



Stumpf haben mit einer einstufigen Versuchsturbine bei 314 m/sek Umfangsgeschwindigkeit 2000 PS erreicht.)

Bei mehrstufigen Turbinen unterscheidet man Geschwindigkeit- und Druckstufen. Ein Rad mit zwei Geschwindigkeitsstufen zeigt Abb. 2220. Die dem Dampf in den Düsen  $D$  erteilte Strömungsenergie wird in zwei auf dem Radumfang

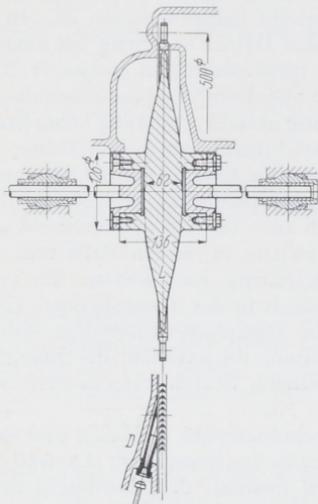


Abb. 2219. Einstufige de Laval dampfturbine  
M. 1 : 10.

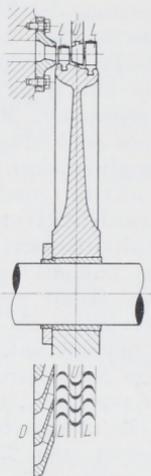


Abb. 2220. Rad mit zwei Geschwindigkeitsstufen.

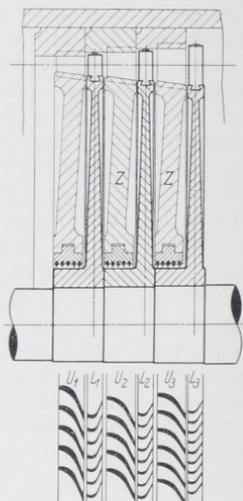


Abb. 2221. Dampfturbine mit Druckstufen.

befestigten Laufschaufelreihen  $L$  ausgenutzt, während die dazwischen angeordneten ruhenden Leitschaufeln  $U$  den Dampf lediglich in die zum Antrieb geeignete Richtung umlenken. Derartige Räder benutzt man vor allem in den ersten Stufen, weil sie gestatten, große Dampfgeschwindigkeiten unter starker Erniedrigung hohen Frischdampfdrucks auszunutzen und dadurch die Inanspruchnahme des Gehäuses und der Zwischenwände einzuschränken. Drei Druckstufen zeigt Abb. 2221. In Düsen oder in einem Leitapparat  $U_1$  wird dem Dampf unter Ausnutzung eines Teils seiner Spannkraft eine bestimmte Geschwindigkeit verliehen, durch welche er die erste Schaufelreihe  $L_1$  des Läufers unter Umlenkung der Dampfstrahlen antreibt. Hierbei nimmt seine Geschwindigkeit und damit seine lebendige Kraft ab. In der anschließenden ruhenden Leitschaufelreihe  $U_2$  wird der Dampf wieder in die zum Antrieb der zweiten Laufschaufelreihe  $L_2$  nötige Strömungsrichtung gebracht, gleichzeitig aber auch seine Geschwindigkeit unter

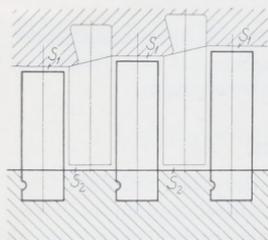


Abb. 2222. Ausschnitt aus einer Trommelturbine.

Verwertung eines weiteren Teils der Spannkraft wieder erhöht usw. Die einzelnen Stufen sind also durch abnehmenden Dampfdruck gekennzeichnet und müssen durch Zwischenwände  $Z$  voneinander getrennt werden, wenn der Läufer in Form einzelner Scheiben, Abb. 2221, ausgebildet ist. Verhältnismäßig kleine Dampfmen gen gehen ungenutzt längs der Radnaben von einer Stufe zur nächsten. Benutzt man dagegen Trommeln als Schaufelträger, Abb. 2222, so sind etwas größere Verluste infolge des Durchströmens eines Teiles des Dampfes durch die Spalten  $S_1$  zwischen den Laufschaufeln und der Gehäusewand und  $S_2$  zwischen den Leitschaufeln und der Trommel unvermeidlich. Bei Beaufschlagung

der Läufer von Überdruckturbinen in durchweg einer Richtung bildet sich zudem ein mit besonderen Mitteln aufzunehmender oder auszugleichender Axialdruck aus.

