Section XI
Treatment of *Helicobacter pylori*
Infection

Klaus Langeheinecke (Hrsg.)
Peter Jany
Eugen Sapper

Thermodynamik für Ingenieure

**Ein Lehr- und Arbeitsbuch
für das Studium**

5., verbesserte Auflage

Mit 242 Abbildungen und 46 Tabellen

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

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

Der Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Klaus Langeheinecke, Fachhochschule Ravensburg-Weingarten, Weingarten/Württ.

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Klaus Langeheinecke, Fachhochschule Ravensburg-Weingarten, Weingarten/Württ.

Prof. Dr.-Ing. Peter Jany, Fachhochschule Ravensburg-Weingarten, Weingarten/Württ.

Prof. Dr.-Ing. Eugen Sappert†, Fachhochschule Konstanz, Konstanz

1. Auflage 1993
- 2., vollständig überarbeitete Auflage 1999
- 3., durchgesehene Auflage Mai 2001
- 4., überarbeitete und erweiterte Auflage Juni 2003
- 5., verbesserte Auflage Oktober 2004

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2004

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2004

www.vieweg.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.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de
Technische Redaktion: Hartmut Kühn von Burgsdorff, Wiesbaden

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Additional material to this book can be downloaded from <http://extra.springer.com>.

ISBN 978-3-528-44785-4 ISBN 978-3-322-94366-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-94366-8

Vorwort

Die Technische Thermodynamik gehört zu den Grundlagen des Maschinenbaues, der Verfahrenstechnik und verwandter Ingenieurwissenschaften. Für Studierende an Fachhochschulen, Technischen Hochschulen und Universitäten, ferner an Höheren Technischen Lehranstalten, Technikerschulen und Berufssakademien im gesamten deutschsprachigen Raum ist dieses Buch geschrieben, zur Nutzung in und neben den Lehrveranstaltungen. Der Umfang orientiert sich an dem, was an Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen erforderlich ist. Zum Selbststudium in der Weiterbildung und beim Wiedereinstieg empfiehlt sich das Lehrbuch durch seinen Aufbau auch für bereits Berufstätige.

Ausführliche Texte, zahlreiche bildliche Darstellungen, durchgerechnete Beispiele, viele Fragen und Übungsaufgaben mit Lösungen zur aktiven Beschäftigung verdeutlichen die Denkweisen, Methoden und Werkzeuge der Thermodynamik. Vor allem wird die Fachsprache vermittelt, die sich oft als Hindernis auf dem Weg zum Verstehen der Thermodynamik erwiesen hat, aber dafür und zum Lesen von Fachliteratur unerlässlich ist. In umfangreichen Tabellen sind notwendige Daten zusammengestellt, ergänzt durch ein MOLLIER- h,s -Diagramm für Wasserdampf und ein MOLLIER- p,h -Diagramm für R134a.

Ein ausführliches Sachwortverzeichnis leitet schnell zu den gesuchten Textstellen und gibt die Sachworte auch in englischer Sprache wieder. Auf einer CD-ROM findet der Leser das entsprechende englisch-deutsche Sachwortverzeichnis, die Ergebnisse zu den Fragen und Übungen, Rechenprogramme zu Wärmeübertragung, Gas-Dampf-Gemischen und Verbrennung sowie für Stoffwerte, ferner eine als Formelsammlung und zur Wiederholung zu verwendende Kurzfassung des Lehrtextes THERMODYNAMIK MEMORY und ein umfangreiches alphabetisches, attraktiv nutzbares THERMODYNAMIK GLOSSAR mit über 700 Stichwörtern.

Die Lehre der Thermodynamik war bislang weitgehend durch die Felder „Geschlossenes System“, „Ideales Gas“ und „Reversible Prozesse“ geprägt. Technische Prozesse laufen jedoch im allgemeinen in offenen Systemen ab, über deren Grenzen Stoff- und Energieströme übertragen werden und in denen häufig Phasenwechsel und nicht vernachlässigbare Dissipationsphänomene auftreten. Daher wird das offene System so früh wie möglich vorgestellt, mit Stromgrößen und Bilanzansätzen gearbeitet. Die verschiedenen Energie- und Leistungsarten werden begrifflich klar unterschieden. Dabei wird auf die Wärme, ihre unterschiedlichen Transportmechanismen und ihre Freisetzung durch Verbrennung besonders eingegangen. Wegen oft unzureichender Vorkenntnisse in der Physik werden Phasenwechsel und das gesamte Zustandsfeld bereits am Anfang dargestellt. Die dazu notwendigen Gedankenexperimente bauen auf Alltagsbeobachtungen auf. Dabei wird in den Umgang mit Zustandsdiagrammen und Dampftafeln eingeführt und dem Modell „Ideale Gase“ der richtige Platz angewiesen.

