

Ingo Müller



dandelion.com

© 2008 AGI-Information Management Consultants  
May be used for personal purposes only or by  
libraries associated to [dandelion.com](http://dandelion.com) network.

# Grundzüge der Thermodynamik

mit historischen Anmerkungen

Dritte Auflage

Mit 175 Abbildungen



Springer



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabe der Thermodynamik und ihre Bilanzgleichungen .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Die Felder der Mechanik und Thermodynamik .....</b>	<b>1</b>
1.1.1	Massendichte, Geschwindigkeit und Temperatur .....	1
1.1.2	Historisches zur Temperatur .....	2
<b>1.2</b>	<b>Bilanzgleichungen .....</b>	<b>5</b>
1.2.1	Die Erhaltungssätze der Thermodynamik .....	5
1.2.2	Bilanzen für abgeschlossene und offene Systeme .....	5
1.2.3	Lokale Bilanz in regulären Punkten .....	6
<b>1.3</b>	<b>Massenbilanz .....</b>	<b>7</b>
1.3.1	Integrale und lokale Massenbilanzen .....	7
1.3.2	Beispiel zur Massenbilanz: Düsenströmung .....	8
<b>1.4.</b>	<b>Impulsbilanz .....</b>	<b>9</b>
1.4.1	Integrale und lokale Impulsbilanzen .....	9
1.4.2	Druck .....	11
1.4.3	Beispiel I zur Impulsbilanz: Druckverlauf in ruhender inkompressibler Flüssigkeit .....	11
1.4.4	Historisches zu Druck und Luftdruck. Druckeinheiten .....	12
1.4.5	Beispiel zum Druck: Auftriebsgesetz von Archimedes .....	14
1.4.6	Beispiel II zur Impulsbilanz: Raketengrundgleichung .....	14
1.4.7	Beispiel III zur Impulsbilanz: Konvektiver Impulsfluß .....	16
1.4.8	Beispiel IV zur Impulsbilanz: Düsenströmung .....	17
1.4.9	Beispiel V zur Impulsbilanz: Bernoulli-Gleichung .....	19
1.4.10	Beispiel zur Bernoulli-Gleichung: Auftriebsformel von Kutta-Joukovsky .....	20



<b>1.5</b>	<b>Energiebilanz .....</b>	<b>22</b>
1.5.1	Kinetische Energie, potentielle Energie und vier Arten der inneren Energie .....	22
1.5.2	Integrale und lokale Energiebilanzen .....	26
1.5.3	Potentielle Energie .....	28
1.5.4	Beispiel I zum Energiesatz: Düsenströmung .....	29
1.5.5	Beispiel II zum Energiesatz: Adiabate Drosselung .....	29
1.5.6	Beispiel III zum Energiesatz: Verdampfung .....	30
1.5.7	Beispiel IV zum Energiesatz: Fön .....	32
1.5.8	Beispiel V zum Energiesatz: Turbine .....	33
<b>1.6</b>	<b>Bilanz der inneren Energie .....</b>	<b>34</b>
1.6.1	Ableitung aus Energie-, Impuls- und Massenbilanz .....	34
1.6.2	Kurzform der Energiebilanzen für abgeschlossene Systeme .....	36
<b>1.7</b>	<b>Erster Hauptsatz für reversible Prozesse. Grundlage der „pdV-Thermodynamik“ .....</b>	<b>37</b>
1.7.1	Arbeitsleistung und innere Arbeitsleistung im reversiblen Prozeß .....	37
1.7.2	Reversible Prozesse .....	37
<b>1.8</b>	<b>Zusammenfassung der Bilanzgleichungen .....</b>	<b>38</b>
<b>1.9</b>	<b>Historisches zum ersten Hauptsatz .....</b>	<b>39</b>
<b>2</b>	<b>Materialgleichungen .....</b>	<b>47</b>
<b>2.1</b>	<b>Allgemeine Form der Materialgleichungen in Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen .....</b>	<b>47</b>
2.1.1	Notwendigkeit von Materialgleichungen .....	47
2.1.2	Materialgleichungen für wärmeleitende Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase mit innerer Reibung .....	48



