



Hans Dieter Baehr

Thermodynamik

Eine Einführung in die Grundlagen
und ihre technischen Anwendungen

Sechste, grundlegend überarbeitete und
erweiterte Auflage

Mit 262 Abbildungen und zahlreichen Tabellen
sowie 57 Beispielen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1988

Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Hans Dieter Baehr
Professor für Thermodynamik an der Universität Hannover

ISBN 978-3-662-10530-6 ISBN 978-3-662-10529-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-10529-0

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek
Baehr, Hans Dieter:

Thermodynamik : e. Einf. in d. Grundlagen u. ihre techn. Anwendungen / Hans Dieter Baehr. — 6., grundlegend überarb. u. erw. Aufl. — Berlin ; Heidelberg ; New York ; Tokyo : Springer, 1988

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus Ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1962, 1966, 1973, 1978, 1981, 1984, and 1988.
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1988.

Softcover reprint of the hardcover 6th edition 1988

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch 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 dürfen.

2060/3020-543210

Vorwort zur sechsten Auflage

*Alles ist vielleicht nicht klar,
nichts vielleicht erklärlich
und somit, was ist, wird, war,
schlimmstenfalls entbehrlich.*

Chr. Morgenstern (1871—1914)

Seit dem Erscheinen der dritten Auflage vor 15 Jahren ist dieses Lehrbuch in fast unveränderter Form verbreitet und in mehrere Sprachen übersetzt worden. Während dieser Zeit habe ich jedoch die Darstellung der Thermodynamik in meinen Vorlesungen weiterentwickelt und erheblich geändert. Ich entschloß mich daher zu einer gründlichen Bearbeitung meines Buches. Dabei wollte ich auch die stürmische Entwicklung der Energietechnik berücksichtigen, deren wachsende Bedeutung im letzten Jahrzehnt auch der Öffentlichkeit bewußt geworden ist. Da ich nur wenige Teile des alten Textes übernehmen konnte, wurden die meisten Kapitel neu geschrieben. So ist ein neues Buch mit erweitertem Umfang und veränderter Gliederung entstanden mit dem Ziel, eine gründliche, hinreichend strenge, aber verständliche Einführung in die Thermodynamik zu bieten und ihre Anwendung auf technische Probleme, besonders aus dem Bereich der Energietechnik, umfassend zu zeigen.

Wie in den früheren Auflagen liegt der Schwerpunkt bei der ausführlichen Darstellung der Grundlagen. Besonders den zweiten Hauptsatz mit seinen vielfältigen Aussagen über Richtung und Ausführbarkeit von Prozessen, über die Einschränkung von Energieumwandlungen und über die ordnenden Beziehungen zwischen den thermodynamischen Eigenschaften der Materie habe ich eingehend behandelt. Die Thermodynamik der energiewandelnden Prozesse und Anlagen wird ausführlicher und umfassender als früher dargestellt. Sie soll, auch als Basis einer rationalen Diskussion energiepolitischer Fragen, solide Kenntnisse der naturgesetzlichen und technischen Zusammenhänge vermitteln. Ich halte dies für eine wichtige Aufgabe der Lehre an den Hochschulen und der Weiterbildung des in der Praxis stehenden Ingenieurs. Daher bilden die thermodynamischen Grundlagen der Energietechnik einen zweiten, neuen Schwerpunkt dieses Buches.

Von den zahlreichen Änderungen und Ergänzungen möchte ich die folgenden nennen. Der für die klassische Thermodynamik grundlegende Begriff der *Phase* wird deutlicher hervorgehoben. Dieses Modell des homogenen, meistens fluiden Systems vereinfacht die Beschreibung von Zuständen und Zustandsänderungen, führt aber zu Schwierigkeiten bei der Behandlung irreversibler Prozesse, worauf ausführlich eingegangen wird. Die der quantitativen Formulierung der beiden Hauptsätze dienenden Zustandsgrößen *Energie* und *Entropie* werden durch Postulate eingeführt und nicht aufgrund bestimmter Sätze konstruiert. Diese Methode hat sich in meinen Vorlesungen bewährt; sie führt den Lernenden schneller zu den grundlegenden *Bilanzgleichungen*, die den Kern der quantitativen Aussagen der beiden Hauptsätze bilden und für ihre Anwendung unentbehrlich sind. Die Bilanzgleichungen werden möglichst allgemeingültig formuliert; sie erfassen auch instationäre Prozesse offener Systeme und enthalten die stationären Fließprozesse als Sonderfälle.

