Eine Auswahl lieferbarer Bände:

JOACHIM AUTH / DIETMAR GENZOW
KLAUS H. HERRMANN
Photoelektrische Erscheinungen

HANS BANDEMER
ANDREAS BELLMANN
WOLFHART JUNG / KLAUS RICHTER
Optimale Versuchsplanung

FRANK BEICHELT
**Prophylaktische Erneuerung
von Systemen**

JOACHIM BELLACH / PETER FRANKEN
ELKE WARMUTH / WALTER WARMUTH
**Maß, Integral
und bedingter Erwartungswert**

WOLFRAM BRAUER
HANS-WALDEMAR STREITWOLF
**Theoretische Grundlagen
der Halbleiterphysik**

SIEGFRIED BREHMER
Einführung in die Maßtheorie

SIEGFRIED BREHMER
Hilbert-Räume und Spektralmaße

JOHN CUNNINGHAM
Vektoren

GEORG DAUTCOURT
Relativistische Astrophysik

K. CH. DELOKAROV
Relativitätstheorie und Materialismus

WERNER DÜCK
Diskrete Optimierung

HANNELORE FISCHER
JOACHIM PIEHLER
**Modellsysteme
der Operationsforschung**

GOTTFRIED FRITZSCHE
**Grundlagen und Entwurf
passiver Analogzweipole
Netzwerke I
Entwurf passiver Analogvierpole
Netzwerke II**

HERBERT GOERING
**Asymptotische Methoden zur Lösung
von Differentialgleichungen**

HERBERT GOERING
**Elementare Methoden zur Lösung
von Differentialgleichungsproblemen**

EDUARD HERLT / NIKOLAUS SALIÉ
Spezielle Relativitätstheorie

HELMUT HESS
Der elektrische Durchschlag in Gasen

V. I. KAPPMAN
**Nichtlineare Wellen
in dispersiven Medien**

ULRICH KAUSMANN
KLAUS LOMMATZSCH
FRANTIŠEK NOŽIČKA
Lineare parametrische Optimierung

A. R. KESSEL
Akustische Kernresonanz

KONRAD KREHER
Festkörperphysik

DIETER KRESS
**Theoretische Grundlagen der Signal-
und Informationsübertragung**

V. S. LETOCHOW
Laserspektroskopie

DIERCK-ECHEHARD LIEBSCHER
**Relativitätstheorie
mit Zirkel und Lineal**

WOLFGANG MEILING
**Digitalrechner
in der elektronischen Meßtechnik**
Teil 1: Meßmethodik
Teil 2: Gerätetechnik
und Anwendungen

L. I. MIROSNITSCHENKO
**Kosmische Strahlen
im interplanetaren Raum**

PETER PAUFLER
GUSTAV E. R. SCHULZE
**Physikalische Grundlagen
mechanischer Festkörpereigenschaften**
Teil I und II

ULRICH RÖSEBERG
Quantenmechanik und Philosophie

ALBRECHT ROST
**Messung
dielektrischer Stoffeigenschaften**

J. V. SAČKOV
Wahrscheinlichkeit und Struktur

E. M. SAWIZKI
Perspektiven der Metallforschung

WOLFGANG SCHÄFER
**Theoretische Grundlagen
der Stabilität technischer Systeme**

ERNST SCHMUTZER
**Symmetrien und Erhaltungssätze
der Physik**

VOLKMAR SCHURICHT
Kernexplosionen für friedliche Zwecke

NORBERT SIEBER
HANS-PETER LEIDHOLD
Einführung in die Datenverarbeitung

GERHARD WUNSCH
Zellulare Systeme

Festkörperphysik
Entwicklungstendenzen und
Anwendungsmöglichkeiten

HORST MELCHER
**Albert Einstein wider Vorurteile
und Denkgewohnheiten**

Die Schöpfer der physikalischen Optik
Eine Artikelsammlung

HANS-GEORG SCHÖPF
Von Kirchhoff bis Planck

RENA TE WAHSNER
Mensch und Kosmos
Die copernicanische Wende

HELMUT FRIEMEL / JOSEF BROCK
Grundlagen der Immunologie

EBERHARD HOFMANN
Funktionelle Biochemie des Menschen
Band 1 und 2

LOTHAR JÄGER
**Grundlagen
der Klinischen Immunologie**

KARLHEINZ LOHS
DIETER MARTINETZ
**Entgiftung — Mittel, Methoden
und Probleme**

JOACHIM NITSCHMANN
Entwicklung bei Mensch und Tier

STEPHAN SCHNITZLER
**Pharmakologische Aspekte
von Immunreaktionen**

DIETER SPAAR
HELMUT KLEINHEMPPEL
HANS JOACHIM MÜLLER
KLAUS NAUMANN
Bakteriellen der Kulturpflanzen

