

Richard Becker

Theorie der Wärme

Dritte, ergänzte Auflage
bearbeitet von W. Ludwig

Mit 124 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

Inhaltsverzeichnis

I. Thermodynamik

A. Die beiden Hauptsätze der Wärmelehre	1
§ 1. Der Temperaturbegriff und die Zustandsgleichung des idealen Gases	1
§ 2. Zustandsgrößen	3
§ 3. Der erste Hauptsatz	5
a) Änderung des Volumens S. 6. – b) Die Magnetisierung S. 7. – c) Energie des idealen Gases S. 9	
§ 4. Spezifische Wärmen	10
a) Erwärmung bei konstantem Druck S. 10. – b) Adiabatische Änderung S. 11. – c) Die Anwendung auf die Berechnung der Schallgeschwindigkeit S. 12. – d) Energie und spezifische Wärmen bei idealen Gasen S. 13	
§ 5. Der zweite Hauptsatz	14
§ 6. CARNOTS Wirkungsgrad.	15
§ 7. Die allgemeine CARNOT-Maschine und die Definition der absoluten Temperatur	16
B. Die Entropie	17
§ 8. Die Entropie als Zustandsfunktion	17
§ 9. Die Zunahme der Entropie im abgeschlossenen System	19
§ 10. Die Entropie eines idealen Gases	22
a) N gleichartige Moleküle S. 22. – b) Das Gas besteht aus mehreren Komponenten S. 24. – c) Die Zunahme der Entropie bei der irreversiblen Durchmischung S. 24	
C. Einige Anwendungen	26
§ 11. Die freie Energie	26
§ 12. Zustandsgleichung und Integrabilitätsbedingung	27
a) T und V als unabhängige Variable S. 27. – b) Magnetisierung S. 28	
§ 13. Die VAN-DER-WAALS-Gleichung	29
a) Allgemeines S. 29. – b) Der kritische Punkt S. 30. – c) Die Kondensation S. 31	
§ 14. Der JOULE-THOMSON-Effekt	33
D. Die Methode der Kreisprozesse	35
§ 15. Der Dampfdruck (CLAUSIUS und CLAPEYRON)	36
§ 16. Lösungen	39
a) Der osmotische Druck S. 39. – b) Die Dampfdruckerniedrigung S. 40. – c) Siedepunktserhöhung S. 42. – d) Gefrierpunktserniedrigung S. 42	
§ 17. Chemische Reaktion im Gas	43
§ 18. Ein Beispiel aus der Supraleitung	47
E. Thermodynamische Funktionen und allgemeine Gleichgewichte	50
§ 19. Thermodynamische Funktionen und Anwendung auf homogene Phasen	50
a) Thermodynamische Funktionen S. 50. – b) Homogene Phase S. 52	
§ 20. Thermodynamische Gleichgewichte	53
§ 21. Das chemische Potential beim idealen Gas	57
§ 22. Der Dampfdruck kleiner Tröpfchen	58