Die aus dem zweiten Hauptsatz folgende Existenz *kanonischer Zustandsgleichungen* (Fundamentalgleichungen) wird in dieser Auflage erstmals behandelt und auch auf Gemische ausgedehnt, wobei das *chemische Potential* einer Gemischkomponente über das Membrangleichgewicht eingeführt wird. Hierdurch ist die systematische Behandlung idealer Gasgemische möglich, und die allgemeine Thermodynamik der Gemische wird bereits in einem einführenden Lehrbuch vorbereitet. Neu aufgenommen habe ich auch die *kubischen Zustandsgleichungen* und das verallgemeinerte Korrespondenzprinzip sowie eine thermodynamisch korrekte Herleitung der Eigenschaften *inkompressibler Fluide*. Dieses Stoffmodell wird ja in der Praxis häufig verwendet, so daß seine Behandlung in einem Lehrbuch nicht fehlen sollte.

Im Kapitel über die stationären Fließprozesse werden die *polytropen Zustandsänderungen* und die polytropen Wirkungsgrade ausführlicher als bisher dargestellt. Abschnitte über *Wärmeübertrager* habe ich neu aufgenommen. Völlig neu bearbeitet ist das Kapitel über Verbrennungsprozesse und Verbrennungskraftanlagen; es enthält nun auch einen Abschnitt über die *Gasturbine als Flugzeugantrieb* und eine Einführung in die Thermodynamik der *Verbrennungsmotoren*. Angesichts der seit Jahren anhaltenden Energiediskussion habe ich das Kapitel über Wärmekraftanlagen umgearbeitet und erweitert. Es vermittelt einen Überblick über Methoden und Wege der Umwandlung von Primärenergie in elektrische Energie und bietet eine umfassende *Thermodynamik der thermischen Kraftwerke* unter Berücksichtigung der Kernkraftwerke und der kombinierten Gas-Dampf-Kraftwerke. Außerdem habe ich erstmals eine thermodynamische Analyse verschiedener *Heizsysteme* gegeben, deren Primärenergieverbrauch einheitlich mit der Heizzahl beurteilt wird. Auch die Theorie der *Wärmetransformation* wird kurz behandelt; sie bildet die Grundlage der Absorptionswärmepumpen, Absorptionskältemaschinen und der Wärmetransformatoren. Schließlich wurden die Tabellen des Anhangs neu berechnet und erweitert, so daß dem Leser die neuesten Werte der Naturkonstanten und zuverlässige Stoffdaten zur Verfügung stehen.

Möge die neue, erweiterte Fassung meines Buches eine ebenso freundliche Aufnahme und weite Verbreitung finden wie die vorangegangenen Auflagen. Den Studierenden soll sie als sicherer Führer in die Thermodynamik dienen, dieser manchmal als schwierig empfundenen Wissenschaft. Auch der in der Praxis stehende Ingenieur wird, so hoffe ich, Nutzen von der Lektüre dieses Buches haben, sei es als Nachschlagewerk oder um Grundlagenkenntnisse wieder aufzufrischen und zu erweitern. Meinen Kollegen an den Hochschulen kann es vielleicht Anregungen für die Lehre geben. Für Kritik und Hinweise auf Fehler bin ich allen Lesern dankbar.