Von den wichtigsten Formen der Schaufelträger, den Trommeln und Scheiben, sind die ersteren, wie später nachgewiesen wird, nur für mäßige Umfangsgeschwindigkeiten bis zu etwa 100 m/sek geeignet. Sie werden vor allem für die oft sehr zahlreichen Druckstufen der Überdruckturbinen benutzt. So zeigt Abb. 2223 die Trommel einer Schiffsturbine, die wegen

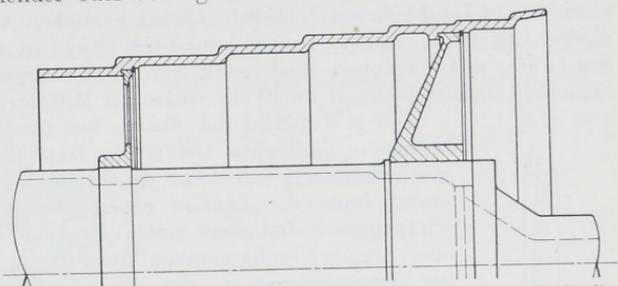


Abb. 2223. Schiffsturbintrommel. Ausführung der AEG, Berlin. (Nach Bauer und Lasche.)

des unmittelbaren Antriebs der Schraube mäßige Drehzahl haben muß. In Abb. 2224 sind zwei durch Schrumpfung miteinander verbundene Trommeln die Träger der Mittel- und Niederdruckstufen.

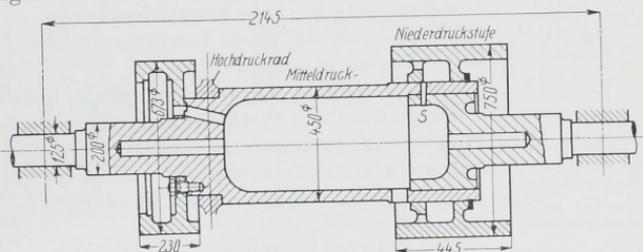


Abb. 2224. Dampfturbintrommel. Ausführung von Brown, Boveri und Co., Baden-Mannheim. M. 1:25.

Das linke Ende der Mitteldrummel ist zur Welle ausgeschmiedet, das rechte aber durch Ausbohren aus dem Vollen hergestellt. In diese Bohrung wurde der andere Wellenschenkel eingeschumpft; radiale Stifte *S* dienen zur Sicherung gegen Verschieben und Verdrehen. Am Läufer der Thyssen-Röder-Turbine, Abb. 2225, sind die zylindrischen Trommeln *A* und *B* mit dem in der Mitte sitzenden Hochdruckrade *C* und den als Scheiben ausgebildeten letzten Stufen *D* und *E* sowie den Wellenschenkeln zentriert und verschraubt. Der Dampf fließt nach Durchströmen des Hochdruckrades gleichmäßig nach beiden Seiten zu den Trommeln.

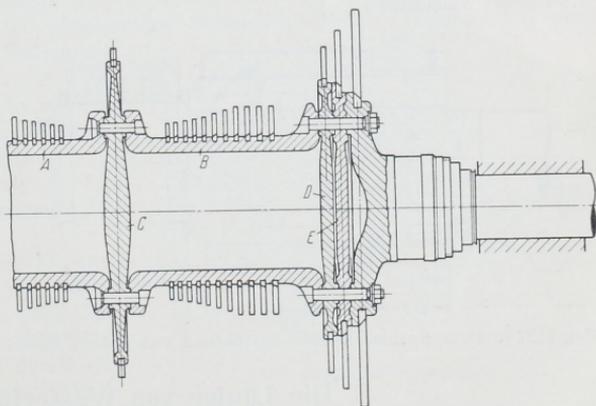


Abb. 2225. Läufer einer Thyssen-Röder-Dampfturbine.

