

Strömungsmaschinen

Strömungsmaschinen

Turbinen, Kreiselpumpen und Verdichter

Eine Einführung

von

Dipl.-Ing. Max Adolph

Oberbaurat, Leiter der Abteilung Konstruktionstechnik
an der Staatl. Ingenieurschule für Maschinenwesen
in Hagen

Zweite neubearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 210 Abbildungen
und 40 Berechnungsbeispielen



Springer-Verlag
Berlin/Heidelberg/New York
1965

ISBN 978-3-642-88295-1 ISBN 978-3-642-88294-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-88294-4

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege
(Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1959 and 1965
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1965

Library of Congress Catalog Card Number: 65-22145

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche
berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne
der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von
jedermann benutzt werden dürften

Titel Nr. 0002

Vorwort zur zweiten Auflage

Die im Vorwort zur ersten Auflage begründete Art der Darstellung wird beibehalten. Der Umfang der Strömungslehre wird erweitert, das Berechnungsbeispiel für ein Francisrad geändert.

Seit Jahren ist man bestrebt, nicht mehr das Gewicht bzw. die Kraft, sondern die Masse als Bezugsgröße zu wählen. Der Übergang vom Technischen Maßsystem (nachfolgend TM abgekürzt) zum MKS-System wird für Strömungsmaschinen dadurch erleichtert, daß man nach Prof. PETERMANN die spezifische Stutzenarbeit Y in J/kg neben die Fallhöhe, die Förderhöhe und die spezifische technische Arbeit in kpm/kp stellt. Dementsprechend arbeitet nur der Teil A der zweiten Auflage mit dem TM und mit der Kraftereinheit kp, während in dem Teil B der zweiten Auflage die Gleichungen und Berechnungen auf das MKS-System bezogen sind.

In der Zeit des Übergangs vom TM zum MKS-System sind Umrechnungen nicht zu umgehen. Mit ihnen machen die 27 kleineren Zahlenbeispiele des Teiles B dadurch vertraut, daß die Größen noch in den Einheiten des TM gegeben sind. Um die Umrechnungen zu vereinfachen, wird in der Einführung auf die Bedeutung der kohärenten Einheiten, der allgemeinen und der zugeschnittenen Größengleichungen und auf die Nachteile der Zahlenwertgleichungen eingegangen. Bei den 13 größeren Berechnungsbeispielen des Teiles B sind die Größen bereits in den Einheiten des MKS-Systems gegeben, so daß Umrechnungen nicht mehr erforderlich sind.

Mein Dank gilt den am Schluß aufgeführten Firmen für die Überlassung von Werkbildern, Prospekten und Betriebsvorschriften sowie dem Springer-Verlag für die verständnisvolle Zusammenarbeit und die gute Ausstattung des Buches. Auch möchte ich des Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. PFLEIDERER gedenken, der seit dem Erscheinen der ersten Auflage verstarb und dem ich so manche Anregung verdanke.

Hagen (Westf.), im März 1965

Max Adolph

Vorwort zur ersten Auflage

Wie für jedes Gebiet, so stehen auch für die Behandlung der Strömungsmaschinen zwei Wege offen: Man kann entweder alle Strömungsmaschinen zusammenfassend und vergleichend betrachten oder nur eine Strömungsmaschine, z. B. die Dampfturbine oder die Kreiselpumpe, gewissermaßen stellvertretend für die andern, auswählen und diese dafür eingehend behandeln.

Für den Lehrer und für den Studierenden wird es immer anziehend sein, die Zusammenhänge zu zeigen und zu erkennen. Der Betriebsingenieur wird unter Umständen alle Maschinen in seinem Betrieb haben, und auch für den Konstrukteur einer bestimmten Maschinenart wird es gut sein, etwas von seinen Nachbargebieten zu wissen und u. U. zu verwenden.

Das vorliegende Buch geht deshalb bei der Betrachtung des Energieumsatzes, der Ähnlichkeitsgesetze, der Verluste und der günstigsten Form der Laufräder und Leitvorrichtungen sowie bei der Ableitung der Formeln für die Berechnung weitgehend den ersten Weg, um dann aber getrennt in Wasserturbinen und in Dampfturbinen, in Kreiselpumpen, in Lüfter, Gebläse und Kompressoren die Bauarten, die Berechnung der Hauptabmessungen sowie das Betriebsverhalten und die Regelung zu behandeln.