Hannover, im Januar 1988

H. D. Baehr

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XIII
1 Allgemeine Grundlagen	1
1.1 Thermodynamik	1
1.1.1 Von der historischen Entwicklung der Thermodynamik	1
1.1.2 Was ist Thermodynamik?	7
1.2 System und Zustand	9
1.2.1 System und Systemgrenze	9
1.2.2 Zustand und Zustandsgrößen	10
1.2.3 Extensive, intensive, spezifische und molare Zustandsgrößen	13
1.2.4 Fluide Phasen. Zustandsgleichungen	15
1.3 Prozesse	17
1.3.1 Prozeß und Zustandsänderung	17
1.3.2 Reversible und irreversible Prozesse	18
1.3.3 Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik als Prinzip der Irreversibilität	20
1.3.4 Quasistatische Zustandsänderungen und irreversible Prozesse	21
1.3.5 Stationäre Prozesse	22
1.4 Temperatur	23
1.4.1 Thermisches Gleichgewicht und Temperatur	23
1.4.2 Thermometer und empirische Temperatur	26
1.4.3 Die Temperatur des idealen Gasthermometers	28
1.4.4 Celsius-Temperatur. Internationale Praktische Temperaturskala	31
1.4.5 Die thermische Zustandsgleichung idealer Gase	33
2 Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik	35
2.1 Der 1. Hauptsatz für geschlossene Systeme	35
2.1.1 Mechanische Energien	35
2.1.2 Der 1. Hauptsatz. Innere Energie	38
2.1.3 Die kalorische Zustandsgleichung der Fluide	41
2.1.4 Die Energiebilanzgleichung	44
2.2 Arbeit und Wärme	46
2.2.1 Mechanische Arbeit und Leistung	46
2.2.2 Volumenänderungsarbeit	47
2.2.3 Wellenarbeit	51
2.2.4 Elektrische Arbeit und Arbeit bei nichtfluiden Systemen	53
2.2.5 Wärme und Wärmestrom	56
2.3 Energiebilanzgleichungen	58
2.3.1 Energiebilanzgleichungen für geschlossene Systeme	58
2.3.2 Massenbilanz und Energiebilanz für einen Kontrollraum	63

2.3.3	Instationäre Prozesse offener Systeme	69
2.3.4	Der 1. Hauptsatz für stationäre Fließprozesse.	72
2.3.5	Enthalpie	74
3	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik	79
3.1	Der 2. Hauptsatz für geschlossene Systeme	79
3.1.1	Einführende Überlegungen	79
3.1.2	Die Formulierung des 2. Hauptsatzes durch Entropie und thermodynamische Temperatur	82
3.1.3	Adiabate Systeme	86
3.1.4	Die Irreversibilität des Wärmeübergangs	88
3.1.5	Stationäre Prozesse. Perpetuum mobile 2. Art	94
3.1.6	Die Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit. Wärmekraftmaschine	96
3.2	Die Entropie als Zustandsgröße	100
3.2.1	Die Entropie reiner Stoffe	100
3.2.2	Kanonische Zustandsgleichungen	105
3.2.3	Die Messung thermodynamischer Temperaturen	107
3.2.4	Entropie und Gibbs-Funktion einer Mischphase. Chemische Potentiale	111
3.3	Ergänzungen	117
3.3.1	Das T,s -Diagramm	117
3.3.2	Dissipationsenergie	120
3.3.3	Die Entropiebilanzgleichung für einen Kontrollraum	122
3.3.4	Die Entropiebilanzgleichung für stationäre Fließprozesse	124
3.4	Die Anwendung des 2. Hauptsatzes auf Energieumwandlungen: Exergie und Anergie	129
3.4.1	Die beschränkte Umwandelbarkeit der Energie	129
3.4.2	Der Einfluß der Umgebung auf die Energieumwandlungen	131
3.4.3	Exergie und Anergie	133
3.4.4	Exergie und Anergie der Wärme	137
3.4.5	Exergie und Anergie eines stationär strömenden Fluids	141
3.4.6	Die Berechnung von Exergieverlusten	144
3.4.7	Exergie-Anergie-Flußbilder. Exergetische Wirkungsgrade	147
4	Thermodynamische Eigenschaften reiner Fluide	153
4.1	Die thermischen Zustandsgrößen	153
4.1.1	Die p,v,T -Fläche	153
4.1.2	Das p,T -Diagramm	156
4.1.3	Die Zweiphasengebiete	157
4.1.4	Die thermische Zustandsgleichung für Fluide	160
4.1.5	Das Theorem der korrespondierenden Zustände. Generalisierte Zustandsgleichungen	162
4.2	Das Naßdampfgebiet	168
4.2.1	Nasser Dampf	168
4.2.2	Dampfdruck und Siedetemperatur	169
4.2.3	Die spezifischen Zustandsgrößen im Naßdampfgebiet	171
4.3	Zustandsgleichungen, Tafeln und Diagramme	177
4.3.1	Die Bestimmung von Enthalpie und Entropie mit Hilfe der thermischen Zustandsgleichung	178

