

Inhaltsverzeichnis

Vorwort „Lehr- und Arbeitsbuch Physikalische Chemie“ Wedler/Freund XV

Vorwort zur ersten Auflage XVII

1	Einführung in die physikalisch-chemischen Betrachtungsweisen, Grundbegriffe und Arbeitstechniken	1
1.1	Einführung in die chemische Thermodynamik	1
1.1.1	Zustand	2
1.1.2	System und Umgebung	2
1.1.3	Phase	2
1.1.4	Gleichgewicht	3
1.1.5	Arbeit	3
1.1.6	Temperatur – Nullter Hauptsatz der Thermodynamik	5
1.1.7	Wärmeaustausch und Wärmekapazität	6
1.1.8	Isotherme und adiabatische Prozesse	7
1.1.9	Intensive und extensive Größen	7
1.1.10	Die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases	8
1.1.11	Mischungen idealer Gase, Partialdruck und Molenbruch	12
1.1.12	Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik und die kalorische Zustandsgleichung	13
1.1.13	Die partiellen Ableitungen von U und H nach T , die molaren Wärmekapazitäten	15
1.1.14	Die partiellen Ableitungen von U und H nach ξ , die Reaktionsenergie und die Reaktionsenthalpie	18
1.1.15	Der Hess'sche Satz	22
1.1.16	Die Standard-Bildungsenthalpien	23
1.1.17	Die Umsetzung von Wärme und Arbeit bei Volumenänderungen	24
1.1.18	Der Carnot'sche Kreisprozess	30
1.1.19	Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik und die Entropie	31
1.1.20	Die Entropie	37
1.1.21	Kernpunkte des Abschnitts 1.1	40
1.1.22	Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.1	41
1.1.23	Literatur zu Abschnitt 1.1	46
1.2	Einführung in die kinetische Gastheorie	46
1.2.1	Das Modell des idealen Gases	46
1.2.2	Kinetische Energie und Temperatur	47
1.2.3	Die molare Wärmekapazität der Gase	49
1.2.4	Kernpunkte des Abschnitts 1.2	51
1.2.5	Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.2	51
1.2.6	Literatur zu Abschnitt 1.2	52
1.3	Einführung in die statistische Thermodynamik	52
1.3.1	Wahrscheinlichkeitsrechnung und Verteilungsfunktion	53
1.3.2	Die Boltzmann-Statistik	55
1.3.3	Innere Energie und Zustandssumme	56
1.3.4	Spezielle Aussagen des Boltzmann'schen e-Satzes	57

- 1.3.5 Die Entropie in der statistischen Betrachtungsweise 57
- 1.3.6 Kernpunkte des Abschnitts 1.3 59
- 1.3.7 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.3 59
- 1.3.8 Literatur zu Abschnitt 1.3 62
- 1.4 Einführung in die Quantentheorie 62
- 1.4.1 Hinweise auf den Aufbau der Atome aus Atomkern und Elektronenhülle 63
- 1.4.2 Bestimmung der Ladung des Elektrons 63
- 1.4.3 Bestimmung der Masse des Elektrons 64
- 1.4.4 Die Wellