

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
A. Richtlinien zur Festlegung der Auslegungsgrößen von Kompressoren	
I. Allgemeine Richtlinien zur Ermittlung der Bedarfsleistung eines Verdichters...	4
1. Grundbegriffe	4
2. Ermittlung der erforderlichen Druckerhöhung im Verdichter	6
II. Lufterneuerungs- und Kühlkanäle	8
1. Raumlüftung und Klimaanlagen	8
2. Tunnellüftung	9
3. Bergwerksbelüftung	9
Hauptbewetterung S. 9 — Sonderbewetterung S. 11	
4. Kühlgebläse	11
Kühlgebläse für Verbrennungsmotoren S. 11 — Kühlgebläse für Flugmotoren S. 13	
5. Lärmbabwehr bei Lufterneuerungs- und Klimatisationsanlagen	14
III. Windkanäle	15
Unterschall-Windkanäle S. 15 — Überschall-Windkanäle S. 17	
IV. Hochofen- und Stahlwerksgebläse.....	18
Hochofengebläse S. 18 — Stahlwerksgebläse S. 20	
V. Verdichter für pneumatische Förderanlagen	22
VI. Auf- und Überladung von Verbrennungsmotoren	22
1. Viertaktmotor.....	22
2. Zweitaktmotor	24
VII. Gasturbinen	24
1. Gasturbine ohne Wärmeaustauscher	25
2. Gasturbine mit Wärmeaustauscher.....	28
3. Gasturbine für Flugzeugantrieb	33
Propeller-Turbinen-Luftstrahltriebwerk (PTL) S. 34 — Turbinen-Luftstrahltriebwerk (TL) S. 38	
B. Kenngrößen für Strömungsmaschinen auf Grund des Newtonschen Ähnlichkeitsgesetzes	
I. Zweck der Kenngrößen	46
II. Ähnlichkeitsgesetze	46
1. Definition der mechanischen Ähnlichkeit.....	46
2. Das allgemeine NEWTONSche Ähnlichkeitsgesetz	47
3. Das REYNOLDSche Ähnlichkeitsgesetz	47
4. Das MACHsche Ähnlichkeitsgesetz	48
5. Die Lieferzahl φ	49
6. Die Druckzahl ψ	49
7. Die dimensionslosen Kennwerte φ und ψ für Axial- und Radialverdichter	50
Axial durchströmte Verdichter S. 50 — Radial durchströmte Verdichter S. 50	
III. Die Betriebs- oder Drosselzahl	52
IV. Die dimensionslose Drehzahl	54
V. Definition der dimensionslosen Kennzahlen für mehrstufige und mehrflutige Strömungsmaschinen und Beziehungen zwischen Stufenkennzahl und Gesamtkennzahl	57
1. Mehrstufige Bauweise (Stufenzahl z_1)	57
2. Mehrflutige Bauweise (Flutigkeitszahl z_2)	57
3. Kombinierte Bauweise mit einer Stufenzahl z_1 und einer Flutigkeitszahl z_2	58

	Seite
VII. Zusammenhang zwischen \bar{R}_n und gebräuchlichen Definitionen der spezifischen Drehzahlen	59
VIII. Zweckmäßige Wahl der Verdichterbauweise	59
Die Anwendung der dimensionslosen Kennzahlen für beliebige Kraft- und Arbeitsmaschinen S. 60	
VIII. Das Kennfeld bei kompressibler Strömung	67

C. Gemeinsame physikalische Grundlagen der Axial- und Radialkompressoren

I. Geometrie der Kompressorströmung	69
1. Das Geschwindigkeitsdreieck	69
2. Das Schaufelgitter	70
II. Die mechanischen Grundgesetze der Strömungsmaschinen	71
1. Die erweiterte BERNOULLI'sche Gleichung	71
2. Der Impuls- oder Drehmomentensatz	71
3. Die Kontinuitätsgleichung	72
4. Die Hauptgleichungen der Turbinentheorie	72
5. Die Arbeitsgleichungen	74
III. Thermodynamische Grundlagen	75
1. Normalzustand	75
2. Gasgleichung	75
3. Wärmeinhalt und spezifische Wärme	76
4. Der erste Hauptsatz	78
5. Die wichtigsten Zustandsänderungen	79
6. Reibungsbehaftete Strömung	82
IV. Thermodynamik der Kompressoren	82
1. Der ungekühlte Kompressor	
Definition des Kompressorwirkungsgrades im allgemeinen S. 84 — Der adiabatische Wirkungsgrad S. 84 — Der polytropische Wirkungsgrad S. 85 — Der Erhitzungsverlust S. 89	
2. Der gekühlte Kompressor	90
Allgemeine Gesichtspunkte des gekühlten Kompressors S. 90 — Erforderliche Arbeitsleistung für Kompressoren mit Zwischenkühlung ohne Berücksichtigung der Druckverluste durch die Kühlung S. 93 — Berücksichtigung der Druckverluste bei der Kühlung S. 99 — Die in den Kühlnern abzuführende Wärmemenge S. 100 — Vergleich der wirklichen mit der idealen Kühlung S. 101 — Bemerkungen zur Kühlerauslegung S. 102	

