

Kamprath-Reihe

Prof. Dipl.-Ing.
Willi Bohl

Strömungsmaschinen 2

Berechnung und Konstruktion

5. Auflage

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Tell A

Strömungstechnische Auslegung und Berechnung der Bauteile von Strömungsmaschinen

1 Bestimmung der Hauptabmessungen des Laufrades

1.1	Einleitung	13
1.2	Die Laufräder der Wasserturbinen	13
1.2.1	Das Laufrad der Freistrahlturbine	13
1.2.2	Das Laufrad der Francisturbine	16
1.2.3	Das Laufrad der Kaplan-turbine	18
1.2.4	Das Laufrad der Diagonalturbine	21
1.2.5	Das Laufrad der Durchströmturbine	24
1.3	Die Laufräder der axialen Dampf- und Gasturbinen	24
1.3.1	Einleitung	24
1.3.2	Vereinfachte Stufentheorie	24
1.3.3	Kennwerte der Stufe	27
1.3.4	Abschätzung der Stufenzahl	29
1.3.5	Kanalverlauf	30
1.3.6	Profilform	30
1.4	Das Laufrad der Zentripetalturbine	32
1.4.1	Einleitung	32
1.4.2	Vereinfachte Stufentheorie	32
1.4.3	Festlegung der Hauptabmessungen mit Hilfe von Kennzahlen	33
1.5	Die Laufräder der Kreiselpumpen	34
1.5.1	Einleitung	34
1.5.2	Das Laufrad der Radialpumpe	34
1.5.3	Das Laufrad der Axialpumpe	39
1.6	Die Laufräder der Ventilatoren	45
1.6.1	Einleitung	45
1.6.2	Das Laufrad des Radialventilators	45
1.6.3	Das Laufrad des Axialventilators	49
1.6.4	Das Laufrad des Querstromventilators	56
1.7	Die Laufräder der Verdichter	58
1.7.1	Kurze Einführung in die Theorie der Verdichterstufe	58
1.7.2	Dimensionierung der radialen Verdichterstufe	60
1.7.2.1	Einleitung	60
1.7.2.2	Festlegung der Laufradabmessungen mittels dimensionsloser Kennzahlen	60
1.7.2.3	Festlegung der Laufradabmessungen mittels Auslegediagrammen und Richtwerten	61

1.7.2.4	Wahl der Stufenzahl	63
1.7.3	Dimensionierung der axialen Verdichterstufe	65
1.7.3.1	Einleitung	65
1.7.3.2	Hauptparameter eines Axialverdichters	65
1.7.3.3	Bestimmung der Hauptabmessungen über dimensionslose Kennzahlen	66
1.7.3.4	Auslegung von Axialverdichtern mit Hilfe von Auslegediagrammen	67
2	Schaufelgitter	71
2.1	Einleitung	71
2.2	Radialgitter	71
2.2.1	Rotierende Radialgitter (Laufräder)	71
2.2.1.1	Grundsätzliches zur Strömung in rotierenden Radialgittern	71
2.2.1.2	Der Verengungsfaktor k	73
2.2.1.3	Der Minderleistungsfaktor	74
2.2.1.4	Die Schaufelkonstruktion	79
2.2.2	Stehende Radialgitter (Leiträder)	82
2.2.2.1	Einleitung	82
2.2.2.2	Leiträder von Pumpen	83
2.2.2.3	Rückführschaufeln	84
2.2.2.4	Leiträder von Radialverdichtern	86
2.2.2.5	Leiträder der Francisturbine und der Kaplan-turbine	87
2.2.2.6	Leitrad der Zentripetalturbine	88
2.3	Axialgitter	89
2.3.1	Einleitung	89
2.3.2	Einteilung der Axialgitter und Grundbegriffe	89
2.3.3	Strömung und Kraftwirkungen in Axialgittern	90
2.3.4	Hauptbemessungsgleichung für Axialgitter	95
2.3.5	Der Gitterentwurf	97
2.3.6	Einige Hinweise zur Festlegung des Abstandes/zwischen Leitrad und Laufrad	105
3	Weitere Bauteile von Strömungsmaschinen	113
3.1	Düsen	113
3.1.1	Einlaufdüsen	113
3.1.2	Lavaldüsen	115
3.1.3	Die Düse der Freistrahlturbine	117

