

# Inhaltsverzeichnis

---

Formelzeichen .....	XIII
<b>1. Thermodynamische Grundlagen .....</b>	<b>1</b>
1.1 Die thermodynamischen Hauptsätze .....	1
1.2 Zur Thermodynamik der Wärmekraftmaschinen .....	5
1.3 Grundsätzliches über Prozeßuntersuchungen .....	7
1.4 Energieumsatz in stetig durchströmten Systemen .....	10
1.5 Ideales Gas .....	12
1.6 Idealer Dampf .....	15
1.7 Polytroper Wirkungsgrad, Polytropenexponent .....	21
1.8 Isentroper Wirkungsgrad, Rückgewinn, Erhitzungsverlust .....	25
1.9 Innere Wirkungsgrade und Gesamtwirkungsgrade von Turbinen .....	33
1.10 Innere Wirkungsgrade und Gesamtwirkungsgrade von Verdichtern .....	42
1.11 Energiebilanz offener Prozesse .....	47
Literatur .....	49
<b>2. Theorie der Arbeitsprozesse .....</b>	<b>51</b>
2.1 Der Dampfprozeß .....	51
2.2 Die Berechnung des Dampfprozesses .....	60
2.3 Hilfsmittel zur Berechnung des Gasturbinenprozesses .....	66
2.4 Berechnung des Gasturbinenprozesses .....	71
2.5 Der Gasturbinenprozeß mit gekühlter Turbine .....	78
2.6 Kombinierte Prozesse .....	85
Literatur .....	91
<b>3. Strömungstheoretische Grundlagen .....</b>	<b>93</b>
3.1 Grundgleichungen .....	93
3.2 Integralbeziehungen und Folgerungen aus den Grundgleichungen .....	94
3.3 Wirbelsätze, Zirkulation .....	96
3.4 Stromfunktion .....	97
3.5 Potentialströmung .....	99
3.6 Strömung bei hoher Geschwindigkeit .....	102
3.7 Verdichtungsstoß, Verdichtungs- und Verdünnungswellen .....	105
3.8 Die Lavaldüse .....	108
3.9 Ähnlichkeitstheorie und Modellgesetze .....	112
3.10 Grundlagen der Grenzschichttheorie .....	116
3.11 Grenzschichten an der ebenen Platte .....	119
3.12 Grenzschichtberechnung bei beliebiger Druckverteilung .....	121
3.13 Ergänzendes zur Grenzschichttheorie .....	124
3.14 Strömung in Kanälen .....	126
3.15 Reibungsverluste in Kanälen .....	134

3.16 Strömung durch Diffusoren .....	139
3.17 Abschätzung von Verlusten durch Dissipationskoeffizienten .....	141
Literatur .....	142
<b>4. Arbeitsverfahren thermischer Turbomaschinen .....</b>	<b>145</b>
4.1 Turbinen .....	145
4.2 Verdichter .....	154
Literatur .....	160
<b>5. Elementare Theorien der Stufe .....</b>	<b>161</b>
5.1 Vorbereitende Untersuchungen .....	161
5.2 Eindimensionale Theorie der Turbinenstufe .....	163
5.3 Eindimensionale Theorie der Verdichterstufe .....	172
5.4 Mittelwertbildungen .....	178
5.5 Umrechnung von Strömungswirkungsgraden .....	185
5.6 Kennzahlen der Stufe .....	188
5.7 Das Stufenelement, allgemeine Grundlagen .....	192
5.8 Energieumsatz und Wirkungsgrad des Stufenelementes .....	197
a) Turbine .....	199
b) Verdichter .....	202
5.9 Besondere Untersuchungen über das Stufenelement .....	205
a) Turbine .....	205
b) Verdichter .....	212
5.10 Gerades Schaufelgitter, Tragflügeltheorie .....	214
5.11 Verallgemeinerte Tragflügeltheorie des Schaufelgitters .....	220
5.12 Grundsätzliches über die Wirkungsweise der Turbomaschinen .....	225
Literatur .....	229
<b>6. Das Schaufelgitter .....</b>	<b>231</b>
6.1 Allgemeines .....	231
6.2 Mathematische Verfahren der Gittertheorie .....	232
6.3 Grundlagen zur Gitterberechnung nach der Singularitätenmethode .....	235
6.4 Exakte Berechnung der Potentialströmung durch ein gerades Schaufelgitter .....	237
6.5 Angenäherte Gitterberechnung nach der Singularitätenmethode .....	243
6.6 Gitterberechnung durch konforme Abbildung .....	249
6.7 Kompressibilitätseinfluß bei schwach ablenkenden Gittern .....	261
6.8 Zirkulationsverhältnisse im Schaufelstern .....	263
6.9 Abströmwinkel aus eng geteilten Kreisgittern, subsonisch .....	266
6.10 Abströmwinkel aus eng geteilten Kreisgittern, transsonisch .....	272
6.11 Die Netzmethode .....	274
6.12 Exakte Theorie der Strömung durch das rotierende Kreisgitter .....	277
6.13 Entspannung ins Überschallgebiet, Strahlablenkung .....	284
6.14 Transsonische und supersonische Turbinengitter .....	290
6.15 Geschwindigkeitsverteilung in transsonisch durchströmten Gittern .....	293
6.16 Reibungseinflüsse in axial durchströmten Gittern .....	300
6.17 Radial durchströmtes Kreisgitter .....	307
6.18 Ergänzendes zur Gittertheorie .....	311
Literatur .....	314
<b>7. Räumliche Strömung durch Turbomaschinen .....</b>	<b>317</b>
7.1 Allgemeines .....	317
7.2 Potentialströmung .....	319