Hierdurch und durch die Aufnahme der Grundgebiete der Wärme- und Strömungslehre hoffe ich, den Studierenden und Jungingenieuren einen besonderen Dienst zu erweisen.

Mein Dank gilt den am Schluß aufgeführten Firmen, die mich durch Überlassung von Werkbildern, Prospekten und Betriebsvorschriften unterstützten, und dem Verlag, der für die gute Ausstattung des Buches sorgte und meinen besonderen Wünschen entgegenkam.

Hagen (Westf.), im September 1958

Max Adolph

Inhaltsverzeichnis

	Maßsystem		TM	MKS
	Teil	A	B	
		Seite	Seite	Seite
I. Allgemeine Einführung		1		257
Teil A		1		
1. Wirkungsweise und Bauarten der Strömungsmaschinen		1		
2. Geschwindigkeitsverhältnisse am Laufrad		3		
Teil B. Umstellung auf das MKSAK-System				257
1. Das internationale MKS-System				257
2. Erweiterung zum MKSAKC-System				257
3. Größengleichungen				257
a) Größe. Dimension. Einheit. Zahlenwert S. 257 —				
b) Allgemeine Größengleichungen S. 258 — c) Zuge-				
schnittene Größengleichungen S. 258				
4. Zahlenwertgleichungen				258
5. Umrechnung vom Technischen Maßsystem ins MKS-				
System				259
II. Grundlagen der Gas-, Wärme- und Strömungslehre		5		260
A. Gas- und Wärmelehre		5		260
1. Luftdruck. Absoluter Gasdruck. Normalzustand		5		260
2. Thermische Zustandsgleichung der Gase		6		261
3. Wärmezufuhr. Innere Energie. Äußere Arbeit. Enthalpie		6		261
4. Zustandsänderungen und Diagramme		7		262
a) Das Pv -Diagramm S. 8/262 — b) Das Ts -Diagramm				
S. 8/262 — c) Das is -Diagramm S. 8/263				
5. Die Dampfarten und ihre Kennwerte		8		263
6. Die technische Arbeit bei isothermischer, adiabatischer				
und polytropischer Zustandsänderung.		10		264
a) Die isothermische Zustandsänderung S. 10/264 —				
b) Die adiabatische oder isentropische Zustandsänderung				
S. 12/265 — c) Die polytropische Zustandsänderung S. 14/				
267 — d) Die Drosselung S. 18/268				
B. Strömungslehre		18		268
1. Dynamische (absolute) Zähigkeit. Dichte. Kinematische				
Zähigkeit		18		268
2. Impulssatz. Flächensatz. Satz vom Drall oder Potential-				
wirbel.		19		269
3. Fliehkraft. Eigenschwingungszahl des Läufers. Kritische				
Drehzahl		20		269

