

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe	1
1.1	Thermodynamische Systeme und Zustandsgrößen	1
1.2	Maße für Stoffmengen und stoffliche Zusammensetzungen. Molare Größen	4
1.3	Thermisches Gleichgewicht und der „Nullte Hauptsatz der Thermodynamik“. Ideales Gasgesetz	5
1.4	Gelöste Übungsaufgaben und Anwendungsbeispiele	10
1.4.1	Berechnung von Molarität, Molalität, Molenbruch und Gewichtsbruch	10
1.4.2	Umrechnung von Molenbruch in Gewichtsbruch	11
1.4.3	Molekülzahl im Hochvakuum	11
1.4.4	Airbags in Autos	11
1.4.5	Zusammensetzung einer Gasmischung aus Druck- und Massenbestimmung	12
1.4.6	Bestimmung der Molmasse von Trimethylamin	12
1.4.7	Kalibrierung eines Platin-Widerstandsthermometers	13
1.4.8	Funktionsweise eines Gasthermometers	14
1.4.9	Balance und Stabilität von Gaskolben auf einer Balkenwaage	15
1.4.10	Bestimmung des Anteils von Argon in der Luft	17
1.4.11	Zusammenhang von Molenbruch und Molalität	18
1.4.12	Mittlere Dichte eines heterogenen Systems am Beispiel der Erde	19
1.4.13	Berechnung der inneren Struktur des Saturn-Mondes Titan	20
1.4.14	Die Zahl verborgener Goldmünzen	20
1.4.15	Bergung einer im Meer versunkenen Gasdruckflasche	21
1.4.16	Anstieg des Meeresspiegels durch Schmelzwasser des Grönlandeises	22
1.4.17	Verdampfungsvolumen eines Metalls	22
1.4.18	Balance von schwimmenden Eiswürfeln	22
1.4.19	Die Masse der Erdatmosphäre	24

1.4.20	Szenario der Freisetzung des gesamten Kohlenstoffs der Erdoberfläche als CO_2	24
1.4.21	Emission von Benzindämpfen aus Pkw's in Deutschland	25
1.4.22	Analyse des Versuches der „Magdeburger Halbkugeln“	26

2	Mathematische Grundlagen zur Behandlung von thermodynamischen Zustandsfunktionen	29
2.1	Totales Differential, Wegunabhängigkeit des Integrals	29
2.2	Variablentransformationen	32
2.3	Der Schwarz'sche Satz	33
2.4	Homogene Funktionen und Euler'sche Gleichung	34
2.5	Legendre-Transformationen	36
2.6	Die Pfaff'sche Differentialform und der integrierende Nenner	38
2.7	Die Methode der Lagrange'schen Multiplikatoren	40
2.8	Kombinatorik und Binominaltheorem	43
2.9	Gelöste Übungsaufgaben und Anwendungsbeispiele	46
2.9.1	Nachweis der Homogenität einer Funktion vom Grad 1	46
2.9.2	Homogenität von Funktionen mit mehreren Variablen	47
2.9.3	Legendre-Transformation und Rücktransformation einer Beispielfunktion	48
2.9.4	Ermittlung des integrierenden Nenners einer Differentialform	48
2.9.5	Wegunabhängigkeit der Integration einer Funktion mit 2 Variablen	49
2.9.6	Homogene Funktionen und Legendretransformation	49
2.9.7	Beispiel für die Anwendung von Gl. (2.1)	50
2.9.8	Kürzester Abstand zum Ort der Funktion $y \cdot x = a$	50
2.9.9	Beispiel für die Maximierung einer Funktion mit N Variablen unter Nebenbedingungen	51
2.9.10	Das letzte gemeinsame Mittagessen von 8 Freunden	52
2.9.11	Zahl der Gestaltungsmöglichkeiten eines Turms aus LEGO-Bausteinen	52
2.9.12	Wie viel Fleisch ist in der Mensasuppe?	53
3	Das Volumen als Zustandsfunktion	55
3.1	Thermische Zustandsgleichung, Ausdehnungskoeffizient und Kompressibilität	55
3.2	Die van der Waals-Zustandsgleichung	58
3.3	Die verallgemeinerte Zustandsgleichung durch Virialentwicklung	62