Die kegelig ausgebildete Scheibe mit einseitig ange-setzter Nabe einer Schiffsturbine, Abb. 2226, ist nur für geringe Geschwindigkeiten geeignet, weil die Fliehkraft Biegespannungen hervorruft. Die Ausbildung war dadurch bedingt, daß der große Zwischenboden in Rücksicht auf genügende Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Dampfdruck stark gewölbt sein mußte. Bei größeren Geschwindig-

keiten wird man die Scheiben symmetrisch zu ihrer Hauptebene gestalten. Vergleiche die leichten, für mäßige Geschwindigkeiten bestimmten Scheiben, Abb. 2221, die nur in Rücksicht auf die Abdichtung der Zwischenböden einseitig angesetzte zylindrische

Naben erhielten. An dem hoch beanspruchten Rade Abb. 2220 mußte dagegen auch die Nabe symmetrisch ausgebildet werden. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten macht man von undurchbohrten Scheiben gleicher Festigkeit Gebrauch, Abb. 2219 und C, D, E der Abb. 2225. Zwecks Verminderung der Länge ist man schließlich zur Herstellung der Läufer aus der vollen Welle nach Abb. 2227 übergegangen. Manchmal werden die Schaufeln unmittelbar auf die Welle wie in der Mitteldruckstufe Abb. 2227a aufgesetzt.

Durch die Zahl der Stufen hat man bei einem gegebenen Gefälle die Dampfgeschwindigkeit und damit die für die Beanspruchung des Läufers entscheidende Umfangsgeschwindigkeit sowie die mehr oder weniger vollkommene Ausnutzung der Dampfwärme in der Hand. Die Druckabnahme in den einzelnen Stufen regelt man durch entsprechende Wahl der Querschnitte in den Düsen und zwischen den Schaufeln. Mehrstufige Dampfturbinen gestatten hohe Dampfdrucke auszunutzen und sehr große Leistungen wirtschaftlich zu erzeugen.

Die Schaufeln werden heutzutage in Rücksicht auf den Werkstoff, die billigere Herstellung und den leichteren Ersatz durchweg getrennt hergestellt und in die Scheibenkränze oder Trommelwandungen eingesetzt.

Die späteren Erörterungen beschränken sich auf die konstruktive Durchbildung

der Schaufeln und die Berechnung der Läufer. Wegen der durch die Strömung bedingten Schaufelwinkel und sonstigen Abmessungen muß auf das Schrifttum [XXIX, 1, 2] verwiesen werden. Das Gleiche gilt auch für die anschließend behandelten weiteren Arten rotierender Maschinen.



Abb. 2226. Kegelige Scheibe einer Schiffsturbine für geringe Geschwindigkeit.

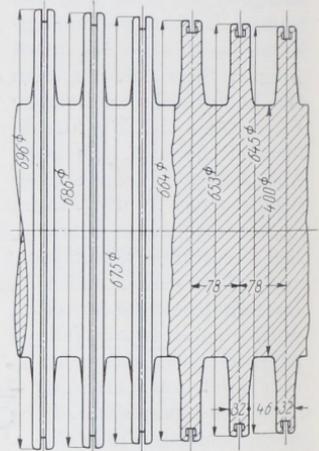


Abb. 2227. Mit der Welle aus einem Stück gedrehter Läufer, AEG, Berlin. M. 1:10.

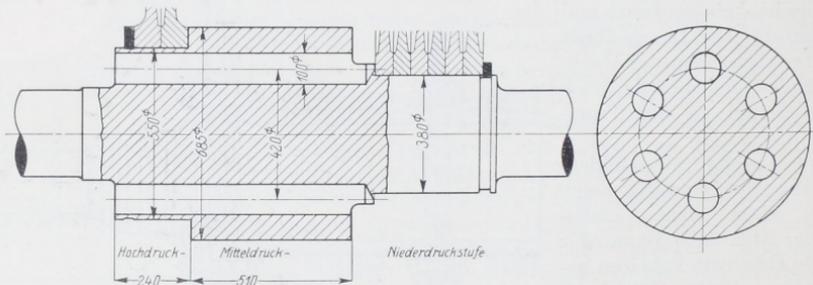


Abb. 2227a. Dampfturbinenläufer. Ausführung von Brown, Boveri und Co., Baden-Mannheim. M. 1:20.

## B. Die Läufer von Wasserturbinen.

Von den zahlreichen Formen der Wasserturbinen, die während der Entwicklungszeit dieser Maschinengattung vorgeschlagen und ausgeführt worden sind, haben heutzutage nur noch die Francis- und die Pelton- oder Becherturbinen Bedeutung. Zu ihnen trat in neuester Zeit die Kaplansturbine.