II. Statistische Mechanik

§ 23. Einleitung (Dichteschwankung in einem idealen Gas)	62
A. Kinetische Gastheorie	68
§ 24. Die Zustandsgleichung idealer Gase	68
§ 25. Die MAXWELLSche Geschwindigkeitsverteilung	75
§ 26. BOLTZMANNs Begründung der MAXWELLSchen Geschwindigkeitsverteilung und das H -Theorem	78
a) Der einzelne Zusammenstoß S. 79. – b) Der Stoßzahlenansatz S. 80. – c) Die Berechnung der Stoßzahlen S. 81. – d) Die Geschwindigkeitsverteilung S. 82. – e) BOLTZMANNs H -Theorem S. 83. – f) Das Vorzeichen der Zeit S. 83. – g) BOLTZMANN-Gleichung und Schallgeschwindigkeit S. 84	
§ 27. Die barometrische Höhenformel	87
a) Herleitung nach den Gesetzen der Mechanik S. 87. – b) Höhenformel und kinetische Gastheorie S. 88. – c) Höhenformel und Thermodynamik S. 90	
§ 28. Der Virialsatz	91
§ 29. Das verdünnte nichtideale Gas	93
B. Einige Grundbegriffe der Mechanik	95
§ 30. Die HAMILTONSchen Bewegungsgleichungen	95
a) Variationsrechnung, LAGRANGESche und HAMILTONSche Form der Be- wegungsgleichungen S. 95. – b) Die kanonische Transformation S. 98	
§ 31. Der Γ -Raum	100
a) Die Definition des Γ -Raumes S. 100. – b) Der LIOUVILLESche Satz S. 101. – c) Die Ergodenhypothese S. 103. – d) Das Phasenvolumen Φ^* S. 103	
C. Die mikrokanonische Gesamtheit	104
§ 32. Zeitmittel und Scharmittel	104
a) Die mikrokanonische Gesamtheit S. 104. – b) Dichteschwankungen als Beispiel S. 107. – c) Der Wiederkehr-Einwand und die Irreversibilität der natürlichen Vorgänge S. 110. – d) Das H -Theorem S. 112	
§ 33. Einfachste Anwendungen	116
a) Der Gleichverteilungssatz S. 116. – b) Nochmals die MAXWELLSche Ge- schwindigkeitsverteilung S. 118	
§ 34. Die Entropie	119
a) Parameter in der κ -Funktion S. 119. – b) Die adiabatische Invarianz von Φ^* S. 120. – c) $k \ln \Phi^*$ als Entropie S. 121	
§ 35. Die Division mit $N!$ und das richtige Phasenvolumen $\Phi(E, V, N)$	123
a) Die Berechnung von Φ^* für das ideale Gas S. 123. – b) Die allgemeine Definition von $\Phi(E, V, N)$ S. 124. – c) Die Entropie des idealen Gases S. 125. – d) Das Volumen der ν -dimensionalen Kugel S. 126	
D. Die kanonische Gesamtheit	126
§ 36. Zwei Systeme in Berührung	126
§ 37. Die kanonische Gesamtheit	129
a) Das zweite System ist sehr groß gegen das erste S. 129. – b) Definition der kanonischen Gesamtheit S. 130. – c) Zwei primitive Anwendungen S. 130	
§ 38. Makroskopische Körper	131
a) Die Schärfe der kanonischen Verteilung S. 131. – b) Das Zustandsintegral S. 133. – c) Die Zustandssumme der Quantentheorie S. 134. – d) Ersetzen des Zustandsintegrals durch den Höchstwert des Integranden S. 134. – e) Beziehung zur mikrokanonischen Gesamtheit S. 135	

E. Zwei weitere Gesamtheiten	136
§ 39. Die freie Enthalpie	136
a) Verschiedene experimentelle Anordnungen S. 136. – b) Die Wand ist beweglich S. 137. – c) Volumenschwankungen S. 138	
§ 40. Die großkanonische Gesamtheit	139
§ 41. Zusammenfassung	141

III. Quantenstatistik

§ 42. Vorwegnahme einiger Resultate	142
§ 43. Erinnerung an die Quantentheorie	143
a) Die SCHRÖDINGER-Gleichung S. 143. – b) Zeitliche Änderung eines Parameters S. 144	
§ 44. Das Gemisch oder die statistische Gesamtheit	146
a) Definition und Zeitabhängigkeit des Gemisches S. 146. – b) Die Methode der unbestimmten Phasen S. 148. – c) Die Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten S. 149	
§ 45. Die Entropie des thermisch isolierten Systems	151
a) Das H -Theorem und die mikrokanonische Gesamtheit S. 151. – b) Das quantentheoretische Phasenvolumen $\Phi(E, a)$ und die Entropie S. 153	
§ 46. Die kanonische Gesamtheit	155
a) Zwei Systeme in Berührung S. 155. – b) Viele gleiche Systeme in gegenseitigem thermischen Kontakt S. 156. – c) Die Sattelpunktmethode S. 159. – d) Die Methode der LAGRANGESchen Parameter S. 160	

IV. Ideale und reale Gase

A. Ideales Gas und Gasentartung	162
§ 47. Zustandsintegral und Zustandssumme für ein Teilchen	162
§ 48. N gleiche Teilchen ohne Wechselwirkung	164
§ 49. Das System ist isoliert	166
§ 50. Das System ist im Thermostaten	171
§ 51. Die großkanonische Gesamtheit. Thermostat und Vorratsflasche	173
§ 52. Der Grenzfall großer Verdünnung	175
§ 53. Das FERMI-Gas	176
a) Allgemeine Behandlung S. 176. – b) Anwendung auf Metallelektronen (Spez. Wärme und Dampfdruck) S. 178	
§ 54. Das BOSE-Gas	180
a) Allgemeine Behandlung S. 180. – b) Die Kondensation des idealen BOSE-Gases S. 182	
B. Die realen Gase und die Kondensation	185
§ 55. Berechnung der Zustandssumme	185
§ 56. Das Gebiet des ungesättigten Dampfes	190
§ 57. Die Kondensation	192
§ 58. Die flüssige Phase	195
§ 59. Die Analogie zwischen dem idealen BOSE-Gas und dem realen Gas	196
§ 60. Die Keimbildung	201
a) Allgemeines S. 201. – b) Eine rohe Abschätzung S. 202. – c) Kinetik der Keimbildung S. 203	

