

H. K. Iben /J. Schmidt

Starthilfe
Thermodynamik

Starthilfe Thermodynamik

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Karl Iben
und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg



B.G. Teubner Stuttgart · Leipzig 1999

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Karl Iben

Geboren 1936 in Hirschberg/Riesengebirge. Von 1953 bis 1956 Fachschulstudium für Kfz-Bau in Zwickau. Anschließend bis 1962 Studium des Maschinenbaues an der TH Dresden in der Vertiefungsrichtung Strömungstechnik bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. W. Albring. Ab 1962 Assistent an der TH Magdeburg am Institut für Strömungsmaschinen und Strömungstechnik bei Herrn Dr. phil. et. Dr.-Ing. R. Irgang. 1967 Promotion. Von 1967 bis 1968 Zusatzstudium am Energetischen Institut in Moskau bei Herrn Prof. Dr. Deitsch. 1969 Oberassistent am Institut für Strömungsmaschinen und Strömungstechnik der TH Magdeburg. Ab 1970 Hochschuldozent für Gasdynamik an der TH Magdeburg. 1974 Habilitation. 1993 Berufung als Apl. Professor für Strömungslehre an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am Institut für Strömungstechnik/Thermodynamik.

E-Mail: hans.iben@masch-bau.uni-magdeburg.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt

Geboren 1949 in Schönstedt/Thüringen. Von 1967 bis 1972 Studium der Verfahrenstechnik an der TH Magdeburg. Ab 1972 Assistent am Institut für Thermodynamik. 1977 Promotion auf dem Gebiet der Thermodynamik irreversibler Prozesse. 1982 facultas docendi für Thermodynamik. Von 1984 bis 1987 Hochschuldozent für Thermodynamik und Fluidmechanik am Centre Universitaire von Tiaret/Algerien. 1989 Berufung zum Hochschuldozenten und seit 1993 o. Professor für Thermodynamik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

E-Mail: juergen.schmidt@masch-bau.uni-magdeburg.de

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Iben, Hans Karl:

Starthilfe Thermodynamik / von Hans Karl Iben und Jürgen Schmidt. – Stuttgart ; Leipzig : Teubner, 1999

ISBN 978-3-519-00262-8

ISBN 978-3-322-87176-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-87176-3

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

© 1999 B.G.Teubner Stuttgart · Leipzig

Einbandgestaltung: Peter Pfitz, Stuttgart

Vorwort

Die vorliegende Starthilfe richtet sich an Studierende an Universitäten und Fachhochschulen, die sich erstmalig mit Thermodynamik beschäftigen. Die Thermodynamik gehört zu den grundlegenden Ingenieurwissenschaften. Erfahrungsgemäß zählt sie zu jenen Fächern, die dem Studenten häufig Startschwierigkeiten bereiten.

Dieser Band soll insbesondere den technisch orientierten Studenten den Einstieg erleichtern und ihnen die Grundlagen der Thermodynamik bis hin zur Anwendung der Erhaltungssätze verständlich erläutern. Werden diese Grundlagen beherrscht, dann ist man in der Lage, sich weitere Anwendungen mit Hilfe der Vorlesung oder der Literatur zu erschließen. Im Unterschied zu einem herkömmlichen Lehrbuch, das eine umfassende und vollständige Darstellung des zu vermittelnden Lehrstoffes enthält, wird in der Starthilfe das erforderliche Grundlagenwissen knapp, aber für das Verständnis ausführlich genug erläutert. Das vorliegende Buch ist damit auch als Nachschlagewerk und insbesondere zur Prüfungsvorbereitung geeignet. Die weiterführenden Anwendungen, wie z.B. das Zustandsverhalten der Dämpfe und der feuchten Luft, die zugeordneten Prozesse und die Grundlagen der Verbrennung, sind den im Literaturverzeichnis aufgeführten Lehrbüchern zu entnehmen, z.B. [Ba96, St92, El93, BK88].

Eine Einführung in die Thermodynamik erfordert zunächst die Definition und die Erklärung der wichtigsten Begriffe. Die Behandlung der Prozesse ist an bestimmte Stoffe gebunden, deren Zustandsgleichungen bekannt sein müssen. Die Bereitstellung entsprechender Stoffgesetze für die Prozeßberechnung ist ein wichtiges Teilgebiet der Thermodynamik. Am Beispiel einfacher Systeme werden die Grundlagen hierfür zusammenfassend im Kapitel 2 vor den Hauptsätzen behandelt. Für das Verständnis dieses Kapitels sind Kenntnisse der Differential- und Integralrechnung für Funktionen mit mehreren Variablen notwendig. Sind diese mathematischen Grundlagen noch nicht ausreichend bekannt, so werden dem Leser zunächst die Abschnitte 2.1, 2.4 und 2.6 des Kapitels 2 empfohlen.

Schwerpunkte der Starthilfe Thermodynamik sind die Behandlung der verschiedenen Energieformen, die Erhaltungssätze, die Hauptsätze der Thermodynamik sowie das Bilanzieren von Systemen. Die Wissensvermittlung wird dabei von interessanten und wichtigen technischen Beispielen begleitet. Die Grundlagen der Energiewandlung und der Prozeßbewertung werden ausführlich am Beispiel des Carnot-Kreisprozesses dargestellt.