Francisturbinen arbeiten unter Überdruck, sind durch radialen Zufluß und axialen Abfluß des Wassers und durch räumlich verwundene Schaufeln gekennzeichnet, Abb. 2228

bis 2230. Die Räder bestehen aus zwei Wänden oder einer Nabe und einem Kranz, welche die Schaufeln seitlich begrenzen und festhalten. Die Formen Abb. 2228 bis 2230 sind im wesentlichen durch die Laufgeschwindigkeit bedingt. Form 2229 ist für langsamen Lauf geeignet, Form 2230 für sehr raschen Lauf, Form 2228 entspricht mittleren Verhältnissen.

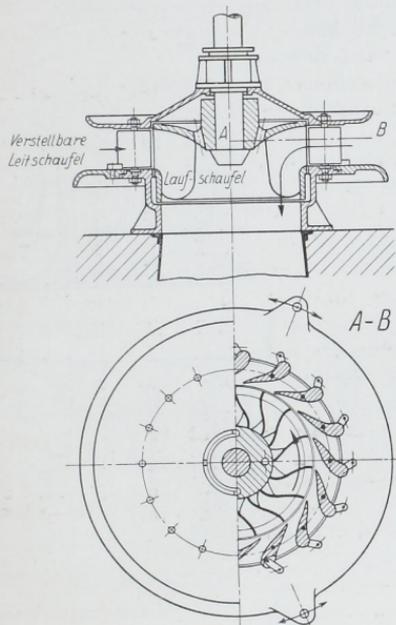


Abb. 2228. Francisturbine für mittlere Laufgeschwindigkeit.

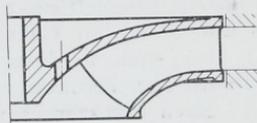


Abb. 2229. Francisturbine für geringe Laufgeschwindigkeit.

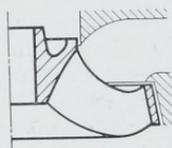


Abb. 2230. Francisturbine für hohe Laufgeschwindigkeit.

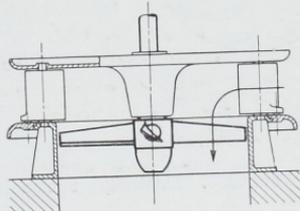


Abb. 2231. Kaplanturbine.

Kaplan gab den Läufern zwecks weiterer Steigerung der Laufgeschwindigkeit der Überdruckturbinen durch wenige flügelartige Schaufeln großer Teilung propeller-ähnliche Form, Abb. 2231. Da zudem die Laufschaufeln in Rücksicht auf die Regelung häufig drehbar gemacht werden und für sich allein den äußeren Kräften gegenüber widerstandsfähig gestaltet werden müssen, liegen sie außerhalb des im vorliegenden Abschnitt behandelten Gebietes.

Becherturbinen sind Freistrahlturbinen. Ihr Läufer besteht aus einer Scheibe, die auf ihrem Umfang Schaufeln in Form doppelschaliger Becher, Abb. 2232, trägt. Der Wasserstrahl wird durch die Schneide *S* der Schaufeln in zwei Hälften zerteilt und gibt bei der Umlenkung in den Becherhöhlungen seine Energie an das Rad ab.

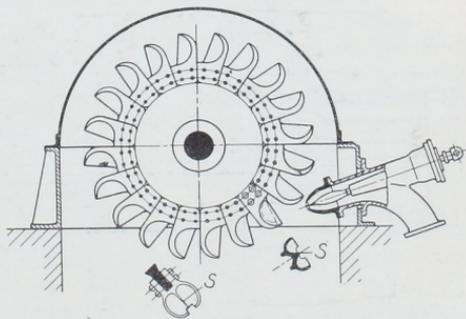


Abb. 2232. Becherturbine.

den Becherhöhlungen seine Energie an das

### C. Die Läufer von Schleudergebläsen, -kompressoren und -pumpen.

Abb. 2233 stellt den Schnitt durch ein beiderseitig beaufschlagtes, einstufiges Schleudergebläse dar. Die Luft strömt in axialer Richtung bei *A* und *B* zu und wird durch die Schaufeln des Rades in einem spiralförmig sich erweiternden Kanal *K* in die bei *C* an-

schließende Rohrleitung gefördert. Die aus Blech gebogenen Schaufeln sind mit den Armen *S* der gegossenen Nabe und mit den Deckscheiben *D* vernietet. Den Verlust, der durch Rückströmen an den Außenflächen der Deckscheiben entsteht, hält man durch genügend kleines Spiel im Gehäuse oder durch Einschalten einer Labyrinthdichtung klein. Bei genau symmetrischer Ausbildung und Einstellung des Rades im Gehäuse entsteht kein Axialdruck; aber auch in diesem Falle wird die Lage des Rades zur Verhütung des Anstreichens beim Laufen durch Stellschrauben, durch Kamm- oder Kugellängslager sichergestellt.