Das Buch geht im Kern zurück auf das in langer Lehrtätigkeit entwickelte Vorlesungsmanuskript des Herausgebers, das im Rahmen des CAT-Projektes seine erste gedruckte Form fand. Die Professoren W. Schnabel, Dr. G. Kurz und Dr. G. Kürz sowie Ing. (grad.) P. Stotz haben damals teils schreibend, teils erprobend und beratend mitgewirkt. Für das Buchmanuskript konnten zusätzlich Prof. Dr. Eugen Sapper (Konstanz), der jedoch noch während der Bearbeitung verstarb, und Prof. Dr. Peter Jany (Weingarten/Württ.) sowie Dipl.-Ing. Heinz Millner (Dornbirn/Vorarlberg) gewonnen werden. Die sorgfältige Ausführung der Zeichnungen übernahm Dipl.-Ing. (FH) Wolf-Dieter Schnell (Langenargen/Bodensee).

Während das Lehrbuch für die zweite Auflage gründlich durchgesehen, überarbeitet, korrigiert und ergänzt wurde, konnten sich die Autoren bei der dritten bis fünften Auflage auf wenige Änderungen beschränken. Hinzugefügt wurde die englische Fassung des Sachwortverzeichnisses. Hinweise von Fachkollegen und Studierenden sind jeweils dankbar verwertet worden. Herausgeber, Mitautoren und Verlag danken allen Beteiligten, die zum Gelingen der fünf Auflagen des Lehrbuches beigetragen haben. Ein besonderer Dank gilt ihren Familien, die wegen des Buches so oft auf sie verzichten mussten.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Verzeichnis der Beispiele	IX
Formelzeichen	X
1 Einführung	1
1.1 Aufgabe und Geschichte	1
1.2 Zur Lehrveranstaltung	3
1.3 Physikalische Größen und Größengleichungen	3
1.4 Fragen und Übungen	7
2 Die Systeme und ihre Beschreibung	8
2.1 Systeme und Energien	8
2.2 Gleichgewicht und Beharrungszustand	13
2.3 Stoff und Menge	16
2.4 Zustand, Zustandsgrößen und Zustandsdiagramme	19
2.5 Druck, Temperatur, Energie	21
2.6 Zustandsänderungen, Prozesse	25
2.7 Fragen und Übungen	29
3 Stoffeigenschaften	32
3.1 Thermische Dehnung	32
3.2 Verdampfen und Verflüssigen	33
3.3 Kritischer Punkt	37
3.4 Naßdampf	38
3.5 Erstarren, Sublimieren, Tripelzustände	44
3.6 Dämpfe und Gase	50
3.7 Stoffgemische	55
3.8 Fragen und Übungen	57
4 Energien	59
4.1 Energiegrößen und Erster Hauptsatz	59
4.2 Arbeit und Arbeitsleistung	64
4.3 Wärme, Wärmestrom und Innere Energie	69
4.4 Enthalpie und Enthalpiestrom	70
4.5 Energiebilanz von Kreisprozessen	74
4.6 Strömungsprozesse	80
4.7 Fragen und Übungen	82
5 Der Zweite Hauptsatz	84
5.1 Aussagen über Prozesse	84
5.2 Entropie und Entropiestrom	88
5.3 Zustandsdiagramme	92
5.4 Energieumwandlung	99
5.5 Exergie und Anergie	106
5.6 Fragen und Übungen	112

