

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I Gleichgewichtsthermodynamik	3
1 Thermodynamische Systeme	5
1.1 Geometrie und Inventar	5
1.2 Wechselwirkungen	5
1.3 Zustandsgrößen und Gleichgewichtszustände	7
1.4 Mathematische Formulierung	8
1.5 Aufgaben	10
2 Empirische Temperatur und nullter Hauptsatz	11
2.1 Nullter Hauptsatz und lineare Ordnung der Gleichgewichtszustände	11
2.2 Temperaturskalen	12
2.3 Aufgaben	13
3 Energiebilanz und erster Hauptsatz	15
3.1 Bilanzierung von Arbeit und Wärme	16
3.2 Differentialformen für Arbeit und Wärme	17
3.3 Aufgaben	18
4 Wirkungsgrade und zweiter Hauptsatz	21
4.1 Reversible Zustandsänderungen	21
4.2 Wirkungsgrade periodischer Maschinen	22
4.3 Absolute Temperatur und Wirkungsgrad	25
4.4 Die Zustandsfunktion Entropie	27
4.5 Wege ins Gleichgewicht	31
4.6 Thermodynamische Potentiale	35
4.6.1 Potentiale und Gleichgewichtsbedingungen	36
4.6.2 Potentiale und Maxwell-Relationen	37
4.6.3 Homogenitätsrelationen für extensive und intensive Größen	39
4.7 Aufgaben	40
5 Reine Stoffe	47
5.1 Thermische Strahlung und Stefan-Boltzmann Gesetz	47
5.2 Verhalten realer und idealer Gase	49
5.2.1 Gay-Lussac Expansion und Molekülkräfte ($U = \text{const}$)	50

5.2.2	Joule-Thomson Expansion und Gasverflüssigung ($H = \text{const}$)	51
5.2.3	Reversible adiabatische Expansion ($S = \text{const}$)	56
5.2.4	Ideale Gase und Virialentwicklung	56
5.2.5	Van der Waals Modell und kinetische Gastheorie	58
5.3	Phasenübergänge bei einer Stoffsorte	62
5.4	Clausius-Clapeyron Gleichung	69
5.5	Aufgaben	70
6	Einphasige Mischungen	75
6.1	Ideale Mischungen	75
6.2	Verdünnte Stoffmischungen	78
6.3	Osmotischer Druck in verdünnten Lösungen	81
6.4	Chemische Reaktionen und Massenwirkungsgesetz	82
6.5	Nichtideale Mischungen	89
6.6	Aufgaben	92
7	Mehrphasige Stoffmischungen	95
7.1	Thermodynamische Stabilität	95
7.2	Stabilitätsbedingungen	98
7.3	Physikalische Konsequenzen der Stabilität	99
7.4	Instabile Isothermen und Phasenübergänge	101
7.5	Phasenregel von Gibbs	103
7.6	Binäre Mischungen mit 2 koexistierenden Phasen	108
7.7	Clausius-Clapeyron Gleichung in binären Mischungen	110
7.8	Stoffmischungen mit Flüssigphase und Gasphase	113
7.9	Stoffmischungen mit Flüssigphase und fester Phase	116
7.10	Mischlücken in binären Systemen	117
7.10.1	Mischlücke in der Flüssigphase	119
7.10.2	Mischlücke in der festen Phase	120
7.11	Aktivitäten in koexistierenden Phasen	120
7.12	Aufgaben	122
8	Arbeitskoeffizienten realer Substanzen	129
8.1	Arbeitseintrag in feste Substanzen	130
8.2	Oberflächenenergien	130
8.3	Oberflächenspannung an Phasengrenzflächen	132
8.4	Aufgaben	134
9	Systeme in elektromagnetischen Feldern	137
9.1	Magnetische Effekte	140
9.2	Thermodynamik von Supraleitern	143
9.3	Neutrale Systeme in äußeren elektrischen Feldern	147
9.4	Elektrische Felder und Energieumwandlung	149
9.5	Aufgaben	155

10 Der dritte Hauptsatz	159
10.1 Experimentelle Überprüfung	162
10.2 Kühlung durch adiabatische Entmagnetisierung	163
10.3 Konstanten in chemischen Gleichgewichtsbedingungen	164
10.4 Aufgaben	167
11 Phasenübergänge 2. Art und kritische Punkte	169
11.1 Übergänge in Stoffmischungen	170
11.2 Übergänge in Supraleitern	172
11.3 Übergang im flüssigen Helium	173
11.4 Kritische Punkte	175
11.5 Aufgaben	177
II Thermodynamik irreversibler Prozesse	181
12 Zeitabhängige Kontinuumsthermodynamik	183
12.1 Lokale Bilanzierung extensiver Größen	187
12.2 Die Massebilanz	190
12.3 Die Impulsbilanz	190
12.4 Aufgaben	191
12.5 Energiebilanz und erster Hauptsatz	192
12.6 Aufgaben	195
12.7 Entropiebilanz und zweiter Hauptsatz	196
12.8 Aufgaben	200
13 Kinetische Koeffizienten und Relaxation	205
13.1 Aufgaben	209
14 Mechanische und chemische Dissipation	211
14.1 Volumenreibung und chemische Reaktionen	211
14.2 Navier-Stokes Gleichungen	212
14.3 Aufgaben	213
15 Wärmeleitung und Diffusion	217
15.1 Wärmeleitung	218
15.2 Diffusion	218
15.3 Kreuzeffekte zwischen Wärmeleitung und Diffusion	219
15.4 Aufgaben	223
16 Thermoelektrische Effekte	227
16.1 Aufgaben	233
17 Chemische Reaktionen	235
17.1 Aufgaben	240

III Thermische Schwankungen	243
18 Schwankungs-Dissipations Theorem	245
18.1 Statistische Funktionen	245
18.2 Fluktuationen im dynamischen Gleichgewicht	249
18.3 Aufgaben	256
19 Symmetrie der kinetischen Koeffizienten	259
19.1 Erwartungswerte nach Feststellung des Ungleichgewichts	259
19.2 Onsager Relationen	260
19.3 Aufgaben	262
20 Zeitumkehr in der Thermodynamik	263
20.1 Zeitsymmetrische Erwartungswerte	263
20.2 Zeitsymmetrie und kinetische Gleichungen	267
20.3 Zustandsgrößen und dynamisches Gleichgewicht	270
20.4 Aufgaben	272
21 Statistische Mechanik	275
21.1 Ergodenhypothese und Phasenraum	275
21.2 Statistische Temperatur eines ergodischen Systems	278
21.3 Aufteilung der Energie in Arbeit und Wärme	283
21.4 Boltzmann-Konstante und Temperatur	286
21.5 Mikrokanonische und kanonische Verteilung	287
21.6 Thermische Schwankungen und Wärmekapazitäten	292
21.7 Schwankungshäufigkeit und Boltzmann-Verknüpfung	298
21.8 Normierung des Zustandspotentials	303
21.9 Aufgaben	308
IV Lösungen zu den Aufgaben	315
Lösungen zu Teil I	317
Lösungen zu Teil II	362
Lösungen zu Teil III	376
V Anhang	387
A Vertiefungen	389
Temperatur und Entropie nach Caratheodory	389
Zustandsgrößen an kritischen Punkten	395
B Tabellen	399
C Literatur	409