3.4	Andere Zustandsgleichungen	64
3.5	Volumina von Mischungen, partielles molares Volumen	68
3.6	Partielle molare Volumina in realen Gasmischungen	72
3.7	Gelöste Übungsaufgaben und Anwendungsbeispiele	74
3.7.1	Temperaturabhängigkeit der Molarität	74
3.7.2	Bestimmung des partiellen molaren Volumens in einer flüssigen Mischung	74
3.7.3	Thermischer Ausdehnungskoeffizient eines v. d. Waals-Gases am kritischen Punkt	75
3.7.4	Kompressibilität eines v. d. Waals-Gases am kritischen Punkt	76
3.7.5	Thermischer Druckkoeffizient eines v. d. Waals-Gases am kritischen Punkt	76
3.7.6	Zweiter Virialkoeffizient nach der RK-Gleichung	77
3.7.7	Beweis der Formel für die Carnahan-Starling-Gleichung	77
3.7.8	Schwebezustand eines Heißluftballons	78
3.7.9	Zusammenhang von α_p und κ_{T^*}	79
3.7.10	Berechnung von α_p und κ_{T^*} einer Modellflüssigkeit	79
3.7.11	Berechnung des Gasdrucks in einer geschlossenen Stahlflasche	80
3.7.12	v.d.Waals-Parameter aus Messdaten des zweiten Virialkoeffizienten von Neon	81
3.7.13	Bestimmung des 2. Mischvirialkoeffizienten in einer realen Gasmischung	82
3.7.14	Druck- und Temperaturverlauf in der Erdkruste	84
3.7.15	Thermische Stabilität einer Bimetall-Münze	85
3.7.16	Die Dieterici-Zustandsgleichung	86
3.7.17	Zusammenhang zwischen Meeresspiegel und Meerwasser-Kompressibilität	88
3.7.18	Eine photometrische Bestimmungsmethode der isothermen Kompressibilität von Flüssigkeiten	89
3.7.19	Thermisches Verhalten von Eisenbahnschienen	89
3.7.20	Thermische Ausdehnung eines stromdurchflossenen Aluminiumdrahtes	90
3.7.21	Formulierung der partiellen molaren Volumina in der Molalitätskala	91
3.7.22	Das Galilei-Thermometer	92
3.7.23	Thermische Ausdehnung von Wasser in Tee-, Wein- und Sektgläsern	94
3.7.24	Das Bimetallthermometer	96
3.7.25	Thermische Ausdehnung eines Überschall-Flugzeuges im Flug	97
3.7.26	Thermische Gangkorrektur von Pendeluhrn	98

3.7.27	Speicherung und Entsorgung von CO_2 in der Tiefsee?	101
3.7.28	Umrechnung von Volumen- in Druck- Virialkoeffizienten	103
3.7.29	Ein thermodynamisches Szenario des atmosphärischen Wassergehaltes in der frühen Erdgeschichte	104
3.7.30	Das Prinzip der korrespondierenden Zustände	106
4	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	109
4.1	Der Zusammenhang von Arbeit, Wärme und innerer Energie	109
4.2	Die Enthalpie als Zustandsgröße. Der Joule-Thomson-Prozess	118
4.3	Enthalpieberechnungen und Exzessenthalpien fluider Mischungen	126
4.4	Reaktionsenthalpien chemischer Reaktionen	129
4.5	Standardbildungsenthalpien	134
4.6	Weiterführende Beispiele und Anwendungen	136
4.6.1	Brennwert und Heizwert am Beispiel von „Wodka“	136
4.6.2	Der Born-Haber'sche Kreisprozess	138
4.6.3	Thermodynamik von Sprengstoffen an einem Beispiel	141
4.6.4	Können Steine verbrennen?	144
4.6.5	Das Eiskalorimeter nach Bunsen	145
4.6.6	Thermodynamik der Akkretion und Massendifferenzierung bei der Entstehung von Planeten	147
4.6.7	Optimierung der CO_2 -Reduktion beim Biogasreaktor	151
4.7	Gelöste Übungsaufgaben	153
4.7.1	Einschlag eines Eisenmeteoriten auf Grönland	153
4.7.2	Erwärmung eines Wasserteichs durch Sonnenstrahlung	154
4.7.3	Beweis einer thermodynamischen Identität für die Druckabhängigkeit der Molwärme	154
4.7.4	Molwärme von Quecksilber und von Ammoniak bei höherem Druck	155
4.7.5	Bestimmung von \bar{C}_V für Argon	156
4.7.6	Wasserkühlung bei der Produktion von Vinylchlorid	156
4.7.7	Standardreaktionsenthalpie der Wassergasreaktion	157
4.7.8	Standardreaktionsenthalpie für die Bildung von Fe_3O_4 aus Fe_2O_3 und Fe	158
4.7.9	Thermochemische Bestimmung der Delokalisierungsenergie der π -Elektronen in Benzen	158
4.7.10	Standardbildungsenthalpie von Ethanol	159
4.7.11	Wärmehaushalt des menschlichen Körpers	160