6	Zustandsgleichungen Idealer Gase	117
6.1	Gasgleichung, Gaskonstanten, Normmolvolumen	117
6.2	Kalorische Zustandsgleichungen	120
6.3	Entropie und Entropiediagramme	124
6.4	Wärmekapazitäten und Isentropenexponent	128
6.5	Fragen und Übungen	132
7	Zustandsänderungen Idealer Gase	135
7.1	Allgemeine und spezielle Zustandsänderungen	135
7.2	Isobare Zustandsänderung	136
7.3	Isochore Zustandsänderung	139
7.4	Isotherme Zustandsänderung	140
7.5	Isentrope Zustandsänderung	143
7.6	Polytrope Zustandsänderungen	148
7.7	Fragen und Übungen	152
8	Gas- und Gas-Dampf-Gemische	156
8.1	Anteile und Teilgrößen von Gasgemischen, DALTON'sches Gesetz	156
8.2	Gasgleichung, Gaskonstanten und Molmassen von Gasgemischen	158
8.3	Kalorische Zustandsgrößen von Gasgemischen	160
8.4	Gas-Dampf-Gemische, Feuchte Luft	162
8.5	Zustandsgrößen und Zustandsdiagramme feuchter Luft	164
8.6	Luftbehandlungsanlagen	170
8.7	Mischen, Erwärmen und Kühlen feuchter Luft	171
8.8	Einsprühen von Wasser in feuchte Luft	176
8.9	Verdunstung und Taubildung	179
8.10	Druckluft	182
8.11	Übungen	183
9	Thermische Maschinen	186
9.1	Vergleichsprozesse	186
9.2	Dampfkraftmaschinen	187
9.3	Dampfkältemaschinen	197
9.4	Verbrennungsmotoren	201
9.5	Gasturbinen	204
9.6	Gaskältemaschinen	209
9.7	Verbundkraftwerke	212
9.8	Fragen und Übungen	214
10	Wärmeübertragung	220
10.1	Wärmeleitung	220
10.2	Stationäre Wärmeleitung	223
10.3	Instationäre Wärmeleitung	226
10.4	Numerische Lösungsmethoden	230
10.5	Konvektiver Wärmeübergang	234
10.6	Wärmeübergang bei erzwungener Konvektion	238
10.7	Wärmeübergang bei freier Konvektion	240
10.8	Wärmeübergang bei Phasenänderung	243
10.9	Wärmestrahlung	246
10.10	Wärmestrahlung zwischen festen Oberflächen	251

10.11 Wärmedurchgang	253
10.12 Wärmeaustausch im Gleichstrom und Gegenstrom	255
10.13 Wärmedämmung	257
10.14 Fragen und Übungen	261
11 Verbrennung	264
11.1 Der Verbrennungsprozeß	264
11.2 Brennstoffe, Brennluft und Grundreaktionen	265
11.3 Sauerstoffbedarf, Luftbedarf, Verbrennungsgasanfall	267
11.4 Brennwert und Heizwert	275
11.5 Übungen	280
Tabellen (mit Griffstreifen)	282
T-1 Einheiten und Einheitenumrechnung	282
T-1a Universelle Konstanten und Normzustand	283
T-2 Angelsächsische Einheiten	283
T-3 Stoffwerte Idealer Gase	284
T-4 Mittlere molare Wärmekapazitäten	285
T-5 Sättigungsdampf- und Sättigungsdampfdrucktafel für Wasser (Temperaturtafel)	286
T-6 Sättigungsdampf- und Sättigungsdampfdrucktafel für Wasser (Drucktafel)	288
T-6a Zustandsgrößen für ungesättigte Wasserflüssigkeit und überhitzten Wasserdampf	290
T-7 Sättigungsdampf- und Sättigungsdampfdrucktafel für Ammoniak	292
T-8a Sättigungsdampf- und Sättigungsdampfdrucktafel für R134a	293
T-8 MOLIER-Druck-Enthalpie-Diagramm für R134a	294
T-9 Stoffwerte gesättigter feuchter Luft	296
T-10 Thermophysikalische Stoffgrößen	297
T-11 Zahlenwerte der GAUSS'schen Fehlerfunktion	299
T-12 Emissionsgrade technischer Oberflächen	300
T-13 Feste Brennstoffe	300
T-14 Flüssige Brennstoffe I	300
T-15 Flüssige Brennstoffe II	301
T-16 Gasförmige Brennstoffe I	301
T-17 Gasförmige Brennstoffe II	301
Literatur	302
Sachwortverzeichnis (deutsch/englisch)	304
Hinweise zur CD-ROM	319
CD-ROM	Umschlagtasche
LV-BERECHNUNGSSOFTWARE	
INSTALLATION	
ENGLISCH-DEUTSCHES SACHWORTVERZEICHNIS	
THERMODYNAMIK MEMORY	
THERMODYNAMIK GLOSSAR	
MOLIER-Enthalpie-Entropie-Diagramm für Wasserdampf	Beilage

