Walter Bitterlich | Sabine Ausmeier | Ulrich Lohmann

Gasturbinen und Gasturbinenanlagen

Numerische Beanspruchungsanalyse von Rissen

von M. Kuna

Einführung in die Festigkeitslehre

von V. Läßle

Mechanisches Verhalten der Werkstoffe

von J. Rösler, H. Harders und M. Bäker

Technologie der Werkstoffe

von J. Ruge und H. Wohlfahrt

Ermüdungsrisse

von H. A. Richard und M. Sander

Werkstoffkunde

von W. Weißbach

Aufgabensammlung Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung

von W. Weißbach und M. Dahms

Mechanisches Verhalten der Werkstoffe

von J. Rösler

Kunststoffe in der Ingenieur Anwendung

von M. Bonnet

Walter Bitterlich | Sabine Ausmeier
Ulrich Lohmann

Gasturbinen und Gasturbinenanlagen

Darstellung und Berechnung

Mit 143 Abbildungen, 60 Tabellen
und ausführlichen Berechnungsbeispielen

STUDIUM

**VIEWEG+
TEUBNER**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Prof. Dr.-Ing. Walter Bitterlich ist Professor für Berechnungsmethoden in der Energietechnik am Lehrstuhl für Energie- und Kraftwerkstechnik an der Universität Essen.

Dr.-Ing. Sabine Ausmeier ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Energie- und Kraftwerkstechnik an der Universität Essen.

Dipl.-Ing. Ulrich Lohmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Energie- und Kraftwerkstechnik an der Universität Essen.

1. Auflage 2002

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2002

Lektorat: Thomas Zipsner | Ellen Klabunde

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk 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.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

ISBN-13: 978-3-322-86481-9 e-ISBN-13: 978-3-322-86480-2

DOI: 10.1007/978-3-322-86480-2

Vorwort

Als Ältester der drei Autoren beschäftige ich mich mit Gasturbinen und ihren Komponenten schon mehr als 30 Jahre an den Hochschulen in Aachen und Essen. Zunächst in der Forschung später auch in der Lehre.

Vertieft wurde die Beziehung vor einigen Jahren durch mehrere Forschungsvorhaben zu diesem Thema, die wir zusammen mit einem Hersteller durchführten. Dabei reifte der Entschluss, die gesammelten Erfahrungen in einem Buch zusammenzutragen. Mit meinen beiden - viel jüngeren - Mitautoren, Frau Sabine Ausmeier und Herrn Ulrich Lohmann, haben wir ein Buch geschrieben, das das Verständnis für Gasturbinen vor allem über die physikalischen und formelmäßigen Zusammenhänge und die daraus folgende Berechnung vertiefen soll.

Obwohl natürlich in den Zahlen und den speziellen Anordnungen der jetzige Stand der Technik dargestellt wird, soll das Buch auch in die Zukunft „hineinreichen“. Es richtet sich eigentlich an alle, die mehr über Gasturbinen, auch in der „modernen“ Form als GuD-Kombi-Anlage, wissen wollen.

Zu danken ist an dieser Stelle einer Reihe von Mitarbeitern und Studenten, die Beiträge zum Buch geleistet haben. Zu nennen sind: A. Baars, C. Bernhardt, A. Göb, L. Derichs, K. Divivier, Ch. Engel, O. Hörstgen, H.P. Marschall, M. Odrost und D. Wellié. Zu danken ist natürlich auch dem Verlag, der das „finanzielle Wagnis“ der Herausgabe eines wissenschaftlichen Buches eingegangen ist.

Essen, am 15. April 2002
Walter Bitterlich

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
4	Brennkammer	149
4.1	Verbrennungsraum	150
4.2	Brennkammer-Diffusor und Brennkammer-Beschleunigungsteil . . .	153
5	Äußere Komponenten	157
5.1	Einlass	157
5.2	Turbinen-Diffusor	159
5.3	Anlagen Auslass	159
6	Gesamtauslegung und Optimierung	161
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
7	Wirtschaftlichkeit	177
7.1	Kosten	177
7.1.1	Fixe Kosten	177
7.1.2	Brennstoffkosten	181
7.1.3	Zusatzkosten	182
7.1.4	Spezifische Stromgestehungskosten	182
8	Betriebsverhalten	185
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
9	Der Dampfteil von Kombinations-Gasturbinenanlagen	219
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
A	Berechnungsbeispiele Gasturbine	239
A.1	Adiabate Gesamtturbine	239
A.2	Konvektionskühlung eines Leitrades	244
A.3	Filmkühlung einer Leitschaufel	250
B	Ergebnisse der Auslegungsrechnung für eine 30 MW Gasturbinenanlage	255
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
C	Ergebnisse für eine GuD-Anlage	287
C.1	Hauptauslegungsdaten für die Berechnung	287
C.1.1	Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung	289
C.1.2	Gesamtbeurteilungsdaten der GuD-Anlage	290
	Formelzeichen	299
	Literaturverzeichnis	307
	Bildverzeichnis	311
	Tabellenverzeichnis	317
	Stichwortverzeichnis	320