

Kamprath-Reihe

Prof. Dipl.-Ing. Willi Bohl

Strömungsmaschinen 1

Aufbau und Wirkungsweise
7. Auflage

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

	Formelzeichen und Einheiten . . .	9			
1	Einleitung	11			
2	Hauptbetriebsdaten von Strömungsmaschinen.	13			
2.1	Massenstrom	13			
2.2	Volumenstrom	13			
2.3	Spezifische Stutzenarbeit	15			
2.4	Leistung	15			
2.5	Wirkungsgrad	23			
2.6	Drehzahl	24			
2.7	Literatur zu Kapitel 2	24			
3	Energieumsetzung im Laufrad	27			
3.1	Einleitung	27			
3.2	Geschwindigkeitsplan	27			
3.3	Eulersche Strömungsmaschinen-Hauptgleichung	28			
3.4	Literatur zu Kapitel 3	28			
4	Modellgesetze und Kennzahlen	35			
4.1	Einleitung	35			
4.2	Ähnlichkeitsbedingungen	35			
4.3	Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Hauptdaten geometrisch ähnlicher Maschinen	35			
4.3.1	Maßstabsfaktoren	35			
4.3.2	Ähnlichkeitsbeziehung für den Volumenstrom V	36			
4.3.3	Ähnlichkeitsbeziehung für die spezifische Stutzenarbeit Y	36			
4.3.4	Ähnlichkeitsbeziehung für die Leistung P	37			
4.4	Aufwertformeln	38			
4.5	Kennzahlen	40			
4.5.1	Einleitung	40			
4.5.2	Druckzahl τ_v	40			
4.5.3	Durchflußzahl q_v	40			
4.5.4	Leistungszahl X	41			
4.5.5	Laufzahl o	42			
4.5.6	Durchmesserzahl δ	43			
4.5.7	Zusammenfassung	43			
4.6	Cordier-Diagramm	44			
4.7	Aufteilung der spezifischen Stutzenarbeit und des Volumenstromes auf mehrere Laufräder	45			
4.8	Literatur zu Kapitel 4	46			
			5	Kavitation	49
			5.1	Einleitung	49
			5.2	Physikalische Grundlagen	50
			5.2.1	Vereinfachte Erklärung des Kavitationsvorganges	50
			5.2.2	Einige kurze Ausführungen zur Blasendynamik	50
			5.2.3	Kavitationsbeginn und Kavitationszahl	53
			5.2.4	Auswirkungen der Kavitation	54
			5.3	Spezifische Halteenergie	55
			5.3.1	Einleitung	55
			5.3.2	Spezifische Halteenergie der Anlage	56
			5.3.3	Spezifische Halteenergie von Kreiselpumpen und Wasserturbinen	59
			5.4	Kavitationskennzahlen	63
			5.4.1	Die Thoma-Zahl	63
			5.4.2	Die dimensionslose Saugkennzahl S_q nach PETERMANN	67
			5.5	Der NPSH-Wert von Kreiselpumpen	68
			5.5.1	Einleitung	68
			5.5.2	Der NPSH-Wert der Anlage	70
			5.5.3	Kavitationskriterien	72
			5.5.4	Der NPSH-Wert der Kreiselpumpe (NPSHR)	74
			5.5.5	Messung des NPSHR-Wertes	80
			5.5.6	Besondere Einflüsse auf den NPSHR-Wert	83
			5.5.6.1	Einleitung	83
			5.5.6.2	Temperatureinfluß	83
			5.5.6.3	Einfluß des Gasgehaltes	85
			5.5.6.4	Spalteinfluß	87
			5.6	Inducer	88
			5.7	Werkstofffragen	90
			5.8	Literatur zu Kapitel 5	93
			6	Überschallgrenze	97
			6.1	Einleitung	97
			6.2	Die Überschallgrenze bei Verdichtern	98
			6.2.1	Die maximale Mach-Zahl	98
			6.2.2	Die kritische Mach-Zahl	99
			6.2.3	Versuchsergebnisse	101
			6.2.4	Die Schallkennzahl nach Pfeiderer	102