D. Der Axialkompressor

I. Einleitung	105
II. Strömungsvorgänge im Axialkompressor	117
III. Die Hauptbemessungsgleichung des Axialkompressors	119
IV. Die Differentialgleichung der Turbomaschinen-Strömung	129
V. Einflußgrößen auf die Bauart von Axialverdichtern	130
1. Der Reaktionsgrad	130
2. Das Nabenvorhältnis	133
3. Die MACHzahl	
Abschätzung der maximalen MACHschen Zahl S. 138 — Abschätzung der kritischen MACHschen Zahl S. 139 — Vergleich mit Versuchsergebnissen S. 141	
4. Die REYNOLDSSCHE Zahl	146
5. Der Minderleistungsfaktor	153
VI. Auslegungsarten von Axialkompressoren	158
1. Verdichter mit konstantem Drall über dem Halbmesser (Wirbelflußmaschinen)	
Wirbelflußmaschinen ohne Vordrall S. 159 — Wirbelflußmaschinen mit positivem Vordrall (Mitdrall) S. 160 — Wirbelflußmaschinen mit negativem Vordrall (Gegendrall) S. 161 — Wirbelflußmaschinen mit wahlweise positivem oder negativem Vordrall S. 164	
2. Verdichter mit gleichem Reaktionsgrad auf allen Schnitten	167
3. Verdichter mit gegenläufigen Laufrädern	173
4. Axialstufe ohne Leitvorrichtung	
Das leitradlose Gebläse mit Gehäuse S. 175 — Das leitradlose Gebläse ohne Gehäuse S. 177	
5. Vergleich der verschiedenen Auslegungsarten von Axialverdichtern	179

VII. Definition der effektiven Förderhöhe und der Wirkungsgrad einer Axialstufe	181
1. Der Stufenverlust für einen Schaufelschnitt	182
2. Die Integration des Stufenverlustes über dem Verdichterquerschnitt	184
Die Integration für die Auslegungsart: konstanter Drall S. 185 — Die Integration für die Auslegungsart: $r = 0,50 = \text{const}$ auf allen Schnitten S. 186	
3. Die mittlere Gleitzahl	187
4. Der Wirkungsgrad einer Normalstufe	188
5. Der effektive Wirkungsgrad der Einzelstufe	193
VIII. Berechnung der Hauptabmessungen von Axialkompressoren	194
1. Kompressor mit konstantem Außendurchmesser	194
2. Kompressor mit veränderlichem Außendurchmesser	202
IX. Auslegungsgrundlagen für Grenzleistungswirbelflußmaschinen	207
1. Grenzleistungsstufe ohne Vorleitrad	209
2. Grenzleistungsstufe bei Optimalbedingungen	211
X. Strömungsvorgänge im Axialverdichter mit konstanter Reaktion über der Schaufelhöhe	213
1. Die erweiterte Differentialgleichung der Verdichterströmung	214
Der Krümmungsradius der Stromflächen-Axialschnitte S. 215	
2. Anwendung der erweiterten Differentialgleichung auf eine Axialstufe mit konstantem Reaktionsgrad über der Schaufelhöhe	216
3. Axialkompressor mit 50% Reaktion auf allen Schnitten und hinreichend konstanter Meridiangeschwindigkeit ab zweiter Stufe	218
Der erforderliche Gesamtdruckverlauf für eine Normalstufe mit annähernd konstanter Meridiangeschwindigkeit und halber Reaktion auf allen Schnitten S. 220 — Anwendung der erweiterten Differentialgleichung der Verdichterströmung auf die Normalstufe mit Druckgradienten S. 221 — Auslegung der Normalstufe mit Druckgradienten S. 222 — Rechnungsbeispiel S. 225 — Näherungsbeziehungen zur Ermittlung der Meridiangeschwindigkeitsverteilung S. 229	
4. Anpassung der ersten Verdichterstufe an die vorgeschriebene Gesamtdruckverteilung	233
Berechnung der maximalen Drehzahl und des Außendurchmessers der Eintrittsstufe S. 235 — Die Vorleitvorrichtung zur Verdichterstufe mit gegebener Gesamtdruckverteilung S. 237 — Auslegung des Nachleitrades der ersten Stufe S. 239	
5. Gestaltung der letzten Stufe	239
6. Sonderbauweisen	240
Axialkompressor mit verschiedenen Drehzahlen in den einzelnen Stufen S. 240 — Axialkompressor mit zylindrischer, unverwundener Vorleitvorrichtung S. 243	
XI. Berechnung der Profilgitter	248
1. Theorie der Profilgitter	248
Das Streckenprofilgitter und seine Abbildung auf den Einheitskreis durch die ablenkungsfreie Parallelströmung S. 249 — Das Streckenprofilgitter bei Strömung mit Ablenkung S. 251 — Berechnung der Geschwindigkeit auf der Kreiskontur bei einer Anströmung mit $\nu_s = 90^\circ$ S. 252 — Berechnung der Geschwindigkeit auf der Kreiskontur bei Zirkulationsströmung S. 253 — Berechnung des Koeffizienten k_0 S. 253 — Geschwindigkeitsverteilung auf der Kreisberandung bei einer Strömung mit Auftrieb S. 253 — Erweiterungen der Abbildung eines Streckenprofilgitters S. 255 — Berechnung von Gittern aus schwach gewölbten Kreisbögen-(skelett-)Profilen S. 255 — Einfluß der endlichen Profildicke S. 258 — Zusammenfassung der Ergebnisse der Gittertheorie S. 262	
2. Praktische Auslegung der Profilgitter	263
Der stoßfreie Strömungszustand S. 263 — Die Leistungen eines Profilgitters bei beliebiger Anströmrichtung S. 268 — Der Profilwiderstand S. 271 — Einfluß der REYNOLDSSCHEN Zahl S. 272 — Korrekturen zur Berücksichtigung des MACHZAHLEINFLusses S. 273 — Rechnungsbeispiel S. 275 — Ergebnisse der NACA-Gitteruntersuchungen S. 277 — Schwach belastete Gitter aus Tragflügelprofilen S. 278 — Zusammensetzung der Schaufel aus Einzelabschnitten S. 281	
3. Näherungsweise Berechnung der Axialgeschwindigkeitsverteilung mit Berücksichtigung der Zähigkeitseinflüsse	284
Berechnung der Grundverteilung S. 284 — Berechnung der Überlagerungsfunktion S. 284 — Gestaltung des Eintrittsgehäuses S. 288	
XII. Die Betriebskennlinien von Axialverdichtern	290
1. Kennfeldberechnung für Axialverdichter unter Verwendung der Berechnungsunterlagen für Schaufelgitter	290
Berechnung der Strömungsumlenkung für ein gegebenes Profilgitter S. 290 — Wirkungsgradbestimmung S. 291	

