

Klaus Menny

Strömungsmaschinen

Hydraulische und thermische
Kraft- und Arbeitsmaschinen

4., durchgesehene und aktualisierte Auflage

Mit 227 Abbildungen, 39 Tabellen
und 48 Beispielen



Teubner

B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

Inhalt

1 Gemeinsame Grundlagen der Strömungsmaschinen

1.1 Einleitung	1
Definition	1
Einteilung	2
1.1.1 Vergleich mit Kolbenmaschinen	3
1.2 Hydromechanische und thermodynamische Grundlagen	4
1.2.1 Kontinuitätssatz	4
1.2.2 Bernoullische Gleichung	5
1.2.3 Erster Hauptsatz der Thermodynamik	6
1.2.4 Ideales Gas	7
1.2.5 Idealer Dampf	10
1.2.6 Theorie der Düsenströmung	12
1.2.7 Carnotscher Kreisprozess	16
1.3 Energieumsetzung im Laufrad	19
1.3.1 Absolut- und Relativgeschwindigkeit, Geschwindigkeitspläne	19
1.3.2 Spezifische Stutzenarbeit und Wirkungsgrade	21
1.3.3 Impulssätze der stationären Strömung	25
1.3.4 Die Eulersche Hauptgleichung	26
1.3.5 Anwendung des Energieerhaltungssatzes auf Strömungen in rotierenden Kanälen	27
1.3.6 Gleichdruck- und Überdruckprinzip	29
1.3.7 Reaktionsgrad und 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	40

2 Wasserturbinen

2.1 Einleitung	42
2.2 Typenübersicht und Einsatzgebiete	44
2.3 Pelton-Turbinen	45
2.3.1 Wirkungsweise und Bauformen	45
2.3.2 Betriebsverhalten	49
2.3.3 Festlegung der Hauptabmessungen	53

2.4 Francis-Turbinen	55
2.4.1 Allgemeine Übersicht	55
2.4.2 Zusammenhang zwischen Radform und Schnellläufigkeit	58
2.4.3 Laufradberechnung	60
2.4.4 Betriebsverhalten	63
2.5 Kaplan-Turbinen	65
2.5.1 Bauformen	65
2.5.2 Laufradberechnung	70
3 Dampfturbinen	76
3.1 Einleitung	76
3.2 Der Dampfkraftprozess	80
3.2.1 Der einfache Clausius-Rankine-Prozess	80
3.2.2 Speisewasservorwärmung	82
3.2.3 Zwischenüberhitzung	85
3.2.4 Der wirkliche Prozess	87
3.2.5 Der Sattdampfprozess	90
3.3 Übersicht über Turbinenbauarten	91
3.3.1 Kammerturbinen und Trommelturbinen	91
3.3.2 Kraftwerksturbinen	93
3.3.3 Industrieturbinen	96
3.3.4 Schiffsturbinen	100
3.3.5 Kleinturbinen	102
3.4 Theorie der Einzelstufe	104
3.4.1 Einleitung	104
3.4.2 Eindimensionale Stufentheorie	105
3.4.3 Kenngrößen von Turbinenstufen	108
3.4.4 Curtis-Stufen	113
3.4.5 Das radiale Gleichgewicht der Strömung	118
3.4.6 Nassdampfstufen	122
3.4.7 Gitterwirkungsgrade	124
3.4.8 Weitere Stufenverluste	128
3.5 Auslegung mehrstufiger Turbinen	136
3.5.1 Rückgewinn	136
3.5.2 Stufeneinteilung	139
3.5.3 Verluste und Wirkungsgrade	143
3.5.4 Labyrinthdichtungen	145
3.5.5 Axialschub und Schubausgleich	149
3.5.6 Betrieb	152
4 Gasturbinen	159
4.1 Einleitung	159
4.2 Kreisprozesse	160

4.2.1	Idealprozesse	160
4.2.2	Offener und geschlossener Prozess	165
4.2.3	Verbrennung und Verbrennungsgas	166
4.2.4	Reale Prozesse	169
4.2.5	Kombinierte Gas-Dampf-Prozesse	174
4.3	Baugruppen	179
4.3.1	Turbinen	179
4.3.2	Verdichter	182
4.3.3	Brennkammern	183
4.4	Anwendungen	184
4.4.1	Elektrische Energieerzeugung	184
4.4.2	Pumpen- und Verdichterantrieb	185
4.4.3	Abgasturbolader	185
4.4.4	Fahrzeigturbinen	187
4.4.5	Schiffsantriebe	188
4.4.6	Flugzeugtriebwerke	188
5	Kreiselpumpen	191
5.1	Einleitung	191
5.2	Bauformen	192
5.2.1	Schnellläufigkeit und Laufradform	192
5.2.2	Mehrstufige und mehrflutige Pumpen	193
5.2.3	Weitere Konstruktionsformen	196
5.3	Berechnung radialer und halbaxialer Laufräder	199
5.3.1	Meridianform	199
5.3.2	Geschwindigkeitsdreiecke	202
5.3.3	Relativer Kanalwirbel	204
5.3.4	Minderleistung	205
5.3.5	Festlegen des Schaufelverlaufs	208
5.3.6	Doppelt gekrümmte Laufschaufeln	211
5.4	Berechnung weiterer Einzelteile	215
5.4.1	Radiale Leitapparate	215
5.4.2	Spiralgehäuse	217
5.4.3	Axiale Schaufelgitter	220
5.4.4	Axialschub und Schubausgleich	224
5.5	Betriebsverhalten	228
5.5.1	Theoretisch berechnete Kennlinie	228
5.5.2	Das tatsächliche Verhalten der Pumpe	232
5.5.3	Haltedruckhöhe und Kavitation	234
5.5.4	Zusammenarbeit von Pumpe und Rohrleitung	237
5.5.5	Änderung des Betriebspunktes	240
5.5.6	Verhalten der Pumpe außerhalb des normalen Betriebspunktes	244
5.5.7	Pumpspeicherkraftwerke, Pumpenturbinen	246

6 Ventilatoren und Verdichter	250
6.1 Einleitung	250
6.2 Ventilatoren	251
6.2.1 Radialventilatoren	251
6.2.2 Axialventilatoren	256
6.2.3 Querstromventilatoren	260
6.3 Verdichter	261
6.3.1 Zwischenkühlung	261
6.3.2 Bauformen von Verdichtern	264
6.3.3 Wellendichtungen	268
6.3.4 Elementare Theorie der Verdichterstufe	269
6.3.5 Kennlinien	274
7 Hydrodynamische Kupplungen und Wandler	278
7.1 Einleitung	278
7.2 Föttinger-Kupplungen	279
7.2.1 Funktionsweise und Kennlinien	279
7.2.2 Zusammenarbeit mit der Antriebsmaschine	281
7.2.3 Maßnahmen zur Beeinflussung der Kennlinie	282
7.2.4 Kupplungen mit veränderlicher Füllung	283
7.3 Föttinger-Drehmomentwandler	285
7.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	285
7.3.2 Kennlinien	287
7.3.3 Stellwandler	290
7.3.4 Hydrodynamische Getriebe	293
8 Windräder und Propeller	297
8.1 Einleitung	297
8.2 Windräder	297
8.2.1 Vorbemerkung	297
8.2.2 Windradtheorie	299
8.2.3 Bauformen	302
8.3 Propeller	306
8.3.1 Strahltheorie des Propellers	306
8.3.2 Schraubenpropeller	308
8.3.3 Voith-Schneider-Propeller	309
9 Anhang	311
Literaturverzeichnis	318
Sachverzeichnis	320