EBERHARD TEUSCHER
Pharmakognosie
Teil I—III

MICHAEL THEILE
SIEGFRIED SCHERNECK
Zellgenetik

HEINRICH BREMER
KLAUS-PETER WENDLANDT
Heterogene Katalyse

PETER BIRNER
HANS-JÖRG HOFMANN
CORNELIUS WEISS
MO-theoretische Methoden
in der organischen Chemie

GÜNTER EPPERT
Einführung
in die Schnelle Flüssigchromatographie

GERHARD GEISELER / HEINZ SEIDEL
Die Wasserstoffbrückenbindung

HELMUT HRAPIA
Einführung in die Chromatographie

HANS LUPPA
Grundlagen der Histochemie
Teil I und II

BURKART PHILIPP
GERHARD REINISCH
Grundlagen
der makromolekularen Chemie

HORST REMANE / RAINER HERZSCHUH
Massenspektrometrie
in der organischen Chemie

ADOLF ZSCHUNKE
Kernmagnetische
Resonanzspektroskopie
in der organischen Chemie

Vorschau
auf die nächsten Bände:

HEINRICH ARNOLD
Physikalische Chemie der Halbleiter

HORST-HEINO VON BORZESZKOWSKI
RENATE WAHSNER
Newton und Voltaire

WERNER DÜPKE
Dynamische Aspekte der Stereochemie
organischer Verbindungen

GOTTFRIED FRITZSCHE
Entwurf aktiver Analogsysteme
Netzwerke III

FALKO H. HERRMANN
MARINA HERRMANN
Das Hämoglobin des Menschen

GERHARD JACKISCH
Johann Heinrich Lamberts
„Cosmologische Briefe“ mit Beiträgen
zur Frühgeschichte der Kosmologie

Das Neutron
Eine Artikelsammlung

VOLKER NOLLAU
Semi-Markovsche Prozesse

ROBERT ROMPE
HANS-JÜRGEN TREDER
Über Physik —
Studien zu ihrer Stellung
in Wissenschaft und Gesellschaft

RAINER SINZ
Chronopsychophysiologie,
Chronobiologie und Chronomedizin

HUBERTUS STOLZ
Supraleitung

WTB

BAND 191

Dieter Leuschner

Grundbegriffe der Thermodynamik

Mit 17 Abbildungen und 6 Tabellen

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

Reihe MATHEMATIK UND PHYSIK

Herausgeber:

Prof. Dr. phil. habil. W. Holzmüller, Leipzig

Prof. Dr. phil. habil. A. Lösche, Leipzig

Prof. Dr. phil. habil. H. Reichardt, Berlin

Prof. Dr. rer. nat. habil. H.-J. Treder, Potsdam

Verfasser:

Dr. rer. nat. Dieter Leuschner

Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR

ISBN 978-3-528-06855-4

ISBN 978-3-322-85665-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-85665-4

1979

Erschienen im Akademie-Verlag, 108 Berlin, Leipziger Str. 3—4

© Akademie-Verlag Berlin 1979

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1979

Lizenznummer: 202 · 100/435/79

Herstellung: VEB Druckhaus „Maxim Gorki“, 74 Altenburg

Bestellnummer: 762 340 8 (7191) · LSV 1144

DDR 8,— M

Geleitwort

Die klassische Thermodynamik, geschaffen durch die Arbeiten vieler bedeutender Gelehrter, unter denen die deutschen Wissenschaftler eine besondere Stellung einnahmen, erfuhr durch ihre Anwendung in vielen Gebieten der Wissenschaft und Technik eine weite Verbreitung. Ungeachtet dessen besitzt die klassische Thermodynamik nur einen begrenzten Anwendungsbereich, da sie sich auf die Beschreibung der Gleichgewichtsprozesse beschränkt, der größte Teil der realen physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse jedoch irreversibel verläuft. Gegenwärtig wird auf dem Gebiet der Thermodynamik der irreversiblen Prozesse mit wachsender Intensität gearbeitet. Es besteht die berechtigte Hoffnung, daß in nicht allzu ferner Zukunft eine thermodynamische Theorie entstehen wird, welche die Mehrheit der in der Natur ablaufenden irreversiblen Prozesse umfaßt. Es ist deshalb erforderlich, die jungen heranwachsenden Wissenschaftler mit dem Problemkreis der Thermodynamik vertraut zu machen. Dazu wird, wie ich meine, dieses Taschenbuch von Dieter Leuschner „Grundbegriffe der Thermodynamik“ beitragen.

Das Buch macht den Leser in knapper und verständlicher Form sowohl mit den Grundlagen der klassischen Thermodynamik als auch mit einigen gegenwärtigen Problemen der linearen und nichtlinearen thermodynamischen irreversiblen Prozesse bekannt. Die für die Thermodynamik charakteristischen Methoden und Verfahren der Beweisführung werden ausführlich beschrieben. Es wird kurz auf die Anwendungsgebiete der klassischen Thermodynamik und auf die Bereiche, in

denen eine Nutzung der heutigen Thermodynamik möglich ist, eingegangen. So können aus diesem Buch die Anfangskenntnisse geschöpft werden, die den Zugang zur modernen Thermodynamik ermöglichen. Diese Kenntnisse sind auch für den ausreichend, der den hohen Stand der Thermodynamik für praktische Zwecke nutzen will. Ich möchte noch die besondere Bedeutung der Verbreitung der Thermodynamik in der DDR hervorheben. In der Vergangenheit schufen hervorragende deutsche Gelehrte die Grundlagen dieser Wissenschaft. Die heutige Generation der Wissenschaftler in der DDR liefert einen würdigen Beitrag zu dem sich rasch entwickelnden Zweig der Thermodynamik der nichtlinearen irreversiblen Prozesse.

