

# Inhalt

Verwendete Symbole und Größen .....	XI
<b>1 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>1</b>
1.1 Nullter Hauptsatz der Thermodynamik und die thermische Zustandsgleichung .....	1
1.2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik und die kalorische Zustandsgleichung .....	12
1.3 Zweiter und dritter Hauptsatz der Thermodynamik, die Entropie und die kanonische Zustandsgleichung .....	23
1.4 Partielle molare Größen .....	33
1.5 Thermodynamische Potenziale .....	39
1.6 Thermodynamisches Gleichgewicht .....	42
1.6.1 Grundlagen und Sonderfälle .....	42
1.6.2 Thermodynamik binärer Zweiphasensysteme .....	51
1.7 Heterogene Gleichgewichte binärer Systeme .....	66
1.7.1 Einführung .....	66
1.7.2 Binäre Systeme „flüssig-flüssig“ .....	67
1.7.3 Binäre Systeme „flüssig-gasförmig“ .....	68
1.7.4 Binäre Systeme „flüssig-fest“ .....	82
1.8 Heterogene Gleichgewichte ternärer Systeme .....	92
1.8.1 Die Darstellung der Zusammensetzung einer ternären Mischung .....	92
1.8.2 Ternäre Systeme aus drei flüssigen Komponenten .....	93
1.8.3 Ternäre Systeme mit festen Phasen .....	99
1.8.4 Wässrige Lösungen von zwei Salzen .....	103
<b>2 Fragen ohne Antwort .....</b>	<b>107</b>
2.1 Der Zustand eines Systems .....	107
2.2 Der nullte Hauptsatz und die thermische Zustandsgleichung der Stoffe .....	108
2.3 Der erste Hauptsatz – Energie .....	109
2.4 Entropie .....	112
2.5 Thermodynamische Potenziale, Gibbs-Helmholtz-Gleichungen und Kriterien der Verlaufsrichtung chemischer Reaktionen .....	113

## VIII Inhalt

2.6 Reaktionsisotherme, -isobare und -isochore . . . . .	113
2.7 Nernst'sche Gleichung . . . . .	114
2.8 Heterogene chemische Gleichgewichtsreaktionen . . . . .	114
2.9 Partielle molare Größen und thermodynamisches Gleichgewicht, Phasenübergänge . . . . .	115
2.10 Phasengleichgewichte binärer Systeme . . . . .	116
2.11 Phasengleichgewichte ternärer Systeme . . . . .	119
<b>3 Fragen mit Antwort . . . . .</b>	<b>125</b>
3.1 Der Zustand eines Systems . . . . .	125
3.2 Der nullte Hauptsatz und die thermische Zustandsgleichung der Stoffe . . . . .	133
3.3 Der erste Hauptsatz – Energie . . . . .	146
3.4 Entropie . . . . .	169
3.5 Thermodynamische Potenziale, Gibbs-Helmholtz-Gleichungen und Kriterien der Verlaufsrichtung chemischer Reaktionen . . . . .	177
3.6 Reaktionsisotherme, -isobare und -isochore . . . . .	181
3.7 Nernst'sche Gleichung . . . . .	193
3.8 Heterogene chemische Gleichgewichtsreaktionen . . . . .	195
3.9 Partielle molare Größen und thermodynamisches Gleichgewicht, Phasenübergänge . . . . .	198
3.10 Phasengleichgewichte binärer Systeme . . . . .	209
3.11 Phasengleichgewichte ternärer Systeme . . . . .	224
<b>4 Aufgaben ohne Lösung . . . . .</b>	<b>241</b>
4.1 Ideale und reale Gase . . . . .	241
4.2 Osmotischer Druck idealer Lösungen . . . . .	244
4.3 Joule-Thomson-Effekt . . . . .	245
4.4 Arbeit . . . . .	245
4.4.1 Volumenarbeit . . . . .	245
4.4.2 Osmotische Arbeit . . . . .	246
4.4.3 Oberflächenarbeit . . . . .	247
4.4.4 Elektrische Arbeit . . . . .	247
4.4.5 Magnetische Arbeit . . . . .	248
4.4.6 Mechanische Arbeit . . . . .	250