4.7.12	Molare Enthalpie von Kalium	161
4.7.13	Standardbildungsenthalpie von Glyzin aus der Verbrennungsenthalpie	161
4.7.14	Berechnung von Mischungstemperaturen	162
4.7.15	Molare Exzessenthalpie einer Modellmischung	163
4.7.16	Standardreaktionsenthalpien von Hydrazin mit B_2H_6 und N_2O_4	164
4.7.17	Wärmeproduktion beim Umsatz von Schießpulver	164
4.7.18	Thermodynamik beim Bleigießen an Silvester	165
4.7.19	Die Reaktionsenthalpie der Zersetzung von Ozon	166
4.7.20	Temperaturänderung beim Mischen von Trimethylamin und Chloroform	167
4.7.21	Selbstwärmender Kaffee und selbstkühlende Komresse	168
4.7.22	Thermodynamik des Thermit-Verfahrens	169
4.7.23	Vergleich der Wärmeproduktion und CO_2 -Bildung verschiedener fossiler Energieträger	170
4.7.24	Temperaturänderung in einem Wasserstrahl	171
4.7.25	Anwendung des Hess'schen Satzes zur Ermittlung der Umwandlungsenthalpie mineralischer Reaktionen	172
4.7.26	Thermodynamik des Zusammenstoßes zweier Himmelskörper	173
4.7.27	Druckabhängigkeit der Enthalpie aus einem Joule-Thomson-Experiment	174
4.7.28	Umwandlung der Rotationsenergie wassergefüllter Zylinder in innere Energie	175
4.7.29	Aufheizung von Blei durch radioaktiven Zerfall von ^{32}P	176
4.7.30	Titrationsskalorimetrie und integrale Lösungsenthalpie	177
4.7.31	Thermodynamik einer Dampflokomotive	180
4.7.32	Chemische Fixierung von CO_2 in Polypropylencarbonat	182
4.7.33	Die Flammentemperatur von Erdgas-/Luft- Gemischen	183
5	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	187
5.1	Quasistatische thermodynamische Prozesse: Isothermen und Adiabaten	188
5.2	Die Verallgemeinerung von reversiblen (quasistatischen) Prozessführungen: polytrope Prozesse	192
5.3	Der Carnot'sche Kreisprozess und die Definition der absoluten Temperatur	195
5.4	Die Entropie als Zustandsfunktion und die Definition der absoluten Temperatur	201

5.5	Aus der Entropie abgeleitete thermodynamische Beziehungen	208
5.6	Dissipierte Arbeit und irreversible Prozesse	212
5.7	Entropieproduktion und dissipierte Arbeit	217
5.8	Kriterien für das thermodynamische Gleichgewicht. Die Zustandsgrößen freie Energie und freie Enthalpie	220
5.9	Gibbs'sche Fundamentalgleichung, Thermodynamische Potentiale	227
5.10	Thermodynamische Stabilitätsbedingungen	232
5.11	Thermodynamisches Gleichgewicht in heterogenen Systemen ohne chemische Reaktionen. Phasengleichgewichte und Gibbs'sches Phasengesetz	236
5.12	Die Maxwell-Konstruktion und Phasenumwandlungen reiner Stoffe	241
5.13	Freie Standardbildungsenthalpien	251
5.14	Thermodynamische Prozesse in offenen Systemen	255
5.14.1	Austritt eines komprimierten Gases aus einem Hochdruckbehälter	258
5.14.2	Aufheizung eines Raumes	259
5.14.3	Befüllung eines evakuierten Volumens unter adiabatischen Bedingungen	261
5.14.4	Analyse des Joule-Thomson-Prozesses als stationäres offenes System	263
5.14.5	Stationärer Ausströmungsprozess eines Gases durch eine Düse	264
5.14.6	Strömungsverhalten inkompressibler Flüssigkeiten. Die Bernoulli-Gleichung.	270
5.15	Weiterführende Beispiele und Anwendungen	271
5.15.1	Thermodynamische Gleichgewichtsbedingungen im isolierten System: Maximierung der Entropie	271
5.15.2	Bestimmung des Adiabatenkoeffizienten mit der Methode der schwingenden Kugel	273
5.15.3	Thermodynamik in Planetenatmosphären	276
5.15.4	Thermodynamik der Dehnung von Kautschukbändern und Metalldrähten	278
5.15.5	Wie weit fliegt eine Kanonenkugel?	286
5.15.6	Der fallende Kolben als irreversibler Prozess	289
5.15.7	Kompressoren und Luftpumpen	291
5.15.8	Verbrennungsmotoren als Kreisprozesse: der Otto-Motor, der Diesel-Motor, der Stirling-Motor	293
5.15.9	Energieeffizienz beim Raumheizen	299
5.15.10	Eine exotische Wärmekraftmaschine: Das Minto-Rad.	301
5.15.11	Berechnung des 2-Phasenbereiches Dampf-Flüssigkeit für Cyclohexan mit verschiedenen thermischen Zustandsgleichungen	303