Einstufige Schleudergebläse eignen sich nur für geringe Pressungen. Höhere Drücke lassen

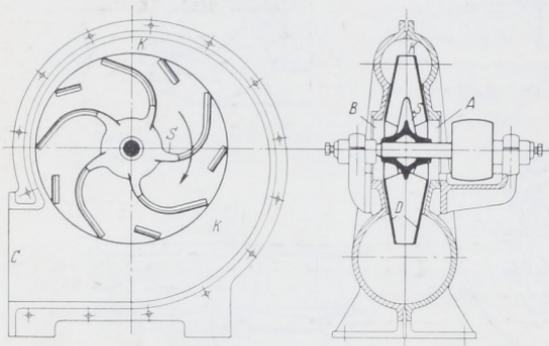


Abb. 2233. Einstufiges Schleudergebläse.

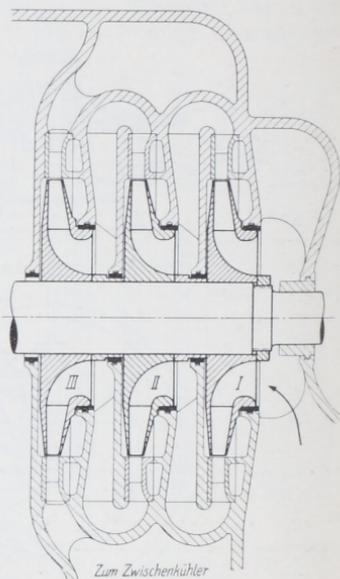


Abb. 2234. Mehrstufiges Turbogebälde.

sich durch Hintereinanderschalten mehrerer Stufen, Abb. 2234, erreichen. Die im Laufrade *I* auf das 1,2- bis 1,3fache der Ansaugspannung verdichtete Luft wird im anschließenden Leitapparat radial nach innen dem Laufrade *II* zugeführt und durch dieses in etwa dem gleichen Verhältnis weiter verdichtet, also auf das 1,4- bis

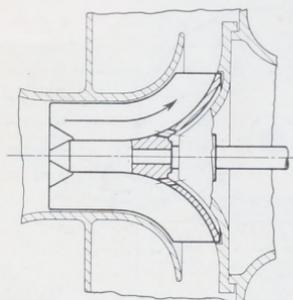


Abb. 2235. Einseitig beaufschlagte Schleuderpumpe, Ausführung von Weise, Söhne, Halle a. S.

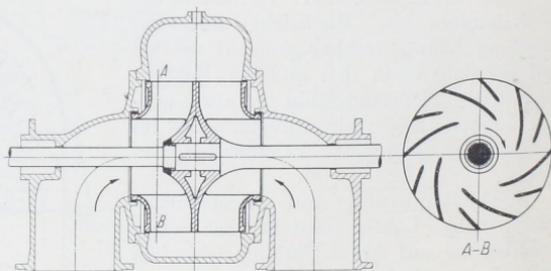


Abb. 2236. Beiderseitig beaufschlagte Schleuderpumpe. Ausführung A. Borsig, Berlin-Tegel.

1,7fache der Ansaugspannung gebracht usw. Bezüglich der Gestaltung der Räder sei nur erwähnt, daß man von der Liefermenge und der Ansauggeschwindigkeit ausgeht und danach zunächst den Zuströmquerschnitt bemißt. Die Geschwindigkeit pflegt abhängig von der Druckhöhe *H* genommen zu werden:

an Ventilatoren zu 5 m/sek bei  $H = 12$ , zu 30 m/sek bei  $H = 360$  mm Wassersäule, bei Turbogebälde und -kompressoren zu 30 bis 50 m/sek. Die Außenabmessungen der

Räder sind bei größeren Leistungen durch die in erster Linie von der Umfangsgeschwindigkeit abhängenden Festigkeitsverhältnisse gegeben. So betrachtet man an Turboverdichtern bei sorgfältiger Durchbildung 180 bis 200 m/sek Umfangsgeschwindigkeit als obere Grenze. Wegen der Einzelheiten bezüglich der Form und Stellung der Schaufeln, die durch die Strömung des zu fördernden Stoffes durch die Räder bedingt sind, muß wiederum auf das Schrifttum verwiesen werden [XXIX, 3, 4, 5]. Großer Wert ist auf die stetige und allmähliche Überleitung der Querschnitte in den Kanälen zu legen.