4.3.2	Enthalpie und Entropie eines inkompressiblen Fluids	181
4.3.3	Tafeln der Zustandsgrößen	183
4.3.4	Zustandsdiagramme	185
4.3.5	Die Bestimmung isentroper Enthalpiedifferenzen	189
5	Ideale Gase, Gas- und Gas-Dampf-Gemische	193
5.1	Ideale Gase	193
5.1.1	Thermische und kalorische Zustandsgleichung	193
5.1.2	Die spezifische Wärmekapazität	195
5.1.3	Entropie und isentrope Zustandsänderungen idealer Gase	197
5.2	Ideale Gasgemische	200
5.2.1	Massen- und Molanteile, Partialdrücke	200
5.2.2	Die Gibbs-Funktion des idealen Gasgemisches	202
5.2.3	Thermische, kalorische und Entropie-Zustandsgleichung	204
5.3	Gas-Dampf-Gemische, Feuchte Luft	208
5.3.1	Der Sättigungsdruck des Dampfes	208
5.3.2	Der Taupunkt	210
5.3.3	Feuchte Luft	211
5.3.4	Absolute und relative Feuchte	212
5.3.5	Die Wasserbeladung	215
5.3.6	Das spez. Volumen feuchter Luft	216
5.3.7	Die spez. Enthalpie feuchter Luft	217
5.3.8	Das h,x -Diagramm für feuchte Luft	220
6	Stationäre Fließprozesse	223
6.1	Technische Arbeit, Dissipationsenergie und die Zustandsänderung des strömenden Fluids	223
6.1.1	Dissipationsenergie und technische Arbeit, Eindimensionale Theorie	223
6.1.2	Statische Arbeit und statischer Wirkungsgrad	227
6.1.3	Polytrope, Polytroper Wirkungsgrad	230
6.2	Strömungsprozesse	235
6.2.1	Strömungsprozesse mit Wärmezufuhr	235
6.2.2	Die Schallgeschwindigkeit	236
6.2.3	Adiabate Strömungsprozesse	239
6.2.4	Adiabate Düsen- und Diffusorströmung	242
6.2.5	Querschnittsflächen und Massenstromdichte bei isentroper Düsen- und Diffusorströmung	246
6.2.6	Strömungszustand in einer Laval-Düse bei verändertem Gegendruck	250
6.3	Wärmeübertrager	252
6.3.1	Allgemeines	253
6.3.2	Anwendung des 1. Hauptsatzes	254
6.3.3	Die Temperaturen der beiden Fluidströme	256
6.3.4	Der Exergieverlust des Wärmeübertragers	260
6.4	Mischungsprozesse	262
6.4.1	Massen-, Energie- und Entropiebilanzen	262
6.4.2	Isobar-isotherme Mischung idealer Gase	265
6.4.3	Mischungsprozesse mit feuchter Luft	267

6.5	Arbeitsprozesse	272
6.5.1	Adiabate Expansion in Turbinen	272
6.5.2	Adiabate Verdichtung	276
6.5.3	Dissipationsenergie, Arbeitsverlust und Exergieverlust bei der adiabaten Expansion und Kompression	278
6.5.4	Nichtadiabate Verdichtung	281
7	Verbrennungsprozesse, Verbrennungskraftanlagen	284
7.1	Allgemeines	284
7.2	Mengenberechnung bei vollständiger Verbrennung	285
7.2.1	Brennstoffe und Verbrennungsgleichungen	285
7.2.2	Die Berechnung der Verbrennungsluftmenge	287
7.2.3	Menge und Zusammensetzung des Verbrennungsgases	291
7.3	Energetik der Verbrennungsprozesse	294
7.3.1	Die Anwendung des 1. Hauptsatzes	294
7.3.2	Heizwert und Brennwert	296
7.3.3	Die Enthalpie des Verbrennungsgases und das h,t -Diagramm	298
7.3.4	Kesselwirkungsgrad und adiabate Verbrennungstemperatur	302
7.3.5	Reaktions- und Bildungsenthalpien	306
7.4	Die Anwendung des 2. Hauptsatzes auf Verbrennungsprozesse	309
7.4.1	Die reversible chemische Reaktion	309
7.4.2	Absolute Entropien, Nernstsches Wärmetheorem	310
7.4.3	Die Brennstoffzelle	312
7.4.4	Die Exergie der Brennstoffe	316
7.4.5	Der Exergieverlust der adiabaten Verbrennung	320
7.5	Verbrennungskraftanlagen	322
7.5.1	Leistungsbilanz und Wirkungsgrad	323
7.5.2	Die einfache Gasturbinenanlage	324
7.5.3	Die genauere Berechnung des Gasturbinenprozesses	329
7.5.4	Die Gasturbine als Flugzeugantrieb	333
7.5.5	Verbrennungsmotoren	339
8	Wärmeanlagen	344
8.1	Die Umwandlung von Primärenergie in elektrische Energie	344
8.1.1	Übersicht über die Umwandlungsverfahren	344
8.1.2	Thermische Kraftwerke	348
8.1.3	Kraftwerkswirkungsgrade	350
8.1.4	Kreisprozesse für Wärmekraftmaschinen	355
8.2	Dampfkraftwerke	361
8.2.1	Die einfache Dampfkraftanlage	361
8.2.2	Zwischenüberhitzung	368
8.2.3	Regenerative Speisewasservorwärmung	368
8.2.4	Das moderne Dampfkraftwerk	373
8.2.5	Kombinierte Gas-Dampf-Kraftwerke	375
8.2.6	Kernkraftwerke	378

