

# Inhaltsverzeichnis

---

Formelzeichen .....	XIII
<b>11. Das Verhalten unter geänderten Betriebsbedingungen .....</b>	<b>1</b>
11.1 Das Verhalten des Gitters und der Stufe .....	1
11.2 Die Charakteristik der Turbinenstufe .....	3
11.3 Das Kegelgesetz .....	6
11.4 Gesamtcharakteristik einer Turbinenschaufelung .....	12
11.5 Nachrechnung von Betriebszuständen von Turbinen .....	16
a) Eindimensionale Verfahren .....	16
b) Zweidimensionale Verfahren .....	22
11.6 Die Charakteristik der Verdichterstufe .....	24
11.7 Die Charakteristik des mehrstufigen Verdichters .....	29
11.8 Der Vorgang des Pumpens, die Pumpgrenze .....	32
11.9 Rotierende Abreißströmung .....	35
11.10 Berechnung von Kennfeldern mehrstufiger Verdichter .....	39
11.11 Abschätzung der Stabilitätsgrenze .....	41
Literatur .....	47
<b>12. Regelung der Dampfturbinen .....</b>	<b>49</b>
12.1 Regeleingriffe .....	49
12.2 Berechnung der Beharrungszustände .....	59
12.3 Wirkungsgrad in Funktion der Leistung .....	66
12.4 Energetischer Vergleich der Regelungsarten .....	72
12.5 Ausbildung und Bemessung der Regelventile .....	80
12.6 Zur Dynamik der Dampfturbinenregelung .....	88
12.7 Berechnung der Überdrehzahlen .....	91
Literatur .....	96
<b>13. Regelung der Turbokompressoren .....</b>	<b>98</b>
13.1 Regeleingriffe .....	98
13.2 Darstellungsweisen von Kennfeldern .....	103
13.3 Berechnung typischer Fälle der Verdichterregelung .....	107
a) Drehzahlregelung .....	107
b) Drosselregelung .....	107
c) Abblaseregelung .....	108
d) Umblaseregelung .....	109
e) Zwischenabblasen und Zwischenumblasen .....	110
f) Verdichter mit Zwischenkühlung .....	111
13.4 Regelung mit verstellbaren Leitschaufeln .....	111
13.5 Pumpverhütungsregelung .....	114
Literatur .....	121

<b>14. Regelung der Gasturbinen</b>	122
14.1 Regeleingriffe	122
14.2 Berechnung der Beharrungszustände	126
a) Allgemeines	126
b) Einwellige Anlage	131
c) Zweiwellige Anlage	133
14.3 Regelung mit verstellbarem Turbinenleitrad	137
14.4 Pumpverhütungsregelung	142
14.5 Zur Dynamik der Gasturbinenregelung	144
Literatur	148
<b>15. Grundlagen der Festigkeitsrechnung</b>	150
15.1 Einleitung	150
15.2 Beschreibung des Spannungszustandes, Vergleichsspannung	150
15.3 Elastisches Verhalten	152
15.4 Plastisches Verhalten	154
15.5 Viskoplastisches Verhalten (Kriechen)	156
15.6 Verfahren der finiten Elemente bei Elastizität	159
a) Allgemeines	159
b) Dreieckselement bei ebenem Spannungszustand	161
c) Dreieckselement bei ebenem Verformungszustand	166
d) Ringelement dreieckigen Querschnittes	167
e) Zusammenfügung der Elemente, Lösung	169
15.7 Verfahren der finiten Elemente bei Plastizität	172
15.8 Kriechen unter variablen Bedingungen	176
15.9 Zyklische Beanspruchung ohne Kriechen	180
15.10 Zyklische Beanspruchung mit Kriechen	186
15.11 Kerbeffekte	190
15.12 Bruchmechanik	194
15.13 Beurteilungskriterien, Sicherheitsfaktoren	199
a) Allgemeines	199
b) Statische Tragfähigkeitsgrenze	199
c) Zyklische Beanspruchung ohne Kriechen	201
d) Quasizyklische Beanspruchung mit Kriechen	203
Literatur	204
<b>16. Festigkeit der Schaufelungen</b>	206
16.1 Schaufelbeanspruchung durch Fliehkraft	206
16.2 Torsionsbeanspruchung von Laufschaufeln	211
16.3 Biegebeanspruchung der Schaufeln durch Strömungskräfte	213
16.4 Rückwirkung der Fliehkraft auf die Beanspruchung der freistehenden Schaufel durch Strömungskräfte	219
16.5 Beanspruchung des Schaufelpaketes durch Strömungskräfte	224
16.6 Wärmespannungen in Schaufeln	229
16.7 Viskoplastischer Spannungszustand in Schaufeln	232
16.8 Die Gestaltung der Schaufelbefestigung	234
16.9 Die Berechnung der Schaufelbefestigung	241
16.10 Die Gesamtbeanspruchung	246
Literatur	247