5.15.12	Molwärme im 2-Phasengebiet Flüssig-Dampf bei konstantem Volumen	307
5.15.13	Verdampfungskühlung zur Erzeugung tiefer Temperaturen	310
5.15.14	Zur Wirkungsweise von Geysiren	312
5.15.15	Stabilität von Proteinen als Funktion von Temperatur und Druck. Anwendungen in der Nahrungsmittelindustrie	314
5.15.16	Eis kann Felsen sprengen und Berge bewegen	317
5.15.17	Korrespondierende Zustände: der kritische Punkt und kritische Exponenten	320
5.15.18	Eine reale Carnot-Maschine.	324
5.15.19	Der Abwehrmechanismus des Bombardierkäfers – thermodynamische Aspekte eines biologischen Phänomens	327
5.15.20	Die Dampfstrahlrakete	330
5.15.21	Das freie Volumen nach der Carnahan Starling-Gleichung	332
5.15.22	Wie bewegen sich Tintenfische?	333
5.15.23	Überschallströmung mit Laval-Düsen	335
5.15.24	Entropieproduktion bei Wärmeleitung und viskosem Fluss	338
5.16	Gelöste Übungsaufgaben	341
5.16.1	Quasistatische Arbeit im Grenzfall adiabatisch → isotherm	341
5.16.2	Berechnung von \bar{C}_V aus \bar{C}_p für Quecksilber mit Hilfe von pVT -Daten	342
5.16.3	Zusammenhang von adiabatischer und isothermer Kompressibilität aus der Adiatatengleichung	342
5.16.4	Berechnung der inneren Energieänderung beim adiabatischen Prozess aus der Adiatatengleichung	343
5.16.5	Ableitung der Gibbs'schen Fundamentalgleichung $U(S, V)$ für zwei Beispiele	344
5.16.6	Verdampfungskalorimetrische Bestimmung der inneren Energie und der Molwärme von Eisen	345
5.16.7	Bildungsenthalpie der Benzoesäure in der Gasphase aus Verbrennungsenthalpie und Dampfdruckmessungen	346
5.16.8	Temperaturänderung beim isobaren quasistatischen Prozess	348
5.16.9	Unterschied zwischen arithmetischem und geometrischem Mittelwert	348
5.16.10	Wärmekapazität entlang $p = aV^b$	349
5.16.11	Aufstieg einer Methan-Blase im Meerwasser	350