	Maßsystem	TM	MKS
	Teil	A	B
		Seite	Seite
4. Kontinuitäts- (Stetigkeits-) Gleichung, Potentielle Energie, Druckenergie, Kinetische Energie, Bernoullische Energiegleichung		22	271
a) Potentielle oder Lagenenergie S. 23/271 — b) Druckenergie S. 23/271 — c) Kinetische Energie S. 24/271 — d) Bernoullische Energiegleichung S. 24/271			
5. Reynoldssche Zahl, Grenzschicht, Druckverlust in geraden Röhren und in Umlenkungen, Ablösung (Totwasser) . . .		28	275
a) Laminare Strömung im glatten Rohr S. 28/275 — b) Turbulente Strömung im glatten Rohr S. 30/276 — c) Strömung in rauhen Röhren S. 32/277 — d) Unrunde Querschnitte, Hydraulischer Radius S. 32/277 — e) Umlenkungen S. 32/277 — f) Zusammenfassung, Widerstandshöhe S. 33/277			
6. Zuleitungswiderstand und Fallhöhe bzw. spezifische Stutzenarbeit einer Wasserturbine		33	277
7. Nutzförderhöhe, Förderhöhe bzw. spezifische Stutzenarbeit, Saugzahl und zulässige Saughöhe einer Kreiselpumpe		35	279
8. Nicht stationäre Bewegung		39	281
9. Druck- und Geschwindigkeitsmessung mit Sonde, Pitotrohr und Prandtlischem Staurohr im offenen Strom . . .		40	282
a) Messung des statischen Druckes S. 40 — b) Messung des Gesamtdruckes S. 40 — c) Messung des Staudruckes S. 40			
10. Überfallmessungen		40	282
11. Messungen in Leitungen mit Düsen, Blenden und Venturidüsen		42	283
12. Widerstand von Körpern		44	284
III. Der Energieumsatz in den Strömungsmaschinen		45	284
A. Die Hauptgleichung (Eulersche Gleichung) der Strömungsmaschinen		45	284
1. Spezifische theoretische Laufradarbeit $H_{th\infty}$ kpm/kp bzw. $Y_{th\infty}$ J/kg bei unendlich großer Schaufelzahl		45	284
2. Spezifische theoretische Laufradarbeit H_{th} kpm/kp bzw. Y_{th} J/kg bei endlich großer Schaufelzahl		47	285
3. Berücksichtigung der Strömungsverluste, Eulersche Gleichung		48	285
B. Die Laufradschaufelformen der Strömungsmaschinen		50	287
1. Radialmaschinen: Vorwärts gekrümmte, radial endigende und rückwärts gekrümmte Schaufeln. Einströmkanten der Pumpen		50	
2. Axialmaschinen: Die Becher der Freistrah-Wasserturbinen, die Laufradschaufeln der axialen Dampfturbinen, die Propeller der axialen Wasserturbinen und Arbeitsmaschinen		52	

	Maßsystem Teil	TM A Seite	MKS B Seite
C. Die Tragflügeltheorie		54	287
D. Ähnlichkeitsgesetze und Kennzahlen für Strömungsmaschinen		57	288
1. Die Druckzahl ψ		58	288
2. Die Lieferzahl φ und φ''		58	288
3. Die dimensionslose Kennzahl n_0		59	289
4. Die Gebläse Kennzahl σ		59	289
5. Die Kennzahl n_q aller Strömungsmaschinen. Einheitswerte n'_1 und Q'_1		60	290
6. Die spezifische Drehzahl n_s der Wasserturbinen		62	291
7. Weitere Kennzahlen		62	293
E. Die Verluste in Strömungsmaschinen allgemein		63	294
1. Übersicht		63	294
a) Die Mengenverluste S. 63/294 — b) Die Strömungsverluste in der Strömungsmaschine S. 64/294 — c) Die Energieverluste durch mechanische Reibung S. 64/294 — d) Leistungsformeln S. 64/294			
2. Die Strömungsverluste bei sich ändernder sekundlicher Menge, dargestellt an der Änderung der Förderhöhe einer Kreiselpumpe. Kennlinie einer Kreiselpumpe		65	295
3. Stoßverluste bei sich ändernder sekundlicher Menge.		68	295
a) Stoßverluste bei einer Kraftmaschine, z. B. bei einer Wasserturbine S. 68/295 — b) Stoßverluste bei einer Arbeitsmaschine, z. B. bei einem Ventilator S. 73/296			
F. Die Laufradform für den günstigsten Energieumsatz im Laufrad		77	297
1. Dampfturbinen		77	297
a) Gleichdruckturbinen S. 77/297 — b) Überdruckturbinen S. 78/297			
2. Wasserturbinen		78	297
3. Kreiselpumpen		81	298
4. Kreiselerdichter		83	298
G. Die Leitvorrichtungen		85	298
1. Die Leitvorrichtungen der Turbinen		85	298
a) Wasserturbinen		85	298
α) Gleichdruckturbinen S. 85/298 — β) Überdruckturbinen S. 87/298			
b) Dampfturbinen		89	298
α) Gleichdruckturbinen. Einfache und erweiterte (Laval-) Düsen. Machsche Zahl S. 89/298 — β) Überdruckturbinen S. 96/301			
2. Die Leitvorrichtungen der Arbeitsmaschinen		97	302