Verzeichnis der Beispiele

Beispiel	Seite	Stichwort	Beispiel	Seite	Stichwort
1.1	5	Größengleichung	7.1	136	Luftverdichtung
1.2	6	Berechnungsmuster	7.2	138	Isobare Zustandsänderung
2.1	13	Systemabgrenzung	7.3	140	Isochore Zustandsänderung
2.2	17	Volumen	7.4	142	Isotherme Zustandsänderung
2.3	19	Massenstrom	7.5	146	Druckluftanlage
2.4	23	Druck	7.6	151	Druckluftmotor
2.5	24	Temperatur	7.7	152	Versuchsauswertung
2.6	28	Quasistatische Zustandsänderung	8.1	159	Gasgemisch
2.7	29	Nichtstatische Zustandsänderung	8.2	161	Gasgemisch
3.1	33	Thermische Dehnung	8.3	166	Diagramm für feuchte Luft
3.2	42	Dampf tafel	8.4	173	Luftmischung
3.3	42	Naßdampf	8.5	174	Lufterwärmung
3.4	43	Verdampfung	8.6	176	Luftkühlung
3.5	50	Gasgleichung	8.7	178	Randmaßstab
3.6	51	Gasmasse	8.8	178	Klimaanlage
3.7	51	Druckänderung	8.9	182	Druckluft
3.8	56	Stoffgemisch	9.1	195	Industriedampfanlage
4.1	73	Wärmeaustauscher	9.2	200	Gewerbekälteanlage
4.2	79	Dampfkraftwerk	9.3	203	Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren
4.3	79	Dampferzeugung	9.4	206	Wirkungsgrad einer Gasturbinenanlage
4.4	81	Rohrströmung	9.5	214	Wirkungsgrad von Verbundkraftwerken
5.1	91	Fanno-Linien	10.1	228	Aluminiumkugel
5.2	94	Dampfkraftmaschine	10.2	230	Halbunendlicher Körper
5.2a	96	Dampfkraftprozeß	10.3	246	Wärmeübergang am Rohr
5.2b	97	Kältemittelflasche	10.4	253	Wärmestrahlung
5.3	105	Thermoelement	10.5	260	Wärmedurchgang
5.4	111	Exergetischer Wirkungsgrad	11.1	270	Kohleverbrennung
5.5	111	Exergieverlust	11.2	274	Erdgasverbrennung
5.6	111	Exergieverlust	11.3	279	Verbrennungstemperatur
6.1	119	Gasvolumen			
6.2	119	Gasdichte			
6.3	131	Wärmekapazität			

Formelzeichen

In den in eckigen Klammern angegebenen Abschnitten werden die Größen erstmals erwähnt oder ausführlich behandelt.