<b>2.2</b>	<b>Bestimmung von Viskosität und Wärmeleitfähigkeit .....</b>	<b>49</b>
2.2.1	Scherströmung zwischen zwei Platten. Newton'sches Reibungsgesetz .....	49
2.2.2	Wärmeleitung an Fensterscheibe .....	51
<b>2.3</b>	<b>Zustandsgleichung idealer Gase .....</b>	<b>54</b>
2.3.1	Thermische Zustandsgleichung idealer Gase .....	54
2.3.2	Historisches zur thermischen Zustandsgleichung idealer Gase .....	56
2.3.3	Kalorische Zustandsgleichung idealer Gase .....	58
2.3.4	Historisches zur kalorischen Zustandsgleichung idealer Gase. Der Versuch von Gay-Lussac .....	59
2.3.5	Eine instruktive Trivialform der kinetischen Gastheorie. Molekulare Deutung von Druck und Temperatur .....	61
2.3.6	Beispiel I zum idealen Gas: Kolben fällt in Zylinder .....	63
2.3.7	Beispiel II zum idealen Gas: Heizung eines Zimmers .....	65
2.3.8	Beispiel III zum idealen Gas: Geschwindigkeit und Temperatur am Austritt eines Föns .....	67
2.3.9	Beispiel IV zum idealen Gas: Düsenströmung .....	68
2.3.10	Beispiel V zum idealen Gas: Barometrische Höhenstufe .....	73
2.3.11	Beispiel VI zum idealen Gas: „Adiabatische Zustandsgleichung“ .....	74
2.3.12	Beispiel VII zum idealen Gas: Kaminströmung .....	75
2.3.13	Beispiel VIII zum idealen Gas: Aufwindkraftwerk .....	77
<b>2.4</b>	<b>Zustandsgleichungen von Flüssigkeiten und Dämpfen (ohne Phasenübergang) .....</b>	<b>81</b>
2.4.1	Die Notwendigkeit von Messungen .....	81
2.4.2	Thermische Zustandsgleichung .....	81
2.4.3	Kalorische Zustandsgleichung .....	83
2.4.4	Zustandsgleichungen von flüssigem Wasser .....	86
<b>2.5</b>	<b>Zustandsdiagramme für Flüssigkeiten und Dämpfe (mit Phasenübergang) .....</b>	<b>86</b>
2.5.1	Das Phänomen des Phasenübergangs „flüssig – dampfförmig“ .....	86
2.5.2	Schmelzen und Sublimieren .....	89
2.5.3	Dampfdruckkurve und (p,T)-Diagramm von Wasser .....	89
2.5.4	Naßdampfgebiet und (p,v)-Diagramm von Wasser .....	92



<b>X</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	
2.5.5	3-D-Phasendiagramm	93
2.5.6	Verdampfungswärme und (h,T)-Diagramm von Wasser .....	94
2.5.7	Beispiel I zur Verdampfung: Das Einweckglas .....	95
2.5.8	Beispiel II zur Verdampfung: Der Dampfkochtopf .....	96
2.5.9	Historisches zur Verflüssigung von Dämpfen und zur Erstarrung von Flüssigkeiten .....	98
2.5.10	Van-der-Waals-Gleichung .....	99
<b>3</b>	<b>Reversible Prozesse. Die „pdV-Thermodynamik“ bei der Berechnung thermodynamischer Maschinen .....</b>	<b>102</b>
<b>3.1</b>	<b>Kompressor und Preßluftmaschine. Heißluftmaschine .....</b>	<b>102</b>
3.1.1	Die Arbeit am Kompressor .....	102
3.1.2	Der zweistufige Kompressor .....	104
3.1.3	Die Preßluftmaschine .....	105
3.1.4	Die Heißluftmaschine .....	106
3.1.5	Die Dampfmaschine .....	107
<b>3.2</b>	<b>Arbeit und Wärme bei speziellen reversiblen Problemen .....</b>	<b>110</b>
3.2.1	Arbeit und Wärme im reversiblen Prozeß allgemein .....	110
3.2.2	Arbeit und Wärme in irreversiblen „Isoprozessen“ und im adiabaten Prozeß für ideale Gase .....	111
<b>3.3</b>	<b>Kreisprozesse .....</b>	<b>113</b>
3.3.1	Wirkungsgrad bei der Umsetzung von Wärme in Arbeit .....	113
3.3.2	Beispiel I zum Wirkungsgrad. Joule-Prozeß .....	114
3.3.3	Beispiel II zum Wirkungsgrad. Carnot-Prozeß .....	116
3.3.4	Beispiel III zum Wirkungsgrad. Ericson-Prozeß .....	117
<b>3.4</b>	<b>Verbrennungsmotoren .....</b>	<b>119</b>
3.4.1	Ottomotoren .....	119
3.4.2	Dieselmotor .....	122