	Inhaltsverzeichnis	Seite
XII.		
2. Kennfeldberechnung für Axialverdichter mit konstantem Drall	293	
Die relative Kennlinie S. 293 — Das Betriebsverhalten einer Axialstufe bei geänderter Schaufelstellung S. 294 — Das relative Kennfeld einer Axialstufe S. 295		
3. Analytische Kennfeldberechnung für vielstufige Axialverdichter	295	
XIII. Rechnungsbeispiel	300	
E. Der Radialkompressor		
I. Einleitung	317	
II. Strömungsvorgänge und Arbeitsweise des Radialkompressors	329	
1. Abhängigkeit der theoretischen Förderhöhe von der Austrittsrichtung der Strömung aus dem Laufrad	331	
2. Reaktionsgrad	333	
3. Gesichtspunkte für die Wahl des Schaufelaustrittswinkels	333	
III. Strömungsvorgänge in einem rotierenden Schaufelkanal	335	
1. Gleichgewichtsbedingungen der Relativströmung	336	
Kräfte senkrecht zur Strömungsrichtung S. 336 — Kräfte in Strömungsrichtung S. 337 — Differentialgleichung der rotierenden Relativströmung S. 338		
2. Näherungsweise Bestimmung der Relativströmung im Schaufelkanal	338	
3. Theoretische Förderhöhe bei endlicher Schaufelzahl	341	
Minderleistungsfaktor S. 344 — Einfluß der Reibung auf die Minderleistung S. 349		
IV. Definition der Wirkungsgrade einer Radialverdichterstufe	349	
1. Laufradverluste	349	
2. Diffusorverluste	350	
3. Radreibungsverluste	351	
4. Spaltverluste	352	
5. Wirkungsgrad der Normalstufe	357	
V. Hauptabmessungen des Radialkompressors	359	
1. Durchmesserverhältnis	359	
2. Optimaler Eintrittswinkel	360	
3. Einfluß des Schaufelwinkels am Laufradaustritt β_2 auf die Förderhöhe und den Stufenwirkungsgrad	360	
4. Schaufelbreite	362	
5. Schaufelzahl	364	
VI. Das Laufrad	366	
1. Eintritt in die Stufe	366	
2. Eintritt in die Laufradkanäle	368	
Schaufeleintritt in der Krümmungszone S. 369		
3. Austritt aus den Laufradkanälen	373	
4. Entwurf der Laufradkanäle	375	
Kreisbogenschaufel S. 375 — Punktweise Berechnung der Laufradschaufel S. 376 — Laufradkanal gleichen Querschnittsdruckes S. 378		
5. Rechnungsbeispiel	380	
VII. Die Leitvorrichtungen	384	
1. Eintrittsleitvorrichtung	384	
2. Schaufelloser Diffusor	387	
3. Beschaufelter Diffusor	395	
Radial auswärts wirkender Diffusor (Leitapparat) S. 396 — Schaufelgestaltung S. 399 — Abbildung eines kreisförmigen Gitters auf den Einheitskreis S. 402 — Verluste im Leitapparat S. 405 — Rechnungsbeispiel S. 406 — Rückführbeschauflung S. 411		
4. Spiralgehäuse	417	
Grundgleichungen der Spiralenströmung S. 417 — Auslegung der Spirale für reibungsfreie Strömung S. 418 — Spirale mit parallelen Seitenwänden S. 418 — Spirale mit kreisförmigem Querschnitt S. 419 — Spirale mit beliebigen Querschnitten S. 421 — Berücksichtigung der Reibung S. 422 — Berechnung der Spirale unter Berücksichtigung der Kompressibilität S. 425 — Zungenkorrektur S. 426 — Rechnungsbeispiel S. 428		
VIII. Mehrstufige Radialverdichter	430	
1. Abstufung der Laufräder	430	
Strömungstechnische Gesichtspunkte S. 430 — Wirtschaftliche Gesichtspunkte S. 433		
2. Rechnungsbeispiel	433	