Größen für die Thermodynamik

Lateinische Zeichen

A	Fläche	I	Massenstromdichte, Massengeschwindigkeit [2.4]
b	Breite	J	Streuenergie [4.1]
B	Anergie [5.5]	j	spezifische Streuenergie [4.1]
b	spezifische Anergie [5.5]	J_m	molare Streuenergie [4.1]
B_m	molare Anergie [5.5]	$\dot{J}$	Streuenergiestrom [4.1]
$\dot{B}$	Anergiestrom [5.5]	l, L	Länge
B_H	Anergie der Enthalpie [5.5]	ℓ	Luftbedarf (auf Brennstoffmasse bezogen) [11.3]
B_Q	Anergie der Wärme [5.5]	$\ell_{\min}$	Mindestluftbedarf (auf Brennstoffmasse bezogen) [11.3]
c	Geschwindigkeit [2.4]	ℓ_m	molarer Luftbedarf (auf Brennstoffmasse bezogen) [11.3]
C	Wärmekapazität [6.4]	$(\ell_m)_{\min}$	molarer Mindestluftbedarf (auf Brennstoffmasse bezogen) [11.3]
c_p	spez. isobare Wärmekapazität [6.4]	L	molarer Luftbedarf (auf Brennstoff-Stoffmenge bezogen) [11.3]
c_v	spez. isochore Wärmekapazität [6.4]	$L_{\min}$	molarer Mindestluftbedarf (auf Brennstoff-Stoffmenge bezogen) [11.3]
c_n	spez. polytrope Wärmekapazität [6.4]	m	Masse [2.4]
C_{mp}	molare isobare Wärmekapazität [6.4]	$\dot{m}$	Massenstrom [2.4]
C_{mv}	molare isochore Wärmekapazität [6.4]	M	Molmasse [2.4]
C_{pp}	volumetr. isobare Wärmekapazität [6.4]	M_g	Gemisch-Molmasse [8.2]
C_{pv}	volumetr. isochore Wärme- kapazität [6.4]	n	Stoffmenge [2.4]
$\bar{C}$	mittlere Wärmekapazität [6.4]	$\dot{n}$	Stoffmengenstrom [2.4]
c_{fl}	spezif. Wärmekapazität v. Flüssigk. [4.4]	n	Polytropenexponent [7.6]
c_w	spezif. Wärmekapazität v. Wasser [4.4]	N_A	AVOGADRO-Konstante [2.4]
d, D	Durchmesser	$o_{\min}$	Mindestsauerstoffbedarf (auf Brennstoffmasse bezogen) [11.3]
E_{kin}	kinetische Energie [4.1]	$(o_m)_{\min}$	molarer Mindestsauerstoffbedarf (auf Brennstoffmasse bezogen) [11.3]
E_{pot}	potentielle Energie [4.1]	$O_{\min}$	molarer Mindestsauerstoffbedarf (auf Brennstoff-Stoffmenge bezogen) [11.3]
E	Exergie [5.5]	p	Druck [2.5]
e	spezifische Exergie [5.5]	p_{amb}	Umgebungs-/Atmosphärendruck [2.5]
E_m	molare Exergie [5.5]	p_e	Überdruck, effektiver Druck [2.5]
$\dot{E}$	Exergiestrom [5.5]	p_n	Normdruck [2.5]
E_H	Exergie der Enthalpie [5.5]	p_{kr}	kritischer Druck [3.3]
E_Q	Exergie der Wärme [5.5]	p_{tr}	Tripelpunktsdruck [3.4]
E_U	Exergie der Inneren Energie [5.5]	p'	Sättigungsdampfdruck [3.4]
E_v	Exergieverlust [5.5]	P	Arbeitsleistung [1.4, 4.1]
F	Kraft [4.2]	Q	Wärme [4.1, 4.3]
g	Fallbeschleunigung [4.1]	q	spezifische Wärme [4.1, 4.3]
H	Enthalpie [4.4]	Q_m	molare Wärme [4.3]
h	spezifische Enthalpie [4.4]	$\dot{Q}$	Wärmestrom [4.1, 4.3]
H_m	molare Enthalpie [4.4]	$\dot{Q}_o$	beim unteren Temperaturniveau einer Maschine übertragener Wärmestrom, Kälteleistung [5.4]
$\dot{H}$	Enthalpiestrom [4.4]	$\dot{Q}_c$	beim oberen Temperaturniveau einer Kältemaschine übertragener Wärmestrom [5.4]
Δh_d	(spez.) Verdampfungs-/Verflüssigungs- enthalpie [4.4]	$\dot{Q}_{WP}$	beim oberen Temperaturniveau einer Wärmepumpe übertragener Wärmestrom, Heizleistung [5.4]
Δh_f	(spez.) Schmelz-/Erstarrungsenthalpie [4.4]		
Δh_{sub}	(spez.) Sublimations-/Desublimations- enthalpie [4.4]		
H_u	Heizwert [11.4]		
H_{um}	molarer Heizwert [11.4]		
H_{uv}	volumetrischer Heizwert [11.4]		
H_o	Brennwert [11.4]		
H_{om}	molarer Brennwert [11.4]		
H_{ov}	volumetrischer Brennwert [11.4]		

