dampfturbinenbau kommt den Bedürfnissen der Elektrotechnik durch Einführung hoher Tourenzahlen entgegen und führt zu den ursprünglichen Formen der Dynamos mit zwei Polen zurück.

Die Turbinendynamos werden bis etwa 150 PS auf gemeinsamer Grundplatte montiert, während bei höheren Leistungen getrennte Grundplatten für Turbine und Dynamo in Anwendung kommen. Wegen der hohen Tourenzahl muß die Dampfturbinendynamo besonders kompensiös gebaut sein, d. h. sie erhält im Verhältnis zu ihrer Leistung sehr geringe Dimensionen, wodurch die Fabrikationskosten erheblich reduziert werden. Der durch die hohe Tourenzahl und die rein rotierende Bewegung bedingte gleichförmige Gang ist mit Rücksicht auf ein gleichmäßiges Licht als besonderer Vorzug der Dampfturbinendynamo hervorzuheben.

Zwei weitere Betriebsgebiete, auf welchen die Dampfturbine mit Rücksicht auf die hohe erforderliche Umdrehungszahl zweckmäßig verwandt wird, sind die Zentrifugalpumpen und Gebläse. Wie die Dynamos mit den Dampfturbinen, so werden auch die Pumpen und Gebläse mit den Dampfturbinenmotoren auf gemeinsamer Grundplatte montiert und führen in dieser Kombination die Namen „Dampfturbinenpumpen“ und „Dampfturbinengebläse“ bzw. „Dampfturbinenexhaustoren“. Die ersteren dieser drei Maschinengattungen haben auch speziell für elektrische Zentralstationen Interesse, da sie zur Beschaffung des erforderlichen Wassers für die Kesselspeisung und sonstige Zwecke in Frage kommen können.

Dampfverbrauch.

In betriebsökonomischer Hinsicht ist der Dampfverbrauch eines Dampfmotors pro Pferdestärke für die Beurteilung desselben die ausschlaggebende Eigenschaft. Bei Dampfmaschinen ist es üblich, den Dampfverbrauch pro indizierte Pferdekraft und Stunde anzugeben. Dieser Begriff ist für Dampfturbinen illusorisch und es wird daher in den Dampfgarantien der Dampfverbrauch auf die effektive Leistung, und zwar auf die an der Vorgelegewelle der de Laval-Turbine gebremste Pferdekraft und Stunde bezogen, weil das Rädervorgelege einen integrierenden Bestandteil der Dampfturbine bildet; die Arbeit für den Betrieb der Kondensation ist hierbei ausgeschlossen. Um daher die Dampfgarantien von Dampfturbinen mit denjenigen von Dampfmaschinen gleicher Leistung vergleichen zu können, muß der Dampfverbrauch der ersteren auf indizierte Pferdestärken umgerechnet werden; man legt bei dieser Umrechnung den Nutzeffekt zugrunde, welchen eine gute moderne Dampfmaschine von gleicher Nutzleistung aufweisen würde.

Nebenstehend sei eine Tabelle über die Dampfgarantien, welche die Maschinenbauanstalt Humboldt, Kalk bei Köln, bezüglich ihrer de Laval'schen Dampfturbinen leistet, wiedergegeben.

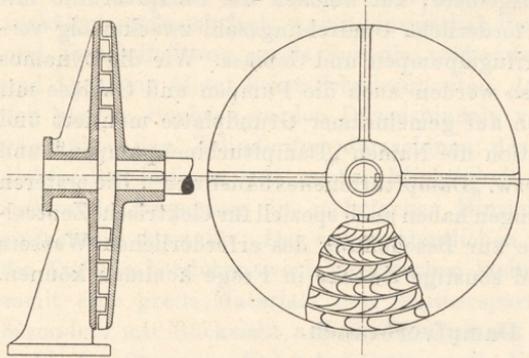
Die Tabelle gibt einen Überblick über den Dampfverbrauch für Maschinen von 3 bis 300 PS Leistung und für Admissionsspannungen von 3 bis 15 Atm. Überdruck.

Die Tabelle läßt erkennen, daß die de Laval-Dampfturbine bezüglich Dampfverbrauch den besten Kolbendampfmaschinen gleichwertig ist.

Die Parsons'sche Dampfturbine ¹⁾.

Einen wesentlich anderen Weg als de Laval schlug Parsons, der Erfinder einer anderen Gattung von Dampfturbinen, bei der Konstruktion seines Motors ein. Anstatt den Dampf sein ganzes Druckgefälle auf einmal durchlaufen zu lassen, ehe derselbe zu nutzbarer Arbeitsleistung gelangt, schaltet Parsons eine Reihe von Leit- und Laufrädern hintereinander, wodurch ein stufenweises Durchfallen der ganzen Spannungshöhe bis zum atmosphärischen bzw. Kondensations-

Fig. 108.



drucke bedingt ist. Durch den geringen Spannungsabfall in einer Stufe wird eine allzu große

Dampfgeschwindigkeit vermieden und kann infolgedessen auch die Umfangsgeschwindigkeit der Dampfturbine eine bedeutend kleinere sein, als dies bei der de Laval'schen Konstruktion der Fall ist.

Der aus einem Laufradkranz austretende Dampf gelangt direkt in den folgenden Leitradkranz, die in demselben dem Dampf erteilte Geschwindigkeit wird im nächsten Laufrade wieder in Arbeit umgesetzt. Die Laufräder sind zu einem einzigen rotierenden, die Leitapparate entsprechend zu einem feststehenden Körper vereinigt.

Beim Durchströmen der Schaufelkränze findet eine allmähliche Druckverminderung und dementsprechend eine Volumvergrößerung des Dampfes statt.

Der Expansion des Dampfes kann bei den als Radialturbinen ausgeführten Dampfturbinen, s. Fig. 108, in einfacher Weise Rechnung getragen werden durch die Verbreiterung der Schaufelkanäle in axialer Richtung, zu welcher noch die natürliche Erweiterung der Kanäle durch

¹⁾ Siehe auch A. Stodola, Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 47, 274 (1903) und Vortrag des Ingen. Sinell, 16. März 1902.