<b>4</b>	<b>Entropie</b>	126
<b>4.1</b>	<b>Der zweite Hauptsatz</b>	126
4.1.1	Formulierung	126
4.1.2	Ergebnisse	126
4.1.3	Der universelle Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses	128
4.1.4	Absolute Temperatur als integrierender Faktor	129
4.1.5	Wachstum der Entropie	133
4.1.6	(T,S)-Diagramm und Maximaler Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses	134
<b>4.2</b>	<b>Auswertung des zweiten Hauptsatzes</b>	136
4.2.1	Integrabilitätsbedingung	136
4.2.2	Innere Energie und Entropie des Van-der-Waals-Gases und des idealen Gases	137
4.2.3	Alternativformen der Gibbs-Gleichung und der Integrabilitätsbedingung	138
4.2.4	Phasengleichgewicht. Gleichungen von Clausius-Clapeyron	141
4.2.5	Phasengleichgewicht im Van-der Waals-Gas	143
4.2.6	Temperaturänderungen bei adiabater Drosselung. Beispiel: Van-der-Waals-Gas	145
4.2.7	Thermodynamische Stabilitätskriterien	149
4.2.8	Stabilitätsbedingungen	151
4.2.9	Legendre Transformationen	153
<b>4.3</b>	<b>Historisches zum zweiten Hauptsatz</b>	154
<b>4.4</b>	<b>Die Entropie als <math>S = k \ln W</math></b>	158
4.4.1	Molekulare Deutung der Entropie	158
4.4.2	Entropie eines Gases und eines Polymermoleküls	159
4.4.3	Entropie als ein Maß für Unordnung	165
4.4.4	Das Wachstum der Unordnung	166
4.4.5	Maxwell'sche Verteilungsfunktion	166
4.4.6	Die Entropie eines Gummistabes	167
<b>4.5</b>	<b>Beispiel zu Entropie und zweitem Hauptsatz: Gas und Gummi</b>	170
4.5.1	Gibbs-Gleichung und Integrabilitätsbedingungen für Flüssigkeiten und Festkörper	170



4.5.2	Beispiele für entropische Elastizität .....	173
4.5.3	Reales Gas und kristallisiertes Gummi .....	174
4.5.4	Freie Energie von Gasen und Gummis. (p,V)- und (P,L)-Kurven .....	177
4.5.5	Reversible und hysteretische Phasenübergänge .....	179
 4.6	 <b>Historisches zur statistischen Interpretation der Entropie</b> ... ..	 183
 5	 <b>Dampfmaschine und Kältemaschinen</b> .....	 187
5.1	Historisches zur Dampfmaschine .....	187
5.2	Dampfmaschine .....	190
5.2.1	Das (T,s)-Diagramm .....	190
5.2.2	Clausius-Rankine-Prozeß im (T,s)-Diagramm .....	191
5.2.3	Das (h,s)-Diagramm .....	194
5.2.4	Beispiel: Dampfdurchsatz und Wirkungsgrad einer Dampfkraftanlage .....	195
5.2.5	Instruktive Versuche zur Erhöhung des Wirkungsgrades .....	197
5.3	Kältemaschine und Wärmepumpe .....	199
5.3.1	Prinzip einer Kompressionskältemaschine .....	199
5.3.2	Beispiel: Berechnung einer Kompressionskältemaschine .....	201
5.3.3	Wärmepumpe. Ein Beispiel .....	202
 6	 <b>Wärmeübertragung</b> .....	 204
6.1	Instationäre Wärmeleitung .....	204
6.1.1	Wärmeleitungsgleichung .....	204
6.1.2	Trennung der Variablen .....	205
6.1.3	Beispiel I: Wärmeleitung in einem adiabaten Stab der Länge L ..	206
6.1.4	Beispiel II: Wärmeleitung in einem unendlich längen Stab .....	209
6.1.5	Beispiel III: Temperaturmaximum in der Nähe eines Wärmepols .....	211
6.1.6	Beispiel IV: Wärmewellen im Erdboden .....	211
6.1.7	Historisches zur Wärmeleitung .....	214



