

**Klaus Menny**

# **Strömungsmaschinen**

## **Hydraulische und thermische Kraft- und Arbeitsmaschinen**

5., überarbeitete Auflage

Mit 227 Abbildungen, 36 Tabellen und 47 Beispielen



**Teubner**

# Inhalt

## 1 Gemeinsame Grundlagen der Strömungsmaschinen

1.1	Einleitung .....	1
<b>1.1.1</b>	Definition .....	1
1.1.2	Einteilung .....	2
1.1.3	Vergleich mit Kolbenmaschinen .....	3
1.2	Hydromechanische und thermodynamische Grundlagen .....	4
.2.1	Kontinuitätssatz .....	4
.2.2	Bernoullische Gleichung .....	5
.2.3	Erster Hauptsatz der Thermodynamik .....	6
.2.4	Ideales Gas .....	7
.2.5	Idealer Dampf .....	10
.2.6	Theorie der Düsenströmung .....	12
.2.7	Carnotscher Kreisprozess .....	16
1.3	Energieumsetzung im Laufrad .....	19
1.3.1	Absolut- und Relativgeschwindigkeit, Geschwindigkeitspläne .....	19
.3.2	Spezifische Stutzenarbeit und Wirkungsgrade .....	21
.3.3	Impulssätze der stationären Strömung .....	25
.3.4	Die Eulersche Hauptgleichung .....	26
.3.5	Anwendung des Energieerhaltungssatzes auf Strömungen in rotierenden Kanälen .....	27
1.3.6	Gleichdruck- und Überdruckprinzip .....	28
1.3.7	Reaktionsgrad, Beaufschlagungsgrad .....	30
1.4	Ähnlichkeitsbeziehungen und Kennzahlen .....	33
1.4.1	Ähnlichkeitsbeziehungen .....	33
1.4.2	Kennzahlen .....	35
1.5	Mehrstufigkeit und Mehrflutigkeit .....	39
1.6	Kavitation .....	39

## 2 Wasserturbinen .....

2.1	Einleitung .....	43
2.2	Typenübersicht und Einsatzgebiete .....	45
2.3	Pelton-Turbinen .....	46
2.3.1	Wirkungsweise und Bauformen .....	46
2.3.2	Betriebsverhalten .....	50
2.3.3	Festlegung der Hauptabmessungen .....	54

Inhalt	VII
2.4 Francis-Turbinen	56
2.4.1 Allgemeine Übersicht	56
2.4.2 Zusammenhang zwischen Radform und Schnellläufigkeit	59
2.4.3 Laufradberechnung	61
2.4.4 Betriebsverhalten	64
2.5 Kaplan-Turbinen	66
2.5.1 Bauformen	66
2.5.2 Laufradberechnung	71
<b>3 Dampfturbinen und Dampfkraftanlagen</b>	<b>77</b>
3.1 Einleitung	77
3.2 Der Dampfkraftprozess	81
3.2.1 Der einfache Clausius-Rankine-Prozess	81
3.2.2 Speisewasservorwärmung	83
3.2.3 Zwischenüberhitzung	86
3.2.4 Der wirkliche Prozess	88
3.2.5 Der Sattdampfprozess	91
3.3 Übersicht über Turbinenbauarten	93
3.3.1 Kammerturbinen und Trommelturbinen	93
3.3.2 Kraftwerksturbinen	95
3.3.3 Industrieturbinen	98
3.3.4 Schiffsturbinen	102
3.3.5 Kleinturbinen	104
3.4 Theorie der Einzelstufe	106
3.4.1 Einleitung	106
3.4.2 Eindimensionale Stufentheorie	107
3.4.3 Kenngrößen von Turbinenstufen	110
3.4.4 Curtis-Stufen	115
3.4.5 Das radiale Gleichgewicht der Strömung	120
3.4.6 Nassdampfstufen	124
3.4.7 Gitterwirkungsgrade	126
3.4.8 Weitere Stufenverluste	130
3.5 Auslegung mehrstufiger Turbinen	138
3.5.1 Rückgewinn	138
3.5.2 Stufeneinteilung	141
3.5.3 Verluste und Wirkungsgrade	145
3.5.4 Labyrinthdichtungen	147
3.5.5 Axialschub und Schubausgleich	151
3.5.6 Betrieb	154
<b>4 Gasturbinen</b>	<b>161</b>
4.1 Einleitung	161
4.2 Kreisprozesse	162
4.2.1 Idealprozesse	162
4.2.2 Offener und geschlossener Prozess	167

