

**Walter Bitterlich, Sabine Ausmeier,  
Ulrich Lohmann**

# **und Gasturbinenanlagen**

**Darstellung und Berechnung**

Mit 143 Abbildungen, 60 Tabellen  
und ausführlichen Berechnungsbeispielen



**Teubner**

B.G.Teubner Stuttgart • Leipzig • Wiesbaden

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einleitung und Überblick	1
1.2	Historische Entwicklung	4
2	Grundlagen	7
2.1	Thermodynamik	7
2.1.1	Zustandsgrößen	7
2.1.2	Zustandsgleichungen	8
2.1.3	Zustandsänderungen	19
2.2	Strömungsmechanik	26
2.3	Verbrennungslehre	34
2.4	Wärmeübergang	40
2.4.1	Totaltemperatur als Bezugsgröße	40
2.4.2	Gleich- und Gegenstrom-Wärmeaustauscher	43
2.4.3	Zirkularität	48
2.4.4	Grundfälle für den Wärmeübergang	50
2.4.5	Abschätzen der Größe eines Wärmeaustauschers	53
2.5	Wärmestrahlung	55
2.6	Strömungswirkungsgrade	59
3	Thermische Strömungsmaschinen	63
3.1	Stufe einer Strömungsmaschine	63
3.2	Berechnung der Schaufelprofile	72
3.2.1	Skelettlinie	73
3.2.2	Dickenverteilung	76
3.2.3	Bestimmung der gekrümmten Profilkontur	78
3.2.4	Gesamtprofilgrößen	79
3.3	Axialverdichter	81
3.3.1	Verdichterstufe	82
3.3.2	Grenzwerte bei der Auslegung	91

3.3.3	Gesamtverdichter . . . . .	97
3.4	Axialturbine . . . . .	97
3.4.1	Turbinenstufe . . . . .	98
3.4.2	Gesamtturbine . . . . .	135
3.4.3	ISO-Werte der Turbine . . . . .	145
<b>4</b>	<b>Brennkammer</b>	<b>149</b>
4.1	Verbrennungsraum . . . . .	150
4.2	Brennkammer-Diffusor und Brennkammer-Beschleunigungsteil. . .	153
<b>5</b>	<b>Äußere Komponenten</b>	<b>157</b>
5.1	Einlass. . . . .	157
5.2	Turbinen-Diffusor. . . . .	159
5.3	Anlagen Auslass. . . . .	159
<b>6</b>	<b>Gesamtauslegung und Optimierung</b>	<b>161</b>
6.1	Schaltungen . . . . .	161
6.2	Berechnung der Gesamtauslegung . . . . .	163
6.3	Energetische Optimierung . . . . .	164
6.4	Quasi-analytische Berechnung . . . . .	167
6.4.1	Quasi-analytische Berechnung einer einfachen Gasturbinen- anlage mit Luftkühlung der Turbine. . . . .	170
<b>7</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>177</b>
7.1	Kosten. . . . .	177
7.1.1	Fixe Kosten. . . . .	177
7.1.2	BrennstofTkosten. . . . .	181
7.1.3	Zusatzkosten. . . . .	182
7.1.4	Spezifische Stromgestehungskosten. . . . .	182
<b>8</b>	<b>Betriebsverhalten</b>	<b>185</b>
8.1	Stationäres Betriebsverhalten. . . . .	185
8.1.1	Einlass. . . . .	191
8.1.2	Verdichter. . . . .	193
8.1.3	Brennkammer. . . . .	200
8.1.4	Turbine . . . . .	202
8.1.5	Diffusor und Auslass. . . . .	205
8.1.6	Gesamtanlage. . . . .	206
8.2	An- und Abfahren. . . . .	210
8.2.1	Anfahren. . . . .	211

8.2.2	Abfahren . . . . .	216
<b>9</b>	<b>Der Dampfteil von Kombinations-Gasturbinenanlagen</b>	<b>219</b>
9.1	Abhitzedampferzeuger . . . . .	220
9.1.1	Eindruck-Abhitzedampferzeuger . . . . .	220
9.1.2	Zweidruck-Abhitzedampferzeuger . . . . .	227
9.1.3	Dreidruck-Abhitzedampferzeuger . . . . .	230
9.2	Investitionskosten des Dampfteils . . . . .	230
9.2.1	Optimierung einer GuD-Anlage . . . . .	236
<b>A</b>	<b>Berechnungsbeispiele Gasturbine</b>	<b>239</b>
A.1	Adiabate Gesamtturbine . . . . .	239
A.2	Konvektionskühlung eines Leitrades . . . . .	244
A.3	Filmkühlung einer Leitschaufel . . . . .	250
<b>B</b>	<b>Ergebnisse der Auslegungsrechnung für eine 30 MW Gasturbinenanlage</b>	<b>255</b>
B.1	Hauptauslegungsdaten . . . . .	255
B.2	Komponenten der Anlage . . . . .	256
B.2.1	Einlass . . . . .	256
B.2.2	Verdichter . . . . .	257
B.2.3	Brennkammer . . . . .	265
B.2.4	Turbine . . . . .	268
B.2.5	Diffusor und Auslass . . . . .	282
B.3	Gesamtdaten der Anlage . . . . .	283
<b>C</b>	<b>Ergebnisse für eine GuD-Anlage</b>	<b>287</b>
C.1	Hauptauslegungsdaten für die Berechnung . . . . .	287
C.1.1	Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung . . . . .	289
C.1.2	Gesamtbeurteilungsdaten der GuD-Anlage . . . . .	290
	<b>Formelzeichen</b>	<b>299</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>307</b>
	<b>Bildverzeichnis</b>	<b>311</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>317</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>320</b>