Die Laufräder von Schleuderpumpen, Abb. 2235 bis 2237, zeigen ähnliche Grundformen wie die der Gebläse, sind aber wegen des größeren Einheitsgewichts der zu fördernden Flüssigkeiten durch geringere Zustromgeschwindigkeiten von 2 bis 4 m/sek und Umfangsgeschwindigkeiten bis höchstens 40 m/sek gekennzeichnet. Als Werkstoffe genügen dabei Gußeisen, bei Hochdruckpumpen Bronze. Die letzteren werden mehrstufig ausgeführt, Abb. 2237; in einem Gehäuse pflegt man jedoch selten mehr als 6 bis 8 Stufen unterzubringen, um bei den beträchtlichen Lagerentfernungen nicht zu große Wellendurchmesser zu bekommen. Dabei bleiben, da Flüssigkeiten praktisch nicht zusammendrückbar sind, die Durchströmquerschnitte in den einzelnen Stufen gleich. Im Gegensatz zu den Luftverdichtern kann daher ein und dasselbe Modell für mehrere oder alle Räder eines Satzes benutzt werden. Bei einseitigem Zulauf entstehen Axialdrucke, die durch geeignete Längslager aufzunehmen oder durch Entlastungsvorrichtungen auszugleichen sind.

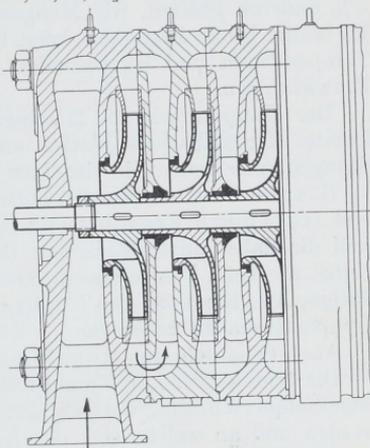


Abb. 2237. Hochdruckschleuderpumpe.  
C. H. Jaeger und Co., Leipzig.

### III. Schaufeln.

#### A. Werkstoffe und Herstellung der Dampfturbinenschaufeln.

Richtige Wahl des Werkstoffs und sorgfältigste Durchbildung der Schaufeln sind in Rücksicht auf die Zerstörungen, die der Bruch einer einzigen Schaufel hervorrufen kann, äußerst wichtig. Die Schaufeln sind bei hohen Laufgeschwindigkeiten und größeren Längen erheblichen Beanspruchungen durch die Fliehkraft und den Dampfdruck sowie durch Schwingungen ausgesetzt; sie unterliegen oft starken Abnutzungen durch die Wirkung des Treibmittels oder durch Rost und müssen leicht in großen Mengen hergestellt werden können. Während reiner überhitzter Dampf den Schaufeln, wenn sie nur den entsprechenden Temperaturen standhalten, so gut wie unschädlich ist, greift unreiner und nasser Dampf die Schaufeln durch die mechanische Wirkung der festen Teilchen und Wassertropfen an. Rostbildung setzt die gleichzeitige Anwesenheit von Luft und Wasser oder Dampf voraus, so daß die wichtigsten Ursachen für Zerstörungen durch Rost sauerstoffhaltiges Wasser, Eindringen von Luft durch die Stopfbüchsen, Undichtheit des Absperrventils, wenn die Maschine außer Betrieb ist, sowie dauerndes Unterampfhalten der Turbinen in Rücksicht auf Betriebsbereitschaft sind. Die längs des Gehäusescheitels ziehenden Dampfschwaden rufen oft starke örtliche Schädigungen hervor. Aber auch durch die chemische Wirkung von Salzen und Säuren, die vom Dampf mitgerissen werden, können Anfrassungen entstehen [XXIX, 6, 7]. Auf reines, entlüftetes Kesselspeisewasser ist daher größter Wert zu legen.

Die wichtigsten Werkstoffe der Schaufeln sind heutzutage Siemens-Martinstahl, Nickelstahl, nicht rostender Stahl, Messing, Nickelmessing und Monelmetall. Die Stahlsorten kommen für Temperaturen über 200° C und für hochbeanspruchte lange Schaufeln