<b>6.2</b>	<b>Wärmetauscher</b> .....	215
6.2.1	Wärmeübergangszahlen und Wärmedurchgangszahl .....	215
6.2.2	Temperaturgleichungen in Strömungsrichtung .....	217
6.2.3	Temperaturverläufe .....	219
<b>6.3</b>	<b>Wärmestrahlung</b> .....	222
6.3.1	Spektrales Emissionsverhältnis und spektrale Absorptionszahl .....	222
6.3.2	Gemittelttes Emissionsverhältnis und gemittelte Absorptionszahl .....	225
6.3.3	Beispiel I zum Stefan-Boltzmann-Gesetz: Temperatur von Sonne und Planeten .....	228
6.3.4	Beispiel II zum Stefan-Boltzmann-Gesetz: Vergleich von Strahlung und Leitung .....	230
6.3.5	Historisches zur Wärmestrahlung .....	231
<b>6.4</b>	<b>Nutzung der Sonnenenergie</b> .....	234
6.4.1	Verfügbarkeit der Sonnenenergie .....	234
6.4.2	Thermosiphon .....	235
6.4.3	Treibhaus .....	238
6.4.4	Konzentrierende Kollektoren. Das Brennglas .....	239
<b>7</b>	<b>Mischungen und Mischphasen</b> .....	241
<b>7.1</b>	<b>Chemisches Potential</b> .....	241
7.1.1	Charakterisierung von Mischungen, Lösungen und Legierungen .....	241
7.1.2	Das chemische Potential .....	242
7.1.3	Acht nützliche Eigenschaften des chemischen Potentials .....	244
7.1.4	Die Meßbarkeit des chemischen Potentials .....	246
<b>7.2</b>	<b>Vermischungsgrößen</b>	
	<b>Chemisches Potential idealer Mischungen</b> .....	248
7.2.1	Vermischungsgrößen allgemein .....	248
7.2.2	Vermischungsgrößen bei idealen Gasen .....	250
7.2.3	Ideale Mischungen .....	251
7.2.4	Chemische Potentialfunktionen idealer Mischungen .....	252



<b>7.3</b>	<b>Osmose</b> .....	253
7.3.1	Osmotischer Druck in verdünnten Lösungen. Van't Hoff'sches Gesetz .....	253
7.3.2	Beispiel I zum osmotischen Druck Pfeffer'sche Säule .....	255
7.3.3	Beispiel II zum osmotischen Druck: Meerwasserentsalzung .....	258
7.3.4	Beispiel III zum osmotischen Druck: Physiologische Kochsalzlösung .....	259
7.3.5	Eine energetische Interpretation der Osmose .....	260
<b>7.4</b>	<b>Mischphasen</b> .....	262
7.4.1	Gibbs'sche Phasenregel .....	262
7.4.2	Freiheitsgrade .....	263
<b>7.5</b>	<b>Flüssig-Dampf-Gleichgewichte (ideal)</b> .....	264
7.5.1	Ideales Raoult'sches Gesetz .....	264
7.5.2	Ideale Phasendiagramme binärer Mischungen .....	265
7.5.3	Verdampfungsvorgang im Phasendiagramm .....	268
7.5.4	Beispiel I zum Raoult'schen Gesetz: CO <sub>2</sub> in Atmosphäre und Meer .....	269
7.5.5	Beispiel II zum Raoult'schen Gesetz: Mineralwasser .....	270
7.5.6	Beispiel III zum Raoult'schen Gesetz: Dampfdruckerniedrigung und Siedepunktserhöhung .....	270
<b>7.6</b>	<b>Weitere Beispiele zum Raoult'schen Gesetz</b> .....	272
7.6.1	Molmasse – das mol als Einheit .....	272
7.6.2	Beispiel IV zum Raoult'schen Gesetz: Binäre Mischung aus Propan und Butan .....	273
7.6.3	Destillation im „Batch“ Verfahren .....	276
<b>7.7</b>	<b>Flüssig-Dampf-Gleichgewicht (Real)</b> .....	279
7.7.1	Aktivität und Fugazität .....	279
7.7.2	Reales Raoult'sches Gesetz .....	280
7.7.3	Bestimmung der Aktivitätskoeffizienten .....	281
7.7.4	Bestimmung der Fugazitätskoeffizienten .....	283
7.7.5	Aktivitätskoeffizient bei Mischungswärme Konstruktion von Phasendiagrammen .....	283