5.16.12	Temperaturerhöhung von Flusswasser durch Kraftwerke	351
5.16.13	Gewinnung nutzbarer Energie aus einem geothermischen Lager endlicher Größe	352
5.16.14	Kühlleistung eines Kühlturms	352
5.16.15	Berechnung des Wirkungsgrades eines speziellen Kreisprozesses	353
5.16.16	Isotherme quasistatische Arbeit in Flüssigkeiten und Festkörpern	354
5.16.17	Entropieänderung von Kupfer bei tiefen Temperaturen	355
5.16.18	$\bar{C}_p - \bar{C}_v$ in Festkörpern bei tiefen Temperaturen	356
5.16.19	Entropie- und Enthalpieänderung von Quarz bei hohen Temperaturen und Drücken	356
5.16.20	Bestimmung der Tiefe eines Brunnens	358
5.16.21	Bestimmung der Molwärme von Ethanol aus Dichte- und Schallgeschwindigkeitsmessung	359
5.16.22	Gay-Lussac-Koeffizient eines v. d. Waals Gases am Beispiel von CO_2	359
5.16.23	Abkühlung von N_2 im Joule-Thomson-Prozess	360
5.16.24	Schallgeschwindigkeitsmessung als Tieftemperaturthermometer	361
5.16.25	$\bar{C}_p - \bar{C}_v$ auf der Inversionskurve eines Fluids	362
5.16.26	Beispiel für die Anwendung der Maxwell-Relation zur Berechnung von $(\partial \bar{C}_v / \partial \bar{V})_T$ und $(\partial \bar{C}_p / \partial p)_T$	363
5.16.27	Innere Energie und Molwärme eines v. d. Waals- und eines RK-Fluids	364
5.16.28	Entropie, $\bar{C}_p - \bar{C}_v$ und Adiabatangleichung nach der v. d. Waals-Theorie	365
5.16.29	Adiabatangleichung und Adiabatenarbeit für Wasser bei 0°C	367
5.16.30	Thermodynamische Bilanzen beim Mischen von Eis mit flüssigem Wasser	369
5.16.31	Beispiel-Berechnung der inneren Energie aus einer hypothetischen thermischen Zustandsgleichung	371
5.16.32	Verdampfungsenthalpie von Wasser aus der Antoine-Gleichung	371
5.16.33	Verdampfungsprozess von CCl_4 im zylindrischen Rohr	373
5.16.34	Siedetemperaturen von Wasser als Funktion der Höhe über dem Meeresspiegel	375
5.16.35	Schmelzpunkt von Eis unter Druck	376
5.16.36	Umwandlung von Graphit zu Diamant unter Berücksichtigung der Kompressibilitäten	376
5.16.37	Phasenumwandlung von WF_6 im festen Zustand	378

5.16.38	Berechnung des Dampfdruckes aus Standardbildungsgrößen am Beispiel von Br_2 und UF_6	379
5.16.39	Überprüfung der Phasengleichgewichtsbedingungen von Zustandsgleichungen mit dem Carnahan-Starling-Term	381
5.16.40	Mechanische Stabilitätsbedingung aus der Legendre-Transformation von F nach G	382
5.16.41	Ableitung des Phasengesetzes aus der Gibbs-Duhem-Gleichung	382
5.16.42	Dissipierte Arbeit im geteilten Zylinder mit beweglichem Kolben	384
5.16.43	Die Methode von Clement und Desormes zur Bestimmung von Adiabatenkoeffizienten	386
5.16.44	Enthalpie- und Entropieänderung von flüssigem Benzol mit dem Druck	388
5.16.45	Regelung der Temperatur eines Kühlraumes (Joule-Prozess)	389
5.16.46	Bestimmung des Schmelzvolumens von Bismut	392
5.16.47	Kräftegleichgewicht im 2-Zylindersystem mit Doppelkolben	392
5.16.48	Entropieproduktion eines Turmspringers	394
5.16.49	Schallgeschwindigkeit in realen Gasen	394
5.16.50	Berechnung der freien Bildungsenthalpie von NH_3 bei 400 K und 1,5 bar	396
5.16.51	Ein Beispiel für die Bestimmung experimentell unzugänglicher partieller molarer Größen	397
5.16.52	Der Schnellkochtopf	398
5.16.53	Entropieproduktion beim Erstarren von unterkühltem Wasser	400
5.16.54	Funktionsweise von Saugtrichtern und Wasserstrahlpumpen	402
5.16.55	Berechnung der Verdampfungsenthalpie von Methanol vom Schmelzpunkt bis zum kritischen Punkt	405
6	Thermodynamik der Wärmestrahlung	407
6.1	Der allgemeine Zusammenhang zwischen Strahlung und Materie	407
6.2	Strahlungsdruck und Energiedichte der Wärmestrahlung	409
6.3	Thermodynamische Zustandsgrößen des Photonengases	413
6.4	Thermodynamische Prozesse des Photonengases	415
6.5	Strahlungsintensität und ihre spektrale Verteilung	417
6.6	Strahlungsgleichgewicht und Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz ..	422
6.7	Stationäre Nichtgleichgewichte der Wärmestrahlung	423