	Maßsystem Teil	TM A Seite	MKS B Seite
a) Kreisverdichter		98	302
α) Schaufelloser Leitring S. 98/302 — β) Beschaukeltes Leitrad S. 100/302 — γ) Schaufelloser Umlenkungs- raum S. 101/303 — δ) Rückführbeschaufelung S. 101/ 303 — ϵ) Spiralgehäuse S. 103/304			
b) Kreiselpumpen		104	304
IV. Übersicht über die Turbinen		105	304
A. Wasserturbinen		105	304
1. Gleichdruckturbinen		105	
a) Die Pelton-, Becher- oder Freistrahlturbine S. 105 —			
b) Die Michell-Ossberger-Durchströmturbine S. 108			
2. Überdruckturbinen		108	
a) Die Francisturbinen S. 110 — b) Die Propeller- und Kaplanturbinen S. 112			
B. Dampfturbinen		116	304
1. Allgemeines: Fallhöhengeschwindigkeit, Laufzahl, Güte- zahl		116	304
2. Geschwindigkeitsgestufte Gleichdruckturbinen (Curtis- turbinen). Der Radreibungs- und Ventilationsverlust . .		120	306
3. Druckgestufte Gleichdruckturbinen (Zoellyturbinen). Der Stopfbüchsenverlust		125	306
4. Druckgestufte Überdruckturbinen axialer Bauart (Parsonsturbinen). Der Spaltverlust		133	307
5. Druckgestufte Überdruckturbinen radialer Bauart (Ljungströmturbinen)		142	308
V. Übersicht über die Strömungs-Arbeitsmaschinen		145	308
A. Kreiselpumpen		145	
1. Allgemeines: Grundbegriffe. Axialschubausgleich. Vor- richtungen für das Selbstansaugen		145	
2. Bauarten		148	
B. Kreisverdichter		155	
1. Allgemeines		155	
2. Bauarten		158	
a) Ventilatoren (Lüfter) S. 158 — b) Gebläse und Turbo- kompressoren S. 164			
VI. Berechnungsbeispiele der Hauptabmessungen der Strömungs- maschinen		172	308
A. Wasserturbinen		172	308
1. Peltonrad		172	308
2. Francisrad		173	310
3. Propellerrad		185	312

	Maßsystem Teil	TM A Seite	MKS B Seite
B. Dampfturbinen		189	312
1. Zweikränzige Curtisturbine		189	312
2. Eine Stufe einer Parsonsturbine		199	320
C. Kreiselpumpen		203	324
1. Mehrstufige Radialpumpe		203	324
2. Einstufige Propellerpumpe		208	326
D. Kreiselerdichter		212	328
1. Niederdruckventilator (Trommelläufer)		212	328
2. Mitteldruckventilator (radial endigende Schaufeln)		215	329
3. Großventilator (rückwärts gekrümmte Schaufeln)		216	330
4. Axiallüfter mit profilierten Schaufeln		219	331
5. Axiallüfter mit Blechschaufeln		222	333
6. Turbokompressor (Übersicht über die Gesamtberechnung und Durchrechnung der 1. Stufe)		225	334
VII. Betriebsverhalten und Regelung			234
A. Wasserturbinen			234
1. Sonderverhältnisse			234
a) Das Anfahrmoment S. 234 — b) Verminderung des zufießenden Wasserstroms S. 235 — c) Durchgehen der Turbinen S. 235			
2. Die Aufgabe der Regelung.			235
B. Dampfturbinen			238
1. Das Anfahren der Turbine			238
2. Die Regelung der Turbine			239
3. Das Abstellen der Turbine.			244
C. Pumpen und Verdichter			245
1. Der Betriebspunkt			245
2. Der Auslegungspunkt und der Betriebspunkt			246
3. Drehzahlregelung und Drosselregelung. Der Antrieb.			246
4. Stabiler und labiler Arbeitsbereich. Das „Pumpen“			249
5. Das Zusammenarbeiten mehrerer Arbeitsmaschinen.			251
a) Parallelschaltung S. 251 — b) Hintereinanderschaltung S. 252			
6. Regelungsarten der Kreiselerdichter			253
a) Regelung im stabilen Bereich S. 253 — b) Regelung im instabilen Bereich S. 254			
Schrifttum			340
Druckschriften und Werkbilder.			340
Sachverzeichnis			341