<b>7.8</b>	<b>Freie Enthalpie einer Phasenmischung .....</b>	<b>286</b>
7.8.1	Graphische Bestimmung der Gleichgewichtsbedingungen .....	286
7.8.2	Phasendiagramm bei lückenloser Mischbarkeit .....	290
7.8.3	Mischungslücke in der flüssigen Phase .....	292
<b>7.9</b>	<b>Legierungen .....</b>	<b>292</b>
7.9.1	(T,c <sub>l</sub> )-Diagramme .....	292
7.9.2	Mischkristalle und Eutektikum .....	295
7.9.3	Gibbs'sche Phasenregel .....	296
7.9.4	Andere Phasendiagramme .....	296
<b>8</b>	<b>Chemisch reagierende Mischungen .....</b>	<b>297</b>
<b>8.1</b>	<b>Stöchiometrie und Massenwirkungsgesetz .....</b>	<b>297</b>
8.1.1	Stöchiometrie .....	297
8.1.2	Beispiel zur Stöchiometrie: Atmungsquotient RQ .....	299
8.1.3	Massenwirkungsgesetz .....	300
8.1.4	Massenwirkungsgesetz für ideale Mischungen und Mischungen idealer Gase .....	301
8.1.5	Historisches zum Massenwirkungsgesetz .....	302
8.1.6	Beispiel I zum Massenwirkungsgesetz idealer Gase: Haber-Bosch-Synthese .....	303
8.1.7	Historisches zur Haber-Bosch-Synthese .....	304
8.1.8	Beispiel II zum Massenwirkungsgesetz idealer Gase: Zerfall von Kohlendioxid .....	305
8.1.9	Gleichgewicht in stöchiometrischen Mischungen idealer Gase .....	307
<b>8.2</b>	<b>Reaktionswärmen, Reaktionsentropie und absolute Entropiewerte .....</b>	<b>310</b>
8.2.1	Die additiven Konstanten in u und s .....	310
8.2.2	Reaktionswärmen und Bindungsenergien .....	311
8.2.3	Reaktionsentropien .....	313
8.2.4	Prinzip vom kleinsten Zwang .....	314



<b>8.3</b>	<b>Nernst'sches Wärmetheorem. Dritter Hauptsatz der Thermodynamik .....</b>	<b>315</b>
8.3.1	Dritter Hauptsatz in der Nernst'schen Formulierung .....	315
8.3.2	Beispiel zum 3. Hauptsatz: Umwandlungswärme von Zinn .....	316
8.3.3	Dritter Hauptsatz in der Planck'schen Formulierung .....	317
8.3.4	Absolutwerte von Energie und Entropie .....	319
<b>8.4</b>	<b>Energetische und entropische Beiträge zum Gleichgewicht .....</b>	<b>319</b>
8.4.1	Drei Anteile der freien Enthalpie .....	319
8.4.2	Beispiel I: Wasserstoffdissoziation .....	321
8.4.3	Beispiel II: Ammoniaksynthese .....	323
<b>8.5</b>	<b>Die Brennstoffzelle .....</b>	<b>325</b>
8.5.1	Chemische Reaktionen .....	325
8.5.2	Typenvielfalt .....	326
8.5.3	Thermodynamik .....	327
8.5.4	Effekt von Temperatur- und Druckänderungen .....	330
8.5.5	Leistung der Brennstoffzelle .....	331
8.5.6	Wirkungsgrad .....	332
<b>8.6</b>	<b>Thermodynamik der Photosynthese .....</b>	<b>333</b>
8.6.1	Das Dilemma der Glukose-Synthese .....	333
8.6.2	Massenbilanzen .....	334
8.6.3	Energiebilanz. Warum eine Pflanze viel Wasser braucht. ....	336
8.6.4	Entropiebilanz. Warum eine Pflanze viel Luft braucht. ....	338
8.6.5	Diskussion .....	340
<b>9</b>	<b>Feuchte Luft .....</b>	<b>341</b>
<b>9.1</b>	<b>Charakterisierung feuchter Luft .....</b>	<b>341</b>
9.1.1	Feuchtegrad .....	341
9.1.2	Enthalpie feuchter Luft .....	342
9.1.3	Tabelle für feuchte Luft .....	344
9.1.4	Das $(h_{1+x}, x)$ -Diagramm .....	344



