

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
1.1.1	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	43
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
3 Dampfturbinen und Dampfkraftanlagen	77
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
4 Gasturbinen	161
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	
5	Kreiselpumpen.....	193	
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	

6 Ventilatoren und Verdichter	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
7 Hydrodynamische Kupplungen und Wandler	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
8 Windräder und Propeller	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
9 Anhang	315
Literaturverzeichnis.....	322
Sachverzeichnis.....	324