

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	11
I Gleichgewichtsthermodynamik	13
1 Thermodynamische Systeme	15
1.1 Geometrie und Inventar	15
1.2 Wechselwirkungen	16
1.3 Zustandsgrößen und Gleichgewichtszustände	18
1.4 Mathematische Formulierung	19
1.5 Aufgaben	21
2 Empirische Temperatur und nullter Hauptsatz	23
2.1 Nullter Hauptsatz und lineare Ordnung der Gleichgewichtszustände	23
2.2 Temperaturskalen	24
2.3 Aufgaben	26
3 Energiebilanz und erster Hauptsatz	27

3.1	Bilanzierung von Arbeit und Wärme	28
3.2	Differentialformen für Arbeit und Wärme	29
3.3	Aufgaben	31
4	Wirkungsgrade und zweiter Hauptsatz	35
4.1	Reversible Zustandsänderungen	35
4.2	Wirkungsgrade periodischer Maschinen	36
4.3	Absolute Temperatur und Wirkungsgrad	40
4.4	Die Zustandsfunktion Entropie	42
4.5	Wege ins Gleichgewicht	46
4.6	Thermodynamische Potentiale	50
4.6.1	Potentiale und Gleichgewichtsbedingungen	51
4.6.2	Potentiale und Maxwell-Relationen	52
4.6.3	Homogenitätsrelationen für extensive und intensive Größen	54
4.7	Aufgaben	57
5	Reine Stoffe	63
5.1	Thermische Strahlung und Stefan-Boltzmann Gesetz	63
5.2	Verhalten realer und idealer Gase	65
5.2.1	Gay-Lussac Expansion und Molekülkräfte ($U = \text{const}$)	66
5.2.2	Joule-Thomson Expansion und Gasverflüssigung ($H = \text{const}$)	68
5.2.3	Reversible adiabatische Expansion ($S = \text{const}$)	72

5.2.4	Ideale Gase und Virialentwicklung	73
5.2.5	Van der Waals Modell und kinetische Gastheorie	75
5.3	Phasenübergänge bei einer Stoffsorte	80
5.4	Clausius-Clapeyron Gleichung	86
5.5	Aufgaben	89
6	Einphasige Mischungen	95
6.1	Ideale Mischungen	95
6.2	Verdünnte Stoffmischungen	98
6.3	Osmotischer Druck in verdünnten Lösungen	101
6.4	Chemische Reaktionen und Massenwirkungsgesetz	103
6.5	Nichtideale Mischungen	109
6.6	Aufgaben	112
7	Mehrphasige Stoffmischungen	115
7.1	Thermodynamische Stabilität	116
7.2	Stabilitätsbedingungen für die thermodynamischen Potentiale	118
7.3	Physikalische Konsequenzen der Stabilität	120
7.4	Instabile Isothermen und Phasenübergänge	121
7.5	Phasenregel von Gibbs	123
7.6	Binäre Mischungen mit 2 koexistierenden Phasen	129
7.7	Clausius-Clapeyron Gleichung in binären Mischungen	131

7.8	Stoffmischungen mit Flüssigphase und Gasphase	134
7.9	Stoffmischungen mit Flüssigphase und fester Phase	137
7.10	Mischlücken in binären Systemen	138
7.10.1	Mischlücke in der Flüssigphase	140
7.10.2	Mischlücke in der festen Phase	141
7.11	Aktivitäten in koexistierenden Phasen	143
7.12	Aufgaben	144
8	Arbeitskoeffizienten realer Substanzen	151
8.1	Arbeitseintrag in feste Substanzen	152
8.2	Oberflächenenergien	153
8.3	Oberflächenspannung an Phasengrenzflächen	155
8.4	Aufgaben	158
9	Systeme in elektromagnetischen Feldern	161
9.1	Magnetische Effekte	165
9.2	Thermodynamik von Supraleitern	168
9.3	Neutrale Systeme in äußeren elektrischen Feldern	172
9.4	Elektrische Felder und Energieumwandlung	174
9.5	Aufgaben	180
10	Der dritte Hauptsatz	183
10.1	Experimentelle Überprüfung	187

10.2	Kühlung durch adiabatische Entmagnetisierung	188
10.3	Konstanten in chemischen Gleichgewichtsbedingungen	189
10.4	Aufgaben	192
11	Phasenübergänge 2. Art und kritische Punkte	195
11.1	Übergänge in Stoffmischungen	197
11.2	Übergänge in Supraleitern	198
11.3	Übergang im flüssigen Helium	199
11.4	Kritische Punkte	201
11.5	Aufgaben	204
II	Thermodynamik irreversibler Prozesse	207
12	Zeitabhängige Kontinuumsthermodynamik	209
12.1	Lokale Bilanzierung extensiver Größen	214
12.2	Die Massebilanz	216
12.3	Die Impulsbilanz	217
12.4	Aufgaben	218
12.5	Energiebilanz und erster Hauptsatz	219
12.6	Aufgaben	221
12.7	Entropiebilanz und zweiter Hauptsatz	223
12.8	Aufgaben	228

13 Kinetische Koeffizienten und Relaxation	231
13.1 Aufgaben	236
14 Mechanische und chemische Dissipation	237
14.1 Volumenreibung und chemische Reaktionen	238
14.2 Navier-Stokes Gleichungen	239
14.3 Aufgaben	240
15 Wärmeleitung und Diffusion	243
15.1 Wärmeleitung	244
15.2 Diffusion	245
15.3 Kreuzeffekte zwischen Wärmeleitung und Diffusion	246
15.4 Aufgaben	250
16 Thermoelektrische Effekte	253
16.1 Aufgaben	259
17 Chemische Reaktionen	261
17.1 Aufgaben	266
III Thermische Schwankungen	269
18 Schwankungs-Dissipations Theorem	271
18.1 Statistische Funktionen	272

18.2	Fluktuationen im dynamischen Gleichgewicht	275
18.3	Aufgaben	282
19	Symmetrie der kinetischen Koeffizienten	285
19.1	Erwartungswerte nach Feststellung des Ungleichgewichts	286
19.2	Onsager Relationen	287
19.3	Aufgaben	288
20	Zeitumkehr in der Thermodynamik	289
20.1	Zeitsymmetrische Erwartungswerte	290
20.2	Zeitsymmetrie und kinetische Gleichungen	294
20.3	Zustandsgrößen und dynamisches Gleichgewicht	296
20.4	Aufgaben	299
IV	Lösungen zu den Aufgaben	301
	Lösungen zu Teil I	303
	Lösungen zu Teil II	348
	Lösungen zu Teil III	361
21	Anhang	365
A:	Temperatur und Entropie nach Caratheodory	365

B: Zustandsgrößen an kritischen Punkten	371
Tabellen	374
Literatur	383