4.5	Innere Energie und Enthalpie . . . . .	250
4.6	Kalorimetrie . . . . .	253
4.7	Satz von Hess . . . . .	257
4.8	Entropie . . . . .	260
4.9	Wirkungsgrad und Leistungszahl . . . . .	262
4.10	Homogene chemische Gleichgewichtsreaktionen . . . . .	264
4.10.1	Stickstoffverbindungen ( $N_2$ , $NH_3$ , $NO_x$ ) . . . . .	264
4.10.2	Kohlenstoff-Verbindungen ( $CO_x$ , KWS und Derivate) . . . . .	269
4.10.3	Schwefel-Verbindungen ( $SO_x$ , $SF_x$ ) . . . . .	274
4.10.4	Halogenwasserstoffe . . . . .	275
4.10.5	Redoxreaktionen . . . . .	276
4.10.6	Säure-Base-Reaktionen . . . . .	279
4.11	Heterogene chemische Gleichgewichtsreaktionen . . . . .	281
4.11.1	Kohlenstoff-Verbindungen und $CaSO_4$ -Hydrate . . . . .	281
4.11.2	Fällungsreaktionen . . . . .	283
4.11.3	Metalloxide . . . . .	285
4.11.4	Nernst-Verteilung . . . . .	285
4.12	Phasengleichgewichte und Phasensysteme . . . . .	286
4.12.1	Phasenübergänge, Siedepunkterhöhung, Gefrierpunktterniedrigung, Molmassebestimmung . . . . .	286
4.12.2	Einkomponenten-Mehrphasensysteme . . . . .	288
4.12.3	Zweikomponenten-Zweiphasensysteme (Binäre Systeme) . . . . .	290
4.12.4	Ternäre Systeme . . . . .	292
4.13	Bioenergetik . . . . .	295
4.13.1	Enzyme . . . . .	295
4.13.2	Energieumsatz . . . . .	298
4.13.3	Stoffwechsel . . . . .	300
5	Lösungen . . . . .	311
5.1	Ideale und reale Gase . . . . .	311
5.2	Osmotischer Druck idealer Lösungen . . . . .	317
5.3	Joule-Thomson-Effekt . . . . .	318
5.4	Arbeit . . . . .	318
5.4.1	Volumenarbeit . . . . .	318
5.4.2	Osmotische Arbeit . . . . .	321
5.4.3	Oberflächenarbeit . . . . .	321
5.4.4	Elektrische Arbeit . . . . .	322
5.4.5	Magnetische Arbeit . . . . .	325
5.4.6	Mechanische Arbeit . . . . .	328

## X Inhalt

5.5 Innere Energie und Enthalpie . . . . .	332
5.6 Kalorimetrie . . . . .	338
5.7 Satz von Hess . . . . .	345
5.8 Entropie . . . . .	350
5.9 Wirkungsgrad und Leistungszahl . . . . .	354
5.10 Homogene chemische Gleichgewichtsreaktionen . . . . .	357
5.10.1 Stickstoffverbindungen ( $N_2$ , $NH_3$ , $NO_x$ ) . . . . .	357
5.10.2 Kohlenstoff-Verbindungen ( $CO_x$ , KWS und Derivate) . . . . .	373
5.10.3 Schwefel-Verbindungen ( $SO_x$ , $SF_x$ ) . . . . .	389
5.10.4 Halogenwasserstoffe . . . . .	391
5.10.5 Redoxreaktionen . . . . .	393
5.10.6 Säure-Base-Reaktionen . . . . .	402
5.11 Heterogene chemische Gleichgewichtsreaktionen . . . . .	406
5.11.1 Kohlenstoff-Verbindungen und $CaSO_4$ -Hydrate . . . . .	406
5.11.2 Fällungsreaktionen . . . . .	411
5.11.3 Metalloxide . . . . .	413
5.11.4 Nernst-Verteilung . . . . .	414
5.12 Phasengleichgewichte und Phasensysteme . . . . .	415
5.12.1 Phasenübergänge, Siedepunkterhöhung, Gefrierpunktterniedrigung, Molmassebestimmung . . . . .	415
5.12.2 Einkomponenten-Mehrphasensysteme . . . . .	422
5.12.3 Zweikomponenten-Zweiphasensysteme (Binäre Systeme) . . . . .	425
5.12.4 Ternäre Systeme . . . . .	429
5.13 Bioenergetik . . . . .	434
5.13.1 Enzyme . . . . .	434
5.13.2 Energieumsatz . . . . .	443
5.13.3 Stoffwechsel . . . . .	450
6 Strukturbilder und Zyklen . . . . .	481
Literaturverzeichnis . . . . .	489
Abbildungsverzeichnis . . . . .	491
Tabellenverzeichnis . . . . .	499
Namenregister . . . . .	501
Sachregister . . . . .	503