

Gerhard Adam  
Otto Hittmair

# Wännetheorie

4., durchgesehene Auflage

Mit 86 Bildern



# Inhaltsverzeichnis

Gegenstand und grundsätzliche Betrachtungsweise	XI
I. Thermodynamik	1
1. Grundbegriffe	1
1.1. Die Temperatur	1
1.2. Weitere Begriffe	4
2. Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik	6
2.1. Wärmekapazität und spezifische Wärme	11
2.2. Rechenregeln für partielle Ableitungen	12
2.3. Experimentelle Prüfung und weitere Folgerungen des 1. Hauptsatzes	12
2.4. Gay-Lussac-Versuch	14
2.5. Joule-Thomson-Versuch	15
3. Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik	16
3.1. Die Aussagen des 2. Hauptsatzes	16
3.2. Die Carnot-Maschine	17
3.3. Die thermodynamische Temperaturskala	19
3.4. Der Carnotsche Kreisprozeß des idealen Gases und die Temperaturskala	20
3.5. Die Entropie	23
3.6. Entropieänderung bei isothermer Expansion idealer Gase	27
3.7. Entropieänderung bei der Wärmeleitung	29
3.8. Entropie des idealen Gases	29
3.9. Folgerungen aus dem 2. Hauptsatz	30
3.10. Folgerungen des 2. Hauptsatzes für das ideale Gas	33
3.11. Die Adiabate einer beliebigen Substanz	34
3.12. Schallgeschwindigkeit	35
3.13. Die Adiabate idealer Gase	36
3.14. Joule-Thomson-Versuch	36
3.15. Gemische idealer Gase	37
3.16. Mischentropie, Gibbssches Paradoxon	38
3.17. Thermodynamische Potentiale	41
3.18. Gleichgewichtsbedingungen	43
3.19. Partielle Ableitungen der thermodynamischen Potentiale	44
3.20. Thermodynamische Potentiale mit variabler Molzahl	47
3.21. Maxwell-Relationen	48
3.22. Gibbs-Duhem-Beziehung	49
3.23. Legendre-Transformation	50

<b>4.</b>	<b>Der 3. Hauptsatz</b>	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>Das van der Waalssche Gas</b>	<b>60</b>
5.1.	Die Zustandsgleichung des van der Waalsschen Gases	60
5.2.	Berechnung der inneren Energie für das van der Waalssche Gas	64
5.3.	Joule-Thomson-Kurve des van der Waalsschen Gases	65
<b>6.</b>	<b>Anwendung der Hauptsätze auf heterogene Systeme</b>	<b>66</b>
6.1.	Thermodynamische Beschreibung der Phasenübergänge	66
6.2.	Maxwellsche Regel	69
6.3.	Schmelzen	70
6.4.	Sublimieren	71
6.5.	Tripelpunkt	71
6.6.	Allotrope Umwandlung	73
6.7.	Methode der Lagrangeschen Multiplikatoren	74
6.8.	Gibbssche Phasenregel	75
6.9.	Zweistoffsystem Salmiak-Wasser	78
6.10.	Massenwirkungsgesetz	80
6.11.	System aus verdünnten Lösungen und idealen Gasen	87
6.11.1.	Gefrierpunktserniedrigung einer verdünnten Lösung	90
6.11.2.	Osmotischer Druck	91
<b>7.</b>	<b>Beispiele zur Thermodynamik</b>	<b>93</b>
<b>II.</b>	<b>Die kinetische Theorie</b>	<b>138</b>
<b>8.</b>	<b>Transporttheorie</b>	<b>138</b>
8.1.	Verteilungsfunktion	138
8.2.	Zweierstöße	143
8.3.	Berechnung von $R$	145
8.4.	Der inverse Stoß	148
8.5.	Berechnung von $R$	149
8.6.	Das Boltzmannsche H-Theorem	150
8.7.	Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung	152
8.8.	Gleichgewichtsverteilung bei äußerem Kraftfeld	159
8.8.1.	Barometrische Höhenformel	160
8.8.2.	Mittlere Energie eines Kristalls der Temperatur $T$	161
8.8.3.	Sedimentationsgleichgewicht	162
8.9.	Die Thermodynamik des idealen Gases	163
8.10.	Diskussion des H-Theorems	164
<b>9.</b>	<b>Transporterscheinungen</b>	<b>165</b>
9.1.	Die mittlere freie Weglänge	165
9.2.	Näherung des Stoßterms bei kleiner Abweichung vom Gleichgewicht	167