9	Thermodynamik des Heizens und Kühlens	382
9.1	Heizen und Kühlen als thermodynamische Grundaufgaben	382
9.1.1	Die Grundaufgabe der Heiztechnik und der Kältetechnik	382
9.1.2	Gebäudeheizung. Wärmepumpe	385
9.1.3	Die Kältemaschine	389
9.1.4	Wärmetransformation	391
9.2	Heizsysteme	393
9.2.1	Heizzahl und exergetischer Wirkungsgrad	393
9.2.2	Konventionelle Heizsysteme	395
9.2.3	Wärmepumpen-Heizsysteme	397
9.2.4	Heizkraftwerke	400
9.3	Einige Verfahren zur Kälteerzeugung	403
9.3.1	Die Kaltdampf-Kompressionskältemaschine	403
9.3.2	Mehrstufige Kompressionskältemaschinen	408
9.3.3	Das Linde-Verfahren zur Luftverflüssigung	410
10	Mengenmaße, Einheiten, Tabellen	414
10.1	Mengenmaße	414
10.1.1	Masse und Gewicht	414
10.1.2	Teilchenzahl und Stoffmenge	414
10.1.3	Das Normvolumen	416
10.2	Einheiten	417
10.2.1	Die Einheiten des Internationalen Einheitensystems	418
10.2.2	Einheiten anderer Einheitensysteme. Umrechnungsfaktoren	420
10.3	Tabellen	422
Literatur		434
Sachverzeichnis		444

Formelzeichen

a) Lateinische Formelbuchstaben

A	Fläche
a	Schallgeschwindigkeit
B	zweiter Virialkoeffizient
\dot{B}_Q	Anergie eines Wärmestroms
b	spez. Anergie der Enthalpie; Kovolumen
C	Kapazität eines Kondensators; dritter Virialkoeffizient
C_{pm}	molare isobare Wärmekapazität
c	Geschwindigkeit; spez. Wärmekapazität
c_p, c_v	spez. isobare bzw. isochore Wärmekapazität
c_p^0, c_v^0	spez. isobare bzw. isochore Wärmekapazität idealer Gase
\bar{c}_p^0, \bar{c}_v^0	mittlere spez. Wärmekapazitäten idealer Gase
E	Energieinhalt, Gesamtenergie eines Systems
\dot{E}_Q	Exergie eines Wärmestroms
\dot{E}_v	Exergieverluststrom, Leistungsverlust
e	spez. Exergie der Enthalpie; elektrische Elementarladung
e_v	spez. Exergieverlust
F	Kraft; Helmholtz-Funktion oder freie Energie; Faraday-Konstante
f	spez. Helmholtz-Funktion
G	Gibbs-Funktion oder freie Enthalpie; Gewichtskraft
g	spez. Gibbs-Funktion; Fallbeschleunigung
H	Enthalpie
H^f	molare Bildungsenthalpie
H_0	spez. Brennwert
H_u	spez. Heizwert
h	spez. Enthalpie; Planck-Konstante
h^+	spez. Totalenthalpie
h_{1+x}	spez. Enthalpie feuchter Luft
I_{el}	spez. Dissipationsenergie
j	spez. Dissipationsenergie
k	Isentropenexponent; Boltzmann-Konstante; Wärmedurchgangskoeffizient
L	molare Luftmenge
l	spez. Luftmenge
M	Molmasse
M_d	Drehmoment
m	Masse
\dot{m}	Massenstrom
N	Teilchenzahl
N_A	Avogadro-Konstante
n	Stoffmenge; Polytropenexponent
n_d	Drehzahl