V. Der feste Körper

A. Kalorische Eigenschaften	206
§ 61. Klassische Behandlung	206
§ 62. Quantentheoretische Behandlung und Übersicht	209
§ 63. Die lineare Kette	216
§ 64. Schwingungen des Raumgitters	226
§ 65. Diskussion des Verlaufs der spezifischen Wärme	235
B. Ordnung und Unordnung im Kristallgitter	241
§ 66. Einleitung und Übersicht	241
a) Mischkristalle S. 241. – b) Magnetismus S. 241	
§ 67. Der statistische Ansatz	242
§ 68. Überstruktur	244
a) Nahordnung S. 244. – b) Fernordnung S. 244	
§ 69. Ausscheidung	248
§ 70. Ferromagnetismus	251
a) Allgemeines S. 251. – b) Die Zustandssumme beim ISING-Modell S. 251. –	
c) Beschränkung der Betrachtung auf nur ein Atom S. 253. – d) Die Beziehung zur WEISSschen Theorie S. 254	
§ 71. Die BETHESche Näherung beim ISING-Modell	255
Die Nahordnung oberhalb der Curie-Temperatur S. 259	
§ 72. Das lineare und ebene Gitter nach der Matrizenmethode	260
a) Das lineare Gitter S. 260. – b) Das ebene Gitter S. 262. – c) Negative Temperaturen S. 262. – d) LANDAU-Theorie und Renormierungs-Gruppe S. 265	

VI. Schwankungen und BROWNSche Bewegung

A. Entropie und Wahrscheinlichkeit	277
§ 73. Der allgemeine Zusammenhang	277
a) Die statistische Definition der Entropie S. 277. – b) Die Entropie als Maß unserer Unkenntnis S. 279. – c) Entropie und Wahrscheinlichkeit S. 279	
§ 74. Schwankungserscheinungen	281
B. Die BROWNSche Bewegung	284
§ 75. Aussagen der allgemeinen Statistik	284
§ 76. Beweglichkeit und Diffusion	285
§ 77. Die LANGEVINSche Gleichung	290
§ 78. Die Methode von EINSTEIN und HOPF	292
§ 79. Die Einstellung der MAXWELLSchen Verteilung	293
§ 80. Exkurs über Zufallsbewegung	294
§ 81. Die Korrelation bei einer statistisch veränderlichen Funktion	296
§ 82. Die FOKKER-PLANCKSche Differentialgleichung	298
a) Ohne äußeres Kraftfeld S. 298. – b) Bei Anwesenheit eines Kraftfeldes S. 299	
§ 83. Die Spektralzerlegung einer statistischen Funktion	302
Das elastisch gebundene Teilchen S. 304	
§ 84. Der schwachgedämpfte Oszillator mit frequenzabhängiger Dämpfung	305
a) Allgemeines S. 305. – b) Die Hohlraumstrahlung S. 306. – c) Das Widerstandsrauschen S. 307	
§ 85. Die NYQUIST-Formel	308
a) Die allgemeine Ableitung S. 308. – b) Ein einfaches Modell zum Widerstandsrauschen S. 311	
§ 86. Der Schrotteffekt	313

VII. Thermodynamik irreversibler Prozesse

§ 87. Irreversible Vorgänge und Anwachsen der Entropie	315
a) Der elastisch gebundene Massenpunkt in einem zähen Medium S. 316. –	
b) Wärmeaustausch S. 316. – c) Die Wärmeleitung im Kontinuum S. 317	
§ 88. Die irreversiblen Vorgänge in der statistischen Mechanik	318
§ 89. Gleichzeitige Beobachtung mehrerer makroskopischer Größen	322
a) ONSAGERS Symmetrie-Relationen S. 322. – b) Die Ableitung von ONSAGER	
S. 322	
§ 90. Die Behandlung durch COX	324
§ 91. Austausch von Wärme und Teilchen	328
§ 92. Einige Anwendungen	331
a) Durchströmen durch eine große Öffnung S. 331. – b) Der Öffnungsdurch-	
messer ist klein gegen die freie Weglänge (stark verdünntes Gas) S. 331. –	
c) Helium II S. 332	
§ 93. Die THOMSONSche Behandlung und ihre Rechtfertigung durch die ONSAGER-	
Relation	332
§ 94. Thermoelektrische Erscheinungen. Behandlung nach THOMSON	335
§ 95. Thermoelektrische Erscheinungen. Behandlung mit der ONSAGER-Relation . .	337
a) THOMSON-Koeffizient S. 340. – b) Die PELTIER-Wärme S. 340. – c) Die	
Thermospannung S. 340	
Literaturverzeichnis	343
Namen- und Sachverzeichnis	347