q_f	Flüssigkeitswärme [9.2]
q_u	Überhitzungswärme [9.2]
r_i	Raumanteil (der Komponente i eines Gemisches) [8.1]
r	Verdampfungswärme [9.2]
r, R	Radius
R	(spezifische) Gaskonstante [3.6, 6.1]
R_m	molare Gaskonstante [6.1]
R_i	(spezifische) Gaskonstante (der Gemisch-Komponente i) [8.1]
R_g	(spezifische) Gemisch-Gaskonstante [8.2]
S	Entropie [5.2]
s	spezifische Entropie [5.2]
S_m	molare Entropie [5.2]
$\dot{S}$	Entropiestrom [5.2]
$\dot{S}_Q$	Entropiestrom durch Wärmeübertragung [5.2]
$\dot{S}_J$	Entropiestromerzeugung durch Irreversibilität [5.2]
t	(empirische) Temperatur [2.5]
T	(thermodynamische) Temperatur [2.5]
T_n	Normtemperatur [2.5]
T_{kr}, t_{kr}	kritische Temperatur [3.3]
T_{tr}, t_{tr}	Tripelpunkttemperatur [3.5]
T_0, t_0	unteres Temperaturniveau thermischer Maschinen [5.4]
T_c, t_c	oberes Temperaturniveau von Kältemaschinen [5.4]
T_u	Umgebungstemperatur
$\bar{T}$	mittlerer Wert der Temperatur der Wärmeübertragung [6.4, 9.2]
$\langle t_v \rangle_{ad}$	adiabate Verbrennungstemp. [11.4]
U	Innere Energie [4.3]
u	spezifische Innere Energie [4.3]
U_m	molare Innere Energie [4.3]
V	(extensives) Volumen [2.4]
v	spezifisches Volumen [2.4]
V_m	molares Volumen, Molvolumen [2.4]
$\dot{V}$	Volumenstrom [2.4]
v_{kr}	spezifisches kritisches Volumen [3.3]
W	Arbeit [4.1, 4.2]
w	spezifische Arbeit [4.1, 4.2]
W_m	molare Arbeit [4.1, 4.2]
W_V	Volumenarbeit [4.1, 4.2]
W_{VS}	Schubarbeit [4.2]
W_p	Druckarbeit [4.2]
W_t	Technische Arbeit [4.1, 4.2]
W_H	Hubarbeit [4.2]
W_B	Beschleunigungsarbeit [4.2]
W_K	Kreisprozeßarbeit [4.5]
x_d	Dampfgehalt (von Naßdampf) [3.4]
x_f	Flüssigkeitsgehalt (von Schmelze) [3.5]
x_s	Dampfgehalt (v. Sublimationsstaub) [3.5]
x	Wassergehalt (feuchter Luft) [8.5]
x'	Wassergehalt gesätt. feuchter Luft, Sättigungswassergehalt [8.5]
z	Ortshöhe, Höhe über Bezugsniveau [4.1]
Z	Realgasfaktor [3.6]

Griechische Zeichen

α_v	therm. Volumendehnungskoeffizient [3.1]
α_L	therm. Längendehnungskoeffizient [3.1]
ε_K	Kälteleistungszahl [5.4]
ε_{KC}	CARNOT-Kühlfaktor [5.4]
ε_{WP}	Heizleistungszahl [5.4]
ε_{WPC}	CARNOT-Wärmepumpfaktor [5.4]
ζ	exergetischer Gütegrad [5.5]
η	Wirkungsgrad [4.5]
η_C	CARNOT-Arbeitsfaktor [5.4]
η_t	thermischer Wirkungsgrad [4.5]
η_i	innerer Gütegrad, inn. Wirkungsgrad [9.2]
η_s	isentropen Gütegrad [6.3]
ϑ	normierte Temperatur [3.6]
κ	Isentropenexponent [6.4, 7.5]
λ	Luftverhältnis [11.3]
ξ	Massenanteil [3.7, 8.1]
π	normierter Druck [3.6]
ρ	Dichte [2.4]
τ	Zeit [2.3]
$\Delta\tau$	Zeitspanne [2.3]
φ	normiertes Volumen [3.6]
ψ	Molanteil [3.7, 8.1]