6.2.5	Überschallverdichter	104	8.6	Regelung und Überwachungs- (Sicherheits-)Einrichtungen	155
6.3	Die Überschallgrenze bei Dampf- und Gasturbinen	104	8.6.1	Regelung	155
6.3.1	Einfluß der Mach-Zahl auf die Schaufelverluste	104	8.6.2	Sicherheits- und Überwachungs- einrichtungen	158
6.3.2	Sperrungserscheinungen in der Endstufe großer Kondensations- Dampfturbinen	106	8.7	Literatur zu Kapitel 8	159
6.3.3	Strahlableitung	107	9	Gasturbinen	161
6.4	Literatur zu Kapitel 6	109	9.1	Einleitung	161
7	Wasserturbinen	111	9.2	Gasturbinen-Kreisprozesse	162
7.1	Einleitung	111	9.2.1	Der offene Gasturbinen-Kreispro- zeß ohne Wärmetausch	162
7.2	Übersicht über die Wasserturbi- nenbauarten	114	9.2.2	Der offene Gasturbinen-Kreispro- zeß mit Wärmetausch	165
7.3	Freistrahlturbine	118	9.2.3	Der geschlossene Gasturbinen- Kreisprozeß	166
7.4	Francisturbine	121	9.3	Bauteile einer Gasturbinenanlage	167
7.5	Kaplanturbine	127	9.3.1	Einleitung	167
7.5.1	Spiral-Kaplanturbine	127	9.3.2	Brennkammer	167
7.5.2	Kaplan-Rohrturbine	128	9.3.3	Turbine	169
7.6	Diagonalturbine	130	9.4	Einsatzgebiete der Gasturbine	171
7.7	Durchströmerturbine (Ossberger- Turbine)	131	9.4.1	Ortsfeste Anlagen	171
7.8	Pumpenturbinen	133	9.4.2	Ortsbewegliche Anlagen	174
7.9	Literatur zu Kapitel 7	135	9.5	Literatur zu Kapitel 9	180
8	Dampfturbinen	137	10	Kreiselpumpen	181
8.1	Einleitung	137	10.1	Einleitung	181
8.2	Die Dampfturbine als Teil des Dampfkraftprozesses	138	10.2	Laufadformen	183
8.2.1	Kondensationsturbine	138	10.3	Die einstufige Radialpumpe	185
8.2.2	Gegendruckturbine	138	10.4	Die mehrstufige Radialpumpe	195
8.2.3	Entnahmeturbine	138	10.5	Die zweiflutige Pumpe	205
8.3	Arbeitsweise und Bauformen von Dampfturbinen	140	10.6	Die halbaxiale Pumpe (Diagonal- pumpe)	206
8.3.1	Einleitung	140	10.7	Die Axialpumpe	208
8.3.2	Reaktionsgrad	140	10.8	Literatur zu Kapitel 10	218
8.3.3	Vergleich zwischen Gleichdruck- und Überdruckstufe	141	11	Ventilatoren, Gebläse, Verdichter	221
8.3.4	Vergleich zwischen Kammertur- bine und Trommelturbine	143	11.1	Einleitung	221
8.3.5	Radialturbinen	143	11.2	Radformen	221
8.4	Kraftwerksturbinen	144	11.3	Ventilatoren und Niederdruckge- bläse	222
8.4.1	Konstruktiver Aufbau	144	11.3.1	Einleitung	222
8.4.2	Grenzen im Dampfturbinenbau	149	11.3.2	Radialgebläse und Radialventila- toren	222
8.5	Industrieturbinen	152	11.3.3	Axialgebläse und Axialventilato- ren	227

11.3.4	Querstromgebläse	235
11.4	Turboverdichter	237
11.4.1	Einleitung	237
11.4.2	Radialverdichter	239
11.4.3	Axialverdichter	242
11.4.4	Der kombinierte Axial-Radial- Verdichter	245
11.5	Literatur zu Kapitel 11	248

12	Hydrodynamische Kupplungen und Getriebe	251
12.1	Einleitung	251
12.2	Die hydrodynamische Kupplung (Föttinger-Kupplung)	252
12.3	Drehmomentwandler (Föttinger- Wandler)	256
12.4	Literatur zu Kapitel 12	260

13	Betriebsverhalten von Strömungs- maschinen (Kennfelder)	261
13.1	Einleitung	261
13.2	Die Kennfelder der Strömungs- kraftmaschinen	261
13.2.1	Wasserturbinen	261
13.2.2	Dampfturbinen	263
13.2.3	Gasturbinen	268
13.3	Die Kennfelder der Strömungsar- beitsmaschinen	268
13.3.1	Die Rohrleitungskennlinie	268
13.3.2	Die Drosselkurve	271
13.3.2.1	Theoretische Herleitung der Dros- selkurve	271
13.3.2.2	Theoretische Herleitung der Lei- stungskurve	275
13.3.2.3	Die gemessene Drosselkurve	276
13.3.2.4	Stabile und instabile Drosselkur- ven	277
13.3.3	Kennfelder	279
13.3.3.1	Darstellung des vollständigen Kennfeldes	279
13.3.3.2	Bestimmung des Betriebspunktes	283
13.3.3.3	Meßwesen und Normen	285

13.3.3.4	Toleranzen und Gewährleistungen	285
13.3.4	Anpassung und Regelung	286
13.3.4.1	Das Kennfeld bei variabler Dreh- zahl	286
13.3.4.2	Abdrehen von radialen Laufrädern	289
13.3.4.3	Zuschärfen der Schaufelenden	289
13.3.4.4	Verändern der Laufschaufelzahl bei Axialmaschinen	289
13.3.4.5	Laufschaufelverstellung	292
13.3.4.6	Vordrallregelung	292
13.3.4.7	Nachdrallregelung	294
13.3.4.8	Bypassregelung	295
13.3.4.9	Parallelschaltung	295
13.3.4.10	Reihenschaltung (Hintereinander- schaltung)	302
13.3.4.11	Vergleich der verschiedenen Reg- gelverfahren	302
13.3.5	Einfluß der Viskosität der Förder- flüssigkeit auf die Kennlinien von Kreiselumpen	302
13.3.6	Förderung von Flüssigkeits-Gas- gemischen in Kreiselumpen	305
13.3.7	Förderung von Feststoffen	305
13.3.8	Anlaufen und Auslaufen von Strö- mungsarbeitsmaschinen	305
13.3.9	Kreiselumpen im Turbinenbe- trieb	310
13.3.10	Mindestförderstrom	311
13.4	Die Kennfelder der hydrodynami- schen Kupplungen und Wandler	313
13.4.1	Die Kennlinien der hydrodynami- schen Kupplung	313
13.4.2	Die Kennlinien der hydrodynami- schen Bremse	313
13.4.3	Die Kennlinien des Drehmoment- wandlers (Retarders)	314
13.5	Literatur zu Kapitel 13	317
	Anhang	321
	Stichwortverzeichnis	325