Prof. A. I. ZOTIN
Moskau

Vorwort

Das vorliegende Taschenbuch enthält eine Zusammenstellung und Erläuterung elementarer Grundbegriffe der Thermodynamik, deren Kenntnis weiterführende Studien ermöglicht.

Es wurde dabei der „klassische“ (phänomenologische Theorie und anschließende statistische Begründung) und nicht der von der Informationstheorie bzw. Quantenstatistik ausgehende Weg gewählt. Die Gesetzmäßigkeiten der Thermodynamik, aufbauend auf den grundlegenden Begriffen einschließlich Maßeinheiten, sind axiomatisch in Form von Existenzsätzen formuliert. Zugehörige Erläuterungen folgen jeweils. Die statistische Thermodynamik ist anschließend kurz behandelt, während die technische Thermodynamik nur sporadisch erwähnt werden konnte. Den Abschluß bilden Anwendungsbeispiele und ein Anhang, in dem einiges gebracht ist, was sich nicht in den Rahmen von Kap. 2 einbauen ließ.

Die Methodik ist teilweise deduktiv, teilweise induktiv. Die Verwendung der Symbole erfolgte nach F. HUND: E für die Energie (vgl. auch GLANSDORFF und PRIGOGINE; wegen der Verwendung von E in der statistischen Thermodynamik, vgl. Teil 3, ist das gleiche Symbol auch in der phänomenologischen Thermodynamik benutzt) und A für die Arbeit.

Zum Abschluß möchte ich denen danken, die mich bei der Entstehung des Büchleins unterstützt haben: Prof. D. S. CHERNAVSKIJ, Prof. M. EIGEN, Prof. I. PRIGOGINE, Prof. A. I. ZOTIN für fachliche Förderung, Prof. Dr. Dr. h. c. G. FRIEDRICH für sein langjähriges, förderndes

Interesse, Prof. Dr. N. ELSNER, Doz. Dr. P. PAUFLE, Dr. SCHNEIDER und Prof. Dr. H. ULBRICHT für kritische Hinweise, Frau Dipl.-Phys. U. HELMANN für gute Zusammenarbeit mit dem Verlag.

DIETER LEUSCHNER

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung

1.1.	Voraussetzungen	11
1.1.1.	Thermisches Vierersystem	11
1.1.2.	Abgeleitete Größen	13
1.1.3.	Zusammensetzung	14
1.2.	Grundlegende thermodynamische Begriffe	17
1.2.1.	Thermodynamisches System	18
1.2.2.	Thermodynamischer Zustand	19
1.2.3.	Zustandsänderungen	26
1.2.4.	Zustandsgleichungen	28
1.2.5.	Thermodynamische Arbeit	38

2. Thermodynamische Gesetze

2.1.	Nullter Hauptsatz (0.HS)	42
2.2.	Erster Hauptsatz (1.HS)	45
2.3.	Zweiter Hauptsatz (2.HS)	53
2.3.1.	Totales Differential dS	53
2.3.2.	GIBBSsche Gleichung	72
2.3.3.	Thermodynamische Potentiale, chemisches Potential	76
2.3.4.	Gleichgewichts- und Stabilitätsbedingung	92
2.4.	NERNSTsches Theorem	102
2.5.	Prinzip der minimalen Entropieproduktion	104
2.6.	Nichtlinearitäten	112

3. Statische Thermodynamik

3.1.	Statistische Begründung thermodynamischer Gesetzmäßigkeiten	121
3.1.1.	Statistik im mechanischen Phasenraum: Stationäre Gesamtheiten	121
1.1.2.	Die Hauptsätze	133

3.2.	Verschiedene Statistiken	141
3.3.	Statistik des Nichtgleichgewichts	147
 4. Anwendungen		
4.1.	Zusammenhang von Energie und Zustandsgleichung für thermodynamische Systeme	149
4.2.	SEEBECK-Effekt	152
4.3.	Instabilität einer biochemischen Reaktion	155
4.4.	Absolutwert thermodynamischer Kenngrößen	162
 5. Anhang		
5.1.	Netzwerkthermodynamik	164
5.2.	Relativistische Thermodynamik	169
5.3.	Hydrothermodynamik	172
5.4.	Entropie und Information	173
5.5.	Negative thermodynamische Temperaturen	175
Literaturverzeichnis		178
Sachverzeichnis		181