<b>9.2</b>	<b>Einfache Prozesse in feuchter Luft</b>	346
9.2.1	Zufuhr von Wasser	346
9.2.2	Erwärmung	346
9.2.3	Mischen	346
9.2.4	Mischung feuchter Luft mit Nebel	347
<b>9.3</b>	<b>Verdampfungsgrenze und Kühlgrenze</b>	348
9.3.1	Massenbilanz und Verdampfungsgrenze	348
9.3.2	Energiebilanz und Kühlgrenze	349
<b>9.4</b>	<b>Zwei instruktive Beispiele - Sauna und Wolkenuntergrenze</b>	351
9.4.1	Eine Sauna wird klimatisiert	351
9.4.2	Wolkenuntergrenze	353
<b>9.5</b>	<b>Faustregeln</b>	355
9.5.1	Alternative Feuchteangaben	355
9.5.2	Trocken-adiabatischer Temperaturgradient	356
9.5.3	Die Wolkenuntergrenze. Abschätzung	357
<b>9.6</b>	<b>Verdunstung</b>	358
9.6.1	Der Druck von gesättigtem Dampf bei Gegenwart von Luft	358
9.6.2	Verdunstung	360
9.6.3	Zwei Beispiele für Verdunstung	361
<b>10</b>	<b>Ausgesuchte Probleme der Thermodynamik</b>	362
<b>10.1</b>	<b>Tropfen und Blasen</b>	362
10.1.1	Verfügbare freie Energie	362
10.1.2	Notwendige und hinreichende Gleichgewichtsbedingungen	363
10.1.3	Verfügbare freie Energie als Funktion des Radius	364
10.1.4	Keimbildungsbarriere für Tropfen	366
10.1.5	Keimbildungsbarriere für Blasen	368
10.1.6	Bewertung	368
<b>10.2</b>	<b>Nebel und Wolken. Tropfen in feuchter Luft</b>	369



10.2.1	Problemstellung .....	369
10.2.2	Verfügbare freie Energie, Gleichgewichtsbedingungen .....	369
10.2.3	Wasserdampfdruck im Phasengleichgewicht .....	371
10.2.4	Die Form der verfügbaren freien Energie .....	372
10.2.5	Keimbildungsbarriere und Tropfenradius .....	375
<b>10.3</b>	<b>Luftballons .....</b>	<b>376</b>
10.3.1	Druck-Radius-Charakteristik .....	376
10.3.2	Stabilität eines Ballons .....	380
10.3.3	Ein anschauliches Argument zur Stabilität des Ballons .....	383
10.3.4	Gleichgewichte kommunizierender Ballons .....	385
<b>10.4</b>	<b>Schall .....</b>	<b>388</b>
10.4.1	Wellengleichung .....	388
10.4.2	Lösung der Wellengleichung. d'Alembert-Methode .....	391
10.4.3	Ebene harmonische Wellen .....	394
10.4.4	Ebene harmonische Schallwellen .....	395
<b>10.5</b>	<b>Landau-Theorie der Phasenübergänge .....</b>	<b>397</b>
10.5.1	Freie Energie und Last als Funktion von Temperatur und Dehnung .....	397
10.5.2	Phasenübergang erster Ordnung .....	397
10.5.3	Phasenübergang zweiter Ordnung .....	400
10.5.4	Phasenübergänge unter Last .....	402
10.5.5	Eine Bemerkung zur Klassifizierung von Phasenübergängen .....	403
<b>10.6</b>	<b>Schwellen und Schrumpfen von Gelen .....</b>	<b>404</b>
10.6.1	Phänomene .....	404
10.6.2	Freie Enthalpie .....	406
10.6.3	Schwellen und Schrumpfen als Funktion der Temperatur .....	409
<b>10.7</b>	<b>Gedächtnislegierungen .....</b>	<b>412</b>
10.7.1	Phänomene und Anwendungen .....	412
10.7.2	Ein Modell für Gedächtnislegierungen .....	416
10.7.3	Entropische Stabilisierung .....	420
10.7.4	Pseudoelastizität .....	423
10.7.5	Latente Wärme .....	428
10.7.6	Simulation einer Gedächtnislegierung .....	430



<b>11</b>	<b>Thermodynamik irreversibler Prozesse .....</b>	<b>435</b>
<b>11.1</b>	<b>Reinstoffe .....</b>	<b>435</b>
11.1.1	Die Gesetze von Fourier und Navier-Stokes.....	435
11.1.2	Scherströmung und Wärmeleitung zwischen zwei Platten ....	438
11.1.3	Absorption und Dispersion des Schalls .....	440
<b>11.2</b>	<b>Mischungen .....</b>	<b>443</b>
11.2.1	Die Gesetze von Fourier, Fick und Navier-Stokes.....	443
11.2.2	Diffusionskoeffizienten und Diffusionsgleichung .....	447
11.2.3	Stationäre Wärmeleitung gekoppelt mit Diffusion und chemischer Reaktion .....	449
	<b>Namen- und Sachverzeichnis .....</b>	<b>455</b>