Die hier verwendeten Bezeichnungen für die physikalischen Größen orientieren sich an den bewährten Lehrbüchern der Thermodynamik und an den Empfehlungen der International Heat Transfer Conference.

Die Autoren sind für Hinweise und Anregungen der Leser dankbar.

Unser Dank gilt den Herren Prof.Dr.-Ing.habil. Walter Lilienblum, Fachhochschule Magdeburg, Dr.-Ing. Hartwig Boye und Dr.-Ing. Dietmar Weiß, beide Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, und Herrn Dr.rer.nat. Uwe Iben, Institut für Analysis und Numerik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, die das Manuskript kritisch durchgesehen haben und uns wertvolle Anregungen und Hinweise gaben.

Schließlich danken wir dem Teubner-Verlag, insbesondere Herrn J. Weiß, für die angenehme und sehr gute Zusammenarbeit.

Magdeburg, im Januar 1999

Hans Karl Iben und Jürgen Schmidt

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Symbole und Einheiten | 9 |
| 1 Thermodynamische Grundbegriffe | 11 |
| 1.1 Gegenstand der Thermodynamik | 11 |
| 1.2 Thermodynamische Systeme | 12 |
| 1.3 Thermodynamisches Gleichgewicht | 13 |
| 1.4 Zustand und Zustandsgrößen | 15 |
| 1.5 Zustandsänderungen und Prozesse | 18 |
| 2 Zustandsverhalten einfacher Systeme | 19 |
| 2.1 Einstoffsysteme und p, v, T -Verhalten | 19 |
| 2.2 Die thermische Zustandsgleichung | 24 |
| 2.3 Die energetische Zustandsgleichung | 25 |
| 2.4 Ideale Gase | 29 |
| 2.5 Reale Gase | 34 |
| 2.6 Inkompressible und schwach kompressible Fluide | 36 |
| 2.7 Mischungen idealer Gase | 38 |
| 3 Thermodynamische Hauptsätze | 40 |
| 3.1 Das Energieerhaltungsprinzip | 40 |
| 3.2 Die Arbeit | 42 |
| 3.2.1 Mechanische Arbeit und äußere Energien | 42 |
| 3.2.2 Arbeit und innere Energie | 43 |
| 3.3 Die Wärme | 47 |
| 3.4 Der erste Hauptsatz | 48 |
| 3.4.1 Formulierung des ersten Hauptsatzes mit der inneren Energie | 48 |
| 3.4.2 Formulierung des ersten Hauptsatzes mit der Enthalpie | 49 |
| 3.4.3 Die Wärme bei reversiblen Prozessen | 51 |
| 3.4.4 Anwendung des ersten Hauptsatzes auf abgeschlossene Systeme | 53 |
| 3.4.5 Das instationäre Verhalten geschlossener Systeme | 55 |
| 3.5 Der zweite Hauptsatz | 58 |
| 3.5.1 Das Prinzip der Irreversibilität | 59 |
| 3.5.2 Entropie und zweiter Hauptsatz | 60 |
| 3.5.3 Die Entropie als Zustandsgröße | 65 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.5.4 | Reversible und irreversible Zustandsänderungen in adiabaten Systemen | 68 |
| 3.5.5 | Die Dissipationsenergie | 69 |
| 3.6 | Fundamentalgleichungen und Maxwell-Relationen | 73 |
| 4 | Zustandsänderungen perfekter Gase | 76 |
| 4.1 | Elementare Zustandsänderungen | 77 |
| 4.2 | Polytrope Zustandsänderungen | 78 |
| 4.3 | Berechnung der Zustandsgrößen | 79 |
| 4.4 | Berechnung der Prozeßgrößen | 80 |
| 5 | Bilanzierung offener Systeme | 81 |
| 5.1 | Die Massenbilanz | 82 |
| 5.2 | Die Energiebilanz | 83 |
| 5.3 | Die Entropiebilanz | 85 |
| 5.4 | Die technische Arbeit | 86 |
| 6 | Technische Anwendungen | 87 |
| 6.1 | Adiabate Strömungsprozesse | 87 |
| 6.2 | Der Verdichter | 89 |
| 6.3 | Die Gasturbine | 91 |
| 6.4 | Die Wasserturbine | 93 |
| 6.5 | Die Kreiselpumpe | 94 |
| 6.6 | Der Wärmeübertrager | 96 |
| 7 | Kreisprozesse und Energiewandlung | 98 |
| 7.1 | Grundlagen der Kreisprozesse | 98 |
| 7.2 | Möglichkeiten der Energieumwandlung | 100 |
| 7.3 | Der Carnotsche Kreisprozeß | 101 |
| 7.3.1 | Die Wärmekraftmaschine | 102 |
| 7.3.2 | Kältemaschine und Wärmepumpe | 103 |
| | Literatur | 106 |
| | Sachregister | 107 |