Indizes

1 (2, 3, ...)	im Zustand 1 (2, 3, ...) [4.1]
12 (23, ...)	bei der Zustandsänderung 1–2 (2–3, ...) [4.1]
amb	der Umgebung
B	für die Beschleunigung [4.2]
B	von Brennstoff [1.2, 11.2]
c	beim oberen Temperaturniveau einer Kältemaschine [5.4]
C	bei CARNOT-Bedingungen [5.4]
d	im Naßdampfgebiet [3.4]
e	effektiv [2.5]
e	eines Elementes [3.7]
f	im Schmelzgebiet [3.5]
g	eines Gemisches [3.7]
H	der Enthalpie [5.5]
H	beim Hub [4.2]
i	einer Komponente [3.7]
K	des Kreisprozesses [4.5]
kr	im kritischen Zustand [3.3]
L	von Luft [1.3]
m	molar [2.3]
n	Normwert [2.6]
o	Bezugswert, unteres Temperatur- oder Druckniveau therm. Maschinen [5.4]
o	unteres Temperaturniveau einer Kältemaschine [5.4]
p	bei konstantem Druck [6.4]
Q	der Wärme [5.5]
s, sub	bei Sublimation [3.5, 4.4]
s	bei konstanter Entropie [6.3]
t, T	bei konstanter Temperatur [6.4]

T	der Turbine [6.3, 9.5]
tr	in einem Tripelzustand [3.5]
u, U	der Umgebung [5.4]
v	bei konstantem Volumen
v	des Verdichters [6.3, 9.5]
v	der Verbrennung [11.4]
w	von Wasser [4.4]
w_Q	der Wärmequelle [5.4]
w_S	der Wärmesenke [5.4]
w_{KM}	der Wärmekraftmaschine [5.4]
ρ	volumetrisch [6.6]

Hochzeichen

$\cdot$	Stromgröße [2.3]
$-$	mittlerer Wert [6.4, 9.2]
$'$	gesättigte Flüssigkeit [3.4]
$"$	Sattdampf, trocken gesättigter/ kondensierender Dampf [3.4], desublimierender Dampf [3.5]
$*$	schmelzender Feststoff/Eis [3.5], sublimierender Feststoff/Eis [3.5]
$**$	erstarrende Flüssigkeit [3.5]

Zusätzliche Größen für die Wärmeübertragung

Lateinische Zeichen

a	Temperaturleitfähigkeit [10.1]
a	Absorptionsgrad [10.9]
a_λ	spektraler Absorptionsgrad [10.9]
b	Wärmeeindringkoeffizient [10.3]
Bi	BIOT-Zahl [10.3]
c	Lichtgeschwindigkeit [10.9]
C_{12}	Strahlungsaustauschzahl [10.10]
d	Durchlaßgrad [10.9]
d_h	hydraulischer Durchmesser [10.6]
$\dot{E}$	in den Halbraum emittierter Wärmestrom pro Fläche [10.9]
$\dot{E}_n$	emittierter Wärmestrom in Richtung der Flächennormalen pro Fläche und Raumwinkleinheit [10.9]
$\dot{E}_\beta$	emittierter Wärmestrom im Winkel β zur Flächennormalen pro Fläche und Raumwinkleinheit [10.9]
f	verschiedene numerische Verfahren beschreibender Faktor [10.4]
$ Fo$	FOURIER-Zahl [10.3]
$ Ga$	GALILEI-Zahl [10.8]
$ Gr$	GRASHOF-Zahl [10.5]
$ h$	PLANCKsches Wirkungsquantum [10.9]
$ I$	spektrale Strahlungsintensität [10.9]
$ I_{el}$	elektrischer Strom [10.2]
$ k$	BOLTZMANN-Konstante [10.9]
$ k$	Wärmedurchgangskoeffizient [10.11]
$ L$	charakteristische Abmessung [10.3]
$ m$	Maßstabsfaktor [10.5]