3.2	Diffusoren	120	4.6.2.3	Der Radialschub	159
3.2.1	Einleitung	120	4.6.3	Spannungen und Verformungen	160
3.2.2	Strömungsverhältnisse	120	4.6.4	Die biegekritische Drehzahl	161
3.2.3	Kreisringdiffusoren	120	4.6.4.1	Einführung	161
3.3	Spiralgehäuse	124	4.6.4.2	Überschlägige Berechnung der biegekritischen Drehzahl	162
3.3.1	Abschätzung des Ein- bzw. Austrittsquerschnitts	124	4.6.4.3	Einflüsse auf die kritische Drehzahl	168
3.3.2	Festlegung der Spiralenquerschnitte	124	4.6.5	Die torsionskritische Drehzahl	171
3.4	Einlauf- und Abströmgehäuse	129	4.6.6	Gestaltungsregeln und Betriebshinweise	171
Teil B			4.7	Rotoren	172
Festigkeitsberechnung und Konstruktion der Bauteile von Strömungsmaschinen			4.7.1	Konstruktive Ausführungen von Rotoren	172
			4.7.2	Berechnung der Rotoren	173
4	Rotierende Teile	133	5	Gehäuseteile	177
4.1	Einfache Grundelemente	133	5.1	Einleitung	177
4.1.1	Prismatischer Stab	133	5.2	Zylindrische Schalen unter innerem Überdruck	177
4.1.1.1	Spannungen	133	5.3	Kreisförmige ebene Platten	180
4.1.1.2	Die radiale Dehnung	134	5.4	Gewölbte Böden	183
4.1.1.3	Die Biegeeigenfrequenz	134	5.5	Kugelschalen	184
4.1.1.4	Die Torsionseigenfrequenz	134	5.6	Stützen	184
4.1.2	Ring (Trommel, Kranz)	135	5.7	Flansche	186
4.1.3	Scheiben gleicher Dicke (konstanter Breite)	136	5.7.1	Flanscharten	186
4.2	Scheiben beliebigen Profiles (veränderlicher Dicke)	140	5.7.2	Rohrflansche (Rundflansche)	187
4.3	Scheiben gleicher Festigkeit	143	5.7.2.1	Die äußeren Kräfte	187
4.4	Radiale Laufräder	144	5.7.2.2	Schraubenkraft	193
4.4.1	Einleitung	144	5.7.2.3	Berechnung der Flansche	193
4.4.2	Überschlägige Berechnung nach Eck	144	5.7.3	Gehäuseflansche (horizontale Teilflansche)	195
4.4.3	Zerlegung des Laufrades in Scheiben und Schaufeln	145	5.7.4	Schrauben	197
4.4.4	Berechnung der Schaufelbiegung im Radialrad	146	5.8	Fixierung von Gehäusen	198
4.5	Axiale Laufräder	149	6	Dichtungen	201
4.5.1	Einleitung	149	6.1	Berührungsdichtungen	201
4.5.2	Fliehkraftbeanspruchung	149	6.1.1	Packungstopfbuchsen	201
4.5.3	Biegebeanspruchung der Axialschaufel	150	6.1.1.1	Einleitung	201
4.5.4	Torsionsbeanspruchung der Schaufel	152	6.1.1.2	Konstruktiver Aufbau und Wirkungsweise	201
4.5.5	Biegeeigenfrequenzen der starr eingespannten Schaufel	152	6.1.1.3	Packungswerkstoffe	202
4.6	Wellen	157	6.1.1.4	Gestaltungshinweise	203
4.6.1	Rotorformen	157	6.1.1.5	Kräfte, Drücke und Momente an und in der Packung	206
4.6.2	Kräfte und Momente	157	6.1.1.6	Einige besondere Stoffbuchsenkonstruktionen	208
4.6.2.1	Allgemeines	157	6.1.2	Axiale Gleitringdichtungen	209
4.6.2.2	Der Axialschub	158			

6.1.2.1	Einleitung	209	7.2.3.3	Auslegung von Axiallagern mit eingearbeiteten Keiflächen	239
6.1.2.2	Aufbau und Wirkungsweise	210	7.2.3.4	Kippsegment-Axiallager	242
6.1.2.3	Kräfte und Momente an der Gleitringdichtung	211	7.3	Wälzlager	244
6.1.2.4	Anordnungen und Ausführungen von Gleitringdichtungen	213	7.3.1	Einleitung	244
6.1.2.5	Leckage	214	7.3.2	Wahl der Lagerart	244
6.1.2.6	Beispiele	215	7.3.3	Wahl der Lagergröße (Dimensionierung)	244
6.1.3	Radial-Wellendichtringe	216	7.3.4	Drehzahlgrenzen	24
6.1.3.1	Aufbau und Wirkungsweise	216	7.3.5	Toleranzen und Passungen	247
6.1.3.2	Auswahl der Dichtung	217	7.3.6	Lagerluft	247
6.1.3.3	Konstruktionsrichtlinien	217	7.3.7	Gestaltungsfragen	248
6.2	Berührungsfreie Dichtungen	221	7.3.8	Abdichtung	248
6.2.1	Einleitung und Einteilung	221	7.3.9	Schmierung	248
6.2.2	Drucklose berührungsfreie Dichtungen	221	7.3.10	Montage	252
6.2.3	Spaltdichtungen	221	7.3.11	Beispiele	253
6.2.3.1	Der axiale Spalt	221	8	Kupplungen	259
6.2.3.2	Der radiale Spalt	226	8.1	Feste Kupplungen	259
6.2.3.3	Schwimmringdichtungen	227	8.2	Elastische Kupplungen	262
6.2.4	Labyrinthspaltdichtungen	228	8.3	Zahnkupplungen	265
6.2.4.1	Durchfußgleichungen (Leckage)	228	9	Fundamente	267
6.2.4.2	Gestaltungshinweise	229	9.1	Allgemeines	267
7	Lager	233	9.2	Zur Konstruktion der Fundamente	267
7.1	Einleitung	233			
7.2	Gleitlager	233			
7.2.1	Bauformen	233			
7.2.2	Radiallager	233			
7.2.3	Axiallager	238			
7.2.3.1	Einleitung	238			
7.2.3.2	Auslegung von Axiallagern mit glatten Anlaufbunden	238			
				Die wichtigsten Formelzeichen und Einheiten	
				Literaturverzeichnis	269
				Stichwortverzeichnis	283