7.3	Differentialgleichungen der rotationssymmetrischen Strömung .....	325
7.4	Allgemeines über einfache Lösungen .....	330
7.5	Strömung mit konstanter Massenstromdichte .....	333
7.6	Einfache Lösung für große Stufenbreite .....	336
7.7	Einfache Lösung für kleine Stufenbreite .....	337
7.8	Theorie der Repetierstufe .....	345
7.9	Exaktes zweidimensionales Differenzenverfahren .....	351
7.10	Verfahren der finiten Raumelemente (Zeitschrittverfahren) .....	356
7.11	Grundlagen einer dreidimensionalen Theorie .....	362
7.12	Räumliche Strömung durch Radialverdichterräder .....	365
	a) Grundgedanke .....	365
	b) Berechnung der Grundlösung .....	366
	c) Totwasser und Energieschichtung .....	370
	d) Vergleich mit Messungen, Ergänzendes .....	372
7.13	Ausgleichvorgang nach einem Radialverdichterrad .....	374
7.14	Einfluß der Randeffekte .....	378
	Literatur .....	384
<b>8.</b>	<b>Berechnungsunterlagen .....</b>	<b>387</b>
8.1	Allgemeines .....	387
8.2	Versuche an ruhenden Modellen .....	388
8.3	Versuche mit Versuchsmaschinen .....	397
8.4	Unterlagen über Turbinen .....	404
	a) Gittergeometrie .....	404
	b) Radwirkungsgrade .....	407
	c) Spaltverluste, Radreibung, Teilbeaufschlagung .....	415
	d) Zentripetalturbinen .....	421
	e) Verhalten unter geänderten Betriebsbedingungen .....	423
	f) Gekühlte Schaufelungen .....	426
8.5	Unterlagen über Axialverdichter .....	428
	a) Gittergeometrie .....	428
	b) Verluste .....	432
	c) Geänderte Betriebsbedingungen, Stabilitätsgrenze .....	440
8.6	Unterlagen über Radialverdichter .....	442
	a) Allgemeines .....	442
	b) Laufrad .....	449
	c) Diffusor .....	453
	d) Zusätzliche Verluste, Ergänzendes .....	461
8.7	Rauhigkeit der Oberflächen, Zähigkeit der Strömungsmedien .....	465
8.8	Anhang .....	466
	Literatur .....	470
<b>9.</b>	<b>Auslegung von Turbomaschinen .....</b>	<b>474</b>
9.1	Allgemeines .....	474
9.2	Charakteristik der Turbinenstufe .....	475
9.3	Untersuchung über den Leitradquerschnitt .....	480
9.4	Auslegung der mehrstufigen Turbinenschaufelung .....	485
9.5	Typen von Turbinenstufen .....	491
9.6	Auslegung gekühlter Turbinenschaufelungen .....	496
9.7	Entropieänderungen in gekühlten Schaufelungen .....	499
9.8	Durchrechnung der gekühlten Turbinenstufe .....	503
9.9	Entspannung ins Naßdampfgebiet, Feuchtigkeitsverluste .....	508

9.10	Unterlagen über Verluste in Naßdampfturbinen .....	514
9.11	Erosion und Wasserabscheidung .....	520
9.12	Charakteristik der Axialverdichterstufe .....	524
9.13	Auslegung des mehrstufigen Axialverdichters .....	526
9.14	Einlauf und Diffusor der Axialmaschinen .....	530
9.15	Berechnung der Radialverdichterstufe .....	539
9.16	Charakteristik der Radialverdichterstufe .....	541
9.17	Auslegung mehrstufiger Radialverdichter mit Hilfe von Stufencharakteristiken ...	544
9.18	Theorie des Spiralgehäuses .....	546
	Literatur .....	552
<b>10.</b>	<b>Wellendichtungen und Schubausgleich .....</b>	<b>554</b>
10.1	Spiele an Dichtungen und Schaufelungen .....	554
10.2	Gestaltung der Labyrinthdichtungen .....	556
10.3	Theoretische Berechnung des Durchflusses durch Labyrinthdichtungen .....	558
10.4	Theoretisch-empirische Berechnung des Durchflusses durch Labyrinthdichtungen .	560
10.5	Schaltung von Labyrinthdichtungen .....	563
10.6	Axialschub, Bemessung der Ausgleichkolben .....	564
10.7	Der Axialschub bei der Gleichdruckbauart .....	573
	Literatur .....	575
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>576</b>

### Berichtigung

Seite 111, Abb. 3.8.5	:	Statt $f_1/f^* = 2$ lies $f_1/f^* = 1,8$
Seite 167, Abb. 5.2.5	:	Statt $\eta_a^0$ lies $\eta_{sa}^0$ Statt $\eta_a^{(ts)}$ lies $\eta_{sa}^{(ts)}$
Seite 220, Abb. 5.11.1.	:	Statt $c_1, \alpha_1$ , lies $c_2, \alpha_2$ Statt $c_2, \alpha_2$ lies $c_1, \alpha_1$
Seite 308, Abb. 6.17.1	:	Statt $\beta$ lies $\beta_1$ Statt $\beta'_1$ lies $\beta'$
Seite 320, Abb. 7.2.2	:	Statt $h_1$ lies $h_1^0$ Statt $h_2$ lies $h_2^0$
Seite 439, Gl. 8.5(27)	:	Statt $D_N^2 + D_S^2$ lies $D_S^2 - D_N^2$
Seite 498, Abb. 9.6.2	:	Statt $y$ lies $Y$
Seite 509, Abb. 9.9.1	:	Statt $I$ lies $J$