Nu	NUSSELT-Zahl [10.5]
Pe	PÉCLET-Zahl [10.5]
Ph	Phasenumwandlungszahl [10.8]
Pr	PRANDTL-Zahl [10.5]
$\dot{q}$	Wärmestromdichte [10.1]
$\dot{Q}_K$	Wärmestrom durch Konvektion [10.13]
$\dot{Q}_L$	Wärmestrom durch Leitung [10.13]
$\dot{Q}_S$	Wärmestrom durch Strahlung [10.13]
$\dot{Q}_{12}$	Wärmestrom zwischen den Oberflächen 1 und 2 [10.10]
r	Reflexionsgrad [10.9]
r, φ, z	Zylinderkoordinaten [10.11]
r, φ, Θ	Kugelkoordinaten [10.11]
R_{el}	elektrischer Widerstand [10.2]
R_K	therm. Widerstand durch Konvektion [10.1]
R_L	therm. Widerstand durch Leitung [10.1]
R_{Leff}	scheinbarer Leitungswiderstand einer Luftschicht [10.13]
R_{th}	thermischer Widerstand [10.2]
Ra	RAYLEIGH-Zahl [10.5]
Re	REYNOLDS-Zahl [10.5]
s	Wanddicke [10.2]
St	STANTON-Zahl [10.5]
T_{Bez}	Bezugstemperatur für Stoffwerte [10.5]
T_S	Sättigungstemperatur [10.8]
$T_{1(20)}$	Temperatur des Fluids 1(2) an Stelle $x = 0$ [10.12]
$T_{1L(2L)}$	Temperatur des Fluids 1(2) an Stelle $x = L$ [10.12]
$T_{12(23)}$	Kontakttemperatur zwischen den Wandschichten 1–2 (2–3) [10.2]
ΔT	Temperaturdifferenz [10.5]
ΔT_m	mittlere logarithmische Temperaturdifferenz [10.12]
U	Umfang [10.6]
U_{el}	elektrische Spannung [10.2]
w	Strömungsgeschwindigkeit [10.5]
w_m	mittlere Geschwindigkeit der Rohrströmung [10.6]
x, y, z	kartesische Koordinaten [10.1]
$\Delta x (\Delta y, \Delta z)$	kleine Strecke in x - (y -, z -) Richtung [10.1]

Griechische Zeichen

α	Wärmeübergangskoeffizient [10.1, 10.5]
α_{Str}	Strahlungsanteil am Wärmeübergangs- koeffizienten [10.10]
β	therm. Ausdehnungskoeffizient [10.5, 10.7]
δ	Strömungsgrenzschicht-Dicke [10.5]
δ_T	Temperaturgrenzschicht-Dicke [10.5]
ε	Emissionsgrad [10.9]
ε_n	Emissionsgrad in Normalenrichtung [10.9]
ε_λ	spektraler Emissionsgrad [10.9]
η	dynamische Viskosität [10.5]
Θ, r, φ	Kugelkoordinaten [10.1]

λ	Wärmeleitfähigkeit [10.1]
λ	Wellenlänge [10.9]
λ_{eff}	effektive Wärmeleitfähigkeit einer Luftschicht [10.13]
λ_{opt}	Wellenlänge der maximalen spektralen Strahlungsintensität [10.9]
μ	dimensionslose Variable [10.3]
ν	kinematische Viskosität [10.5]
σ_S	STEFAN-BOLTZMANN-Konstante [10.9]
τ_S	Schubspannung [10.5]
φ_{12}	Einstrahlzahl [10.10]
φ, z, r	Zylinderkoordinaten [10.1]
φ, Θ, r	Kugelkoordinaten [10.1]

Indizes

a	auf der Außenseite [10.2]
A	eines Gitterknotenpunktes außerhalb des Körpers [10.4]
A	im Rohraustritt [10.6]
D	der Dämmschicht [10.13]
E	des östl. Nachbarkpunktes von P [10.4]
E	im Rohreintritt [10.6]
F	für Flüssigkeiten [10.6]
i	auf der Innenseite [10.2]
i	einer Wandschicht [10.2]

I	eines ersten inneren Gitterknotenpunktes [10.4]
k	für den Umschlag von laminarer in turbulente Strömung [10.6]
l	bei laminarer Strömung [10.6]
N	des nördl. Nachbarkpunktes von P [10.4]
P	eines Gitterknotenpunktes [10.4]
R	der Rohrwand [10.13]
s	des schwarzen Körpers [10.9]
S	des südl. Nachbarkpunktes von P [10.4]
t	bei turbulenter Strömung [10.6]
w	an der Wand [10.1]
W	des westl. Nachbarkpunktes von P [10.4]
x (y, z)	x-(y-, z-)Komponente [10.1]
x (y, z)	am Ort x (y, z) [10.1]
0	zum Zeitpunkt Null [10.3]
1 (2)	der Oberfläche 1 (2) [10.10]
1 (2)	des Fluids 1 (2) [10.11]
∞	im Fluid weitab der Grenzschicht [10.1, 10.5]

Hochzeichen

n	am Ende eines Zeitschrittes [10.4]
o	zu Beginn eines Zeitschrittes [10.4]
τ	während eines Zeitschrittes [10.4]