6.8	Verallgemeinerter Strahlungsaustausch	426
6.9	Weiterführende Beispiele und Anwendungen	430
6.9.1	Sonnenlichtkollektoren als Wärmespeicher und Energiequellen	430
6.9.2	Druckerhöhung in einem Flüssiggas-Tank bei Sonneneinstrahlung	434
6.9.3	Leistung, Fadentemperatur und Lichtausbeute einer Glühlampe	435
6.9.4	Sonnensegel im interplanetaren Raum	437
6.9.5	Superwärmisolation	440
6.9.6	Schwarze Löcher im Kosmos – eine thermodynamische Analyse	443
6.9.7	Infrarot-Fotografie	449
6.10	Übungsaufgaben	451
6.10.1	Alternative Ableitung der Entropie des Photonengases	451
6.10.2	Enthalpie des Photonengases	451
6.10.3	Das isentrope Photonengas	451
6.10.4	Adiabatenkoeffizient des Photonengases	452
6.10.5	Bedingung der Druckgleichheit von Photonengas und Ionenplasma	452
6.10.6	Irreversible Expansion des Photonengases	453
6.10.7	Thermodynamik eines Goldkorns im Gleichgewicht mit dem Photonengas	454
6.10.8	Volumenkontraktion des Weltalls bei 300 K der kosmischen Hintergrundstrahlung	455
6.10.9	Volumenspezifische Wärmekapazität des Photonengases	456
6.10.10	Sonnenabstand eines Chondriten bei seinem Schmelzpunkt	456
6.10.11	Die Planck'sche Strahlungsformel als Funktion der Wellenlänge λ	456
6.10.12	Schwarzkörperstrahlung als Thermometer	457
6.10.13	Maximal mögliche Leistung der Sonneneinstrahlung auf der Erde	458
6.10.14	Thermische Halbwertszeit eines Hg-Thermometers beim Wärmestrahlungsaustausch	459
6.10.15	Strahlungsenergie- und -entropie-Transport unterschiedlich temperierter konzentrischer Rohre	460
6.10.16	Strahlungskorrektur bei Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Gasen	461
6.10.17	Eigenschaften der Atmosphäre des Neptun-Mondes Triton	463
6.10.18	Schallgeschwindigkeit im Photonengas	465

6.10.19	Die innere Wärmeproduktion der Planeten Jupiter und Saturn	466
6.10.20	Thermodynamik der Paarbildung aus Photonen	467
6.10.21	Die Gibbs'sche Fundamentalgleichung für das Photonengas	468
6.10.22	Carnotprozess des Photonengases	469
6.10.23	Bedingung für den Zerfall schwarzer Löcher im Weltall	470
6.10.24	Vereinigung zweier schwarzer Löcher	471
6.10.25	Temperaturschwankungen der Planeten auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne	472
6.10.26	Unterschiedlicher Energieverlust bei Säugetieren durch Wärmestrahlung	473
7	Anhänge	475
A	Drei mathematische Sätze über die Existenz und Eigenschaften integrierender Nenner. Existenznachweis der Entropie als Zustandsgröße	475
B	Einführung der absoluten Temperatur nach Lord Kelvin	480
C	Berechnung der Joule-Thomson-Inversionskurve beim v. d. Waals-Fluid	482
D	Thermodynamische Stabilitätsbedingungen nach der Fluktuationstheorie	485
E	Temperaturabhängigkeit der Verdampfungsenthalpie	489
F	Tabellen: Thermodynamische Stoffdaten (Auswahl)	491
	F.1 Siedetemperaturen und kritische Daten	491
	F.2 Molwärmen	492
	F.3 Thermodynamische Standardbildungsgrößen	493
G	Allgemeines zum Konzept des freien Volumens	502
H	Schallgeschwindigkeit in fluiden Medien	503
I	Weitere thermodynamische Potentiale	506
J	SI-Einheiten physikalischer Größen und Fundamentalkonstanten	509
K	Ergänzende und weiterführende Literatur	511
	Klassiker der chemischen und allgemeinen Thermodynamik	511
	Grundlagenbücher	512
	Schwerpunkte Verfahrenstechnik und technische Thermodynamik	512
	Schwerpunkt Biochemie	513
	Schwerpunkt Physik	513
	Schwerpunkt: kondensierter Zustand	513
	Sachverzeichnis	515