<b>17. Festigkeit der Rotoren</b>	248
17.1 Freitragender Ring	248
17.2 Radkranz mit Schaufeln, an Scheibe	249
17.3 Differentialgleichungen der rotierenden Scheibe bei elastischer Verformung	253
17.4 Scheibe gleicher Festigkeit	255
17.5 Scheibe konstanter Dicke	257
17.6 Scheibe hyperbolischen Profils	260
17.7 Scheibe beliebigen Profils	261
17.8 Die zylindrische Trommel	266
17.9 Die Berechnung der Schrumpfverbindungen	269
17.10 Ergänzendes zur Spannungsberechnung	272
17.11 Die Beurteilung des Spannungszustandes in Rotoren	276
17.12 Gestaltung von Rotoren	281
Literatur	290
<b>18. Festigkeitsprobleme an stillstehenden Teilen</b>	291
18.1 Allgemeines	291
18.2 Theorie dünner Rotationsschalen	291
18.3 Rotationssymmetrische dickwandige Bauteile	295
18.4 Horizontalflansch und Bolzen	300
18.5 Leitradzwischenböden	306
18.6 Heißgasführende Einsätze	307
Literatur	314
<b>19. Temperatur- und Kühlungsprobleme</b>	315
19.1 Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges	315
19.2 Empirische Unterlagen über Wärmeübergang	318
19.3 Wärmeübergang an Schaufeln	324
19.4 Strenge Lösungen der Wärmeleitungsgleichung	327
a) Stationäre Temperaturfelder	327
b) Instationäre Elementarlösungen	327
c) Allgemeinere instationäre Lösungen	329
19.5 Quasistationäre Berechnung instationärer Temperaturverteilungen	331
19.6 Eindimensionale Wärmeleitung in Stäben, Scheiben und Schalen	336
19.7 Eindimensionale Temperaturverteilung in Schaufeln und Laufradscheiben	340
19.8 Zweidimensionale Temperaturverteilung	347
19.9 Verfahren der finiten Elemente	352
19.10 Gekühlte Gasturbinen	356
19.11 Berechnung gekühlter Systeme	361
19.12 Temperaturkenngrößen gekühlter Schaufeln	364
19.13 Wärmedehnungen	366
19.14 Die Brennkammer	368
Literatur	373
<b>20. Schwingungen von Schaufeln und Scheiben</b>	375
20.1 Der einfache Schwinger	375
20.2 Rückführung des allgemeinen Falles des schwingenden Körpers auf den einfachen Schwinger	378
20.3 Gekoppelte Schwingungen	382

20.4	Differentialgleichungen des schwingenden Stabes .....	383
20.5	Lösung des Eigenwertproblems des schwingenden Stabes .....	385
20.6	Drehschwingungen eines geraden Stabes .....	389
20.7	Bestimmung von Eigenfrequenzen nach der Energiemethode .....	391
20.8	Zusätzliche Effekte bei gedruckten Stäben .....	395
20.9	Eigenfrequenzen von Schaufelpaketen und verjüngten Schaufeln .....	399
20.10	Der Einfluß der Fliehkraft auf die Eigenfrequenzen .....	405
20.11	Schwingungen stark verwundener Schaufeln .....	409
20.12	Berechnung von Scheibenschwingungen mit Übertragungsmatrizen .....	416
20.13	Koppelschwingungen von Schaufeln und Scheibe .....	421
20.14	Schwingungsberechnung nach dem Verfahren der finiten Elemente .....	426
20.15	Experimentelle Untersuchung von Schaufelschwingungen .....	429
20.16	Schwingungsanregung und Spannungsamplitude bei einzeln schwingenden Schaufeln .....	434
20.17	Schwingungsanregung und Spannungsamplitude bei Paketschwingungen ..	440
20.18	Größe der Erregungskräfte (der Stimulus) .....	443
20.19	Selbsterregung, stochastische Erregung, Stoßerregung .....	448
20.20	Die Dämpfung .....	452
20.21	Ergänzendes zur schwingungstechnischen Auslegung .....	455
	Literatur .....	458
<b>12.</b>	<b>Dynamik des Läufers .....</b>	<b>461</b>
21.1	Allgemeines .....	461
21.2	Laval-Rotor, elementare Theorie .....	462
21.3	Laval-Rotor in anisotrop elastischen Lagern .....	466
21.4	Laval-Rotor mit nicht drehsymmetrischer Welle .....	468
21.5	Mechanismen der Selbsterregung .....	471
	a) Allgemeines .....	471
	b) Innere Dämpfung .....	471
	c) Selbsterregung durch den Ölfilm .....	473
	d) Spalterregung .....	474
	e) Künstliche Dämpfung .....	476
21.6	Laval-Rotor bei beliebiger Lagerung und Spalterregung, Stabilitätsuntersuchung .....	477
21.7	Die kritischen Drehzahlen eines beliebigen drehsymmetrischen Läufers...	482
21.8	Die Kreiselwirkung .....	485
21.9	Bestimmung kritischer Drehzahlen nach dem Verfahren von Stodola ....	488
21.10	Berechnung kritischer Drehzahlen nach dem Verfahren der finiten Elemente .....	492
21.11	Theorie der Stabilität und der Ausschläge schwingender Läufer .....	498
21.12	Die Spalterregung .....	503
21.13	Grundlagen der Lagertheorie .....	509
21.14	Rechenverfahren und Ergebnisse der Lagertheorie .....	513
21.15	Unterlagen über Axiallager .....	519
	Literatur .....	524
	<b>Namen- und Sachverzeichnis .....</b>	<b>526</b>

**Inhaltsübersicht****Band I: Thermodynamisch-strömungstechnische Berechnung**

1. Thermodynamische Grundlagen
2. Theorie der Arbeitsprozesse
3. Strömungstheoretische Grundlagen
4. Arbeitsverfahren thermischer Turbomaschinen
5. Elementare Theorien der Stufe
6. Das Schaufelgitter
7. Räumliche Strömung durch Turbomaschinen
8. Berechnungsunterlagen
9. Auslegung von Turbomaschinen
10. Wellendichtungen und Schubausgleich