O_{\min}	molare Mindestsauerstoffmenge
o_{\min}	spez. Mindestsauerstoffmenge
P	Leistung
p	Druck
Q	Wärme
\dot{Q}	Wärmestrom
Q_{el}	elektr. Ladung, Elektrizitätsmenge
q	auf die Masse bezogene Wärme
\dot{q}	Wärmestromdichte
R	Gaskonstante
R_{el}	elektr. Widerstand
R_{m}	molare (universelle) Gaskonstante
r	spez. Verdampfungsenthalpie
S	Entropie
S^0	molare Standardentropie
\dot{S}	Entropiestrom
\dot{S}_{Q}	Entropietransportstrom
\dot{S}_{irr}	Entropieproduktionsstrom
s	spez. Entropie
s_{irr}	spez. Entropieerzeugung
T^{rr}	thermodynamische Temperatur
T_{m}	thermodynamische Mitteltemperatur der Wärmeaufnahme
t	Celsius-Temperatur
U	innere Energie
U_{el}	elektr. Spannung
u	spez. innere Energie
V	Volumen
\dot{V}	Volumenstrom
v	spez. Volumen
v_{1+x}	spez. Volumen feuchter Luft
W	Arbeit
w	spez. Arbeit
w_t	spez. technische Arbeit
w_v	spez. Arbeitsverlust
X	Arbeitskoordinate
x	Dampfgehalt; Wasserbeladung feuchter Luft
y	Strömungsarbeit; Arbeitskoeffizient
y_i	Molanteil der Komponente i
Z	Realgasfaktor
z	Höhenkoordinate

b) Griechische Formelbuchstaben

β	Wärmeverhältnis
γ_i	Massenanteil der Komponente i in der Elementaranalyse
ε	Leistungszahl einer Wärmepumpe
ε_{K}	Leistungszahl einer Kältemaschine
ζ	exergetischer Wirkungsgrad
η	(energetischer) Wirkungsgrad
η_{C}	Carnot-Faktor
η_{th}	thermischer Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine
η_{s}	isentropen Wirkungsgrad

η_v	polytroper Wirkungsgrad
Θ	Temperatur des idealen Gasthermometers
ϑ	empirische Temperatur
κ	Isentropenexponent idealer Gase
λ	Luftverhältnis
μ	auf die Brennstoffmasse bezogene Masse (Massenverhältnis)
μ_i	chemisches Potential der Komponente i
ν	auf die Stoffmenge des Brennstoffs bezogene Stoffmenge (Stoffmengenverhältnis); Polytropenverhältnis
π	Druckverhältnis
ρ	Dichte
σ	Salinität des Meerwassers; Oberflächenspannung
ξ	Massenanteil; Heizzahl
τ	Zeit
φ	relative Feuchte
Ω	Oberfläche
ω	Winkelgeschwindigkeit; Nutzungsfaktor

c) Indizes

0	Bezugszustand
1, 2, 3, ...	Zustände 1, 2, 3, ...
12	Doppelindex: Prozeßgröße eines Prozesses, der vom Zustand 1 in den Zustand 2 führt
A, B, ...	Systeme A, B, ...
a	Austrittsquerschnitt
ad	adiabat
B	Brennstoff
DE	Dampferzeuger
E	Eis
e	Eintrittsquerschnitt
el	elektrisch
ex	Expansion
G	Gas
i	Komponente i eines Gemisches
irr	irreversibel
K	Kessel
k	kritisch
ko	Kompression
L	Luft
m	molar, stoffmengenbezogen
max	maximal
min	minimal
n	Normzustand
opt	optimal
r	reduziert, d. h. auf den Wert im kritischen Zustand bezogen
rev	reversibel
s	isentrop; Sättigung
st	statisch
T	Taupunkt; Turbine
tr	Tripelpunkt
u	Umgebung
V	Verdichter; Verbrennungsgas; Volumenänderung

v	Verlust
W	Wasser; Welle
'	Siedelinie; Brennstoff und Luft
''	Taulinie; Verbrennungsgas
*	hervorgehobener Zustand; stöchiometrisches Verbrennungsgas

d) Besondere Zeichen

: =	definiert durch
(1.1)	Zahlen in runden Klammern bedeuten Gleichungsnummern. Die erste Zahl gibt die Kapitelnummer an.
[1.1]	Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluß des Buches.