	Inhaltsverzeichnis	XIII
	Seite	
IX. Grenzleistungsverdichter.....	439	
1. Auslegungsgrundlagen für Grenzleistungs-Radialverdichter	440	
Grenzen des Durchsatzes S. 440 — Grenzen der Förderhöhe S. 443 — Verluste und Wirkungsgrade S. 444		
2. Gestaltung von Grenzleistungs-Radialverdichtern	446	
Vorsatzläufer S. 446 — Laufrad S. 449 — Berechnung der Strömungsverhältnisse in einem Grenzleistungslaufrad S. 451 — Rechnungsbeispiel S. 455		
3. Leitvorrichtungen von Grenzleistungskompressoren	462	
Strömungswinkel und MACHzahl am Leitradeintritt S. 464 — Druck- und Geschwindigkeitsverteilung im Diffusorkanal S. 465		
X. Die Betriebskennlinien von Radialverdichtern	468	
1. Kennlinie des Verdichters bei konstanter Drehzahl	468	
Reibungsverluste S. 469 — Stoßverluste S. 470 — Volumetrische Verluste S. 472 — Rechnungsbeispiel S. 472		
2. Kennlinien mehrstufiger Radialverdichter :.....	474	
 F. Strömungsarbeitsmaschinen im labilen Arbeitsbereich		
1. Stabilitätsbedingung	477	
2. Abreißen der Strömung	478	
Rotierende Abreiß-Strömung S. 478 — Kompressor-Abreißen S. 480		
3. Pumpen der Verdichter	483	
4. Maßnahmen zur Verbesserung der Pumpgrenze	487	
 G. Regelung der Kompressoren		
I. Regelung im stabilen Gebiet der Kompressorcharakteristik.....	490	
1. Drehzahlregelung	490	
Regelung auf konstanten Enddruck S. 491 — Regelung auf konstantes Ansaugegewicht S. 491		
2. Drosselregelung	491	
Regelung auf konstanten Enddruck S. 491 — Regelung auf konstante Ansaugemenge S. 492		
3. Regelung durch Schaufelverstellung	492	
Eintrittsleitschaufelregelung S. 493 — Laufschaufelregelung S. 493 — Austrittsleitschaufelregelung S. 496		
4. Regelung durch Stufenumgehung	497	
II. Regelung im instabilen Gebiet der Kompressorcharakteristik	497	
1. Abblaseregelung	498	
2. Umblaseregelung	498	
3. Abschaltregelung	498	
4. Umschaltregelung	499	
5. Schematischer Aufbau einer vollständigen Regelanlage	500	
Anhang: Rechentafeln 1—6	501	
Literaturverzeichnis	507	
Sachverzeichnis	526	

In Tasche :

- Tabelle 3a. Leistungsdaten heutiger Gasturbinen in der Leistungsklasse bis 1500 PS
 Tabelle 3b. Leistungsdaten heutiger Gasturbinen in der Leistungsklasse über 1500 PS