4.2.3	Verbrennung und Verbrennungsgas.....	168	
4.2.4	Reale Prozesse.....	171	
4.2.5	Kombinierte Gas-Dampf-Prozesse.....	176	
4.3	Baugruppen.....	181	
4.3.1	Turbinen.....	181	
4.3.2	Verdichter.....	184	J
4.3.3	Brennkammern.....	185	
4.4	Anwendungen.....	186	I
4.4.1	Elektrische Energieerzeugung.....	186	I
4.4.2	Pumpen- und Verdichterantrieb.....	187	
4.4.3	Abgasturbolader.....	187	f
4.4.4	Fahrzeugturbinen.....	189	
4.4.5	Schiffsantriebe.....	189	f
4.4.6	Flugzeugtriebwerke.....	190	
<b>5</b>	<b>Kreiselpumpen.....</b>	<b>193</b>	
5.1	Einleitung.....	193	
5.2	Bauformen.....	194	
5.2.1	Schnellläufigkeit und Laufradform.....	194	
5.2.2	Mehrstufige und mehrflutige Pumpen.....	195	
5.2.3	Weitere Konstruktionsformen.....	198	
5.3	Berechnung radialer und halbaxialer Laufräder.....	201	
5.3.1	Meridianform.....	201	
5.3.2	Geschwindigkeitsdreiecke.....	204	
5.3.3	Relativer Kanalwirbel.....	206	
5.3.4	Minderleistung.....	207	
5.3.5	Festlegen des Schaufelverlaufs.....	210	
5.3.6	Doppelt gekrümmte Laufschaufeln.....	213	
5.4	Berechnung weiterer Einzelteile.....	217	
5.4.1	Radiale Leitapparate.....	217	
5.4.2	Spiralgehäuse.....	219	
5.4.3	Axiale Schaufelgitter.....	222	
5.4.4	Axialschub und Schubausgleich.....	226	
5.5	Betriebsverhalten.....	230	
5.5.1	Theoretisch berechnete Kennlinie.....	230	
5.5.2	Das tatsächliche Verhalten der Pumpe.....	234	
5.5.3	Haltedruckhöhe und Kavitation.....	236	
5.5.4	Zusammenarbeit von Pumpe und Rohrleitung.....	240	
5.5.5	Änderung des Betriebspunktes.....	242	
5.5.6	Verhalten der Pumpe außerhalb des normalen Betriebspunktes.....	246	
5.5.7	Pumpspeicherkraftwerke, Pumpenturbinen.....	249	

<b>6 Ventilatoren und Verdichter</b> .....	253
6.1 Einleitung.....	253
6.2 Ventilatoren.....	254
6.2.1 Radialventilatoren.....	254
6.2.2 Axialventilatoren.....	259
6.2.3 Querstromventilatoren.....	263
6.3 Verdichter.....	264
6.3.1 Zwischenkühlung.....	264
6.3.2 Bauformen von Verdichtern.....	267
6.3.3 Wellendichtungen.....	271
6.3.4 Elementare Theorie der Verdichterstufe.....	272
6.3.5 Kennlinien.....	277
<b>7 Hydrodynamische Kupplungen und Wandler</b> .....	281
7.1 Einleitung.....	281
7.2 Föttinger-Kupplungen.....	282
7.2.1 Funktionsweise und Kennlinien.....	282
7.2.2 Zusammenarbeit mit der Antriebsmaschine.....	284
7.2.3 Maßnahmen zur Beeinflussung der Kennlinie.....	285
7.2.4 Kupplungen mit veränderlicher Füllung.....	286
7.3 Föttinger-Drehmomentwandler.....	288
7.3.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	288
7.3.2 Kennlinien.....	290
7.3.3 Stellwandler.....	292
7.3.4 Hydrodynamische Getriebe.....	296
<b>8 Windräder und Propeller</b> .....	301
" 8.1 Einleitung.....	301
8.2 Windräder.....	301
8.2.1 Vorbemerkung.....	301
8.2.2 Windradtheorie.....	303
8.2.3 Bauformen.....	306
8.3 Propeller.....	311
8.3.1 Strahltheorie des Propellers.....	311
8.3.2 Schraubenpropeller.....	312
8.3.3 Voith-Schneider-Propeller.....	314
<b>9 Anhang</b> .....	315
Literaturverzeichnis.....	322
Sachverzeichnis.....	324