9.3.	Transporterscheinungen. . . . .	169
9.4.	Diffusion. . . . .	170
9.5.	Innere Reibung (Viskosität). . . . .	172
9.6.	Wärmeleitung. . . . .	174
9.7.	Zusammenfassung der Transporterscheinungen. . . . .	177
9.8.	Lösung der Wärmeleitungsgleichung. . . . .	177
9.8.1.	Lösung des Anfangswertproblems. . . . .	179
9.8.2.	Anfangsbedingungen des linearen Stabes. . . . .	180
9.8.3.	Isotherme Randbedingung. . . . .	181
9.8.4.	Adiabatische Randbedingung. . . . .	182
9.8.5.	Der Wärmepol. . . . .	183
9.9.	Elektrizitätsleitung. . . . .	184
<b>10.</b>	<b>Beispiele zur kinetischen Theorie. . . . .</b>	<b>186</b>
III.	Statistische Mechanik. . . . .	200
<b>11.</b>	<b>Theorie der statistischen Gesamtheiten (Ensemble-Theorie). . . . .</b>	<b>200</b>
11.1.	Einleitung. . . . .	200
11.2.	Grad der Unbestimmtheit. . . . .	201
11.3.	Entropie als maximaler Grad der Unbestimmtheit. . . . .	202
11.4.	Die Wahrscheinlichkeit $w$ , der drei Gesamtheiten. . . . .	203
11.5.	Die kanonische Gesamtheit. . . . .	205
11.6.	Die mikrokanonische Gesamtheit. . . . .	208
11.7.	Die großkanonische Gesamtheit. . . . .	209
11.8.	Zustandssumme und Zustandsintegral. . . . .	212
11.9.	Der Liouvillesche Satz. . . . .	215
<b>12.</b>	<b>Die Berechnung der kanonischen Zustandssumme. . . . .</b>	<b>218</b>
12.1.	Berechnung der Zustandssumme eines Systems, das aus $N$ Subsystemen besteht. . . . .	218
12.2.	Das klassische ideale Gas. . . . .	221
<b>13.</b>	<b>Mikrokanonische Gesamtheit. . . . .</b>	<b>230</b>
<b>14.</b>	<b>Der Gleichverteilungssatz der Energie, seine Anwendungen auf die spezifische Wärme und seine Abweichungen. . . . .</b>	<b>234</b>
14.1.	Der Gleichverteilungssatz der Energie. . . . .	234
14.2.	Spezifische Wärme nach dem Gleichverteilungssatz. . . . .	236
14.3.	Spezifische Wärme des idealen zweiatomigen Gases. . . . .	238
14.3.1.	Rotation. . . . .	240
14.3.2.	Para- und Orthowasserstoff. . . . .	242
14.3.3.	Vibration. . . . .	243
14.4.	Spezifische Wärme der Festkörper. Das Einsteinmodell des Kristalls. . . . .	245

<b>15.</b>	<b>Berechnung der großkanonischen Zustandssumme . . . . .</b>	<b>247</b>
15.1.	Maxwell-Boltzmann-Statistik . . . . .	247
15.2.	Ideales Gas. . . . .	248
15.3.	Dichteschwankungen des idealen Gases. . . . .	248
15.4.	Korrigierte Maxwell-Boltzmann-Statistik . . . . .	250
15.5.	Exakte Statistik nichtunterscheidbarer Teilchen. . . . .	253
15.5.1.	Bose-Einstein-Statistik. . . . .	253
15.5.2.	Fermi-Dirac-Statistik . . . . .	255
<b>16.</b>	<b>Die idealen einatomigen Böse- und Fermigase . . . . .</b>	<b>256</b>
16.1.	Das ideale Fermigas. . . . .	258
16.2.	Das ideale Bosegas. . . . .	267
16.3.	Einstein-Kondensation. . . . .	269
<b>17.</b>	<b>Das Photonengas. . . . .</b>	<b>275</b>
17.1.	Das Plancksche Strahlungsgesetz . . . . .	277
17.2.	Das Wiensche Verschiebungsgesetz . . . . .	280
17.3.	Historisches. . . . .	281
17.4.	Zustandsgleichung des Photonengases. . . . .	282
17.5.	Klassische Berechnung des Strahlungsgesetzes. . . . .	284
<b>18.</b>	<b>Das Debye-Modell . . . . .</b>	<b>284</b>
<b>19.</b>	<b>Beispiele zur statistischen Mechanik . . . . .</b>	<b>289</b>
<b>IV. -</b>	<b>Anhang. . . . .</b>	<b>322</b>
1.	Formelsammlung . . . . .	322
2.	Physikalische Konstanten. . . . .	335
3.	Umrechnungsfaktoren. . . . .	335
4.	Literaturverzeichnis. . . . .	335
	Sachwortverzeichnis. . . . .	337