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 Auspuff in m/sec	673	770	828	872	908	937	960	1007
Geschwindigkeit des Dampfstrahles bei Kondensation in m/sec . .	1070	1128	1165	1195	1218	1240	1252	1280

Als besonderer Vorteil der Dampfdüse 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.

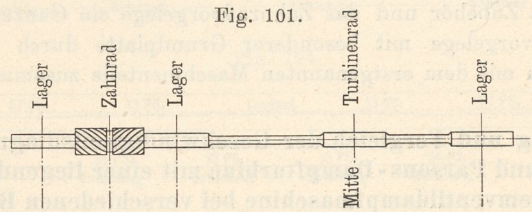
Die Welle.

Die außerordentlich hohe Umlaufszahl 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 $^1/_{10}$ mm Exzentrizität und 30000 Umdrehungen eine Zentrifugalkraft von $\sim$ 100 kg kommen[1]). 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, $m = \frac{\text{Gewicht } (G)}{\text{Beschleunigung } (g)}$, $G = 1$ kg, n die Umdrehungszahl und K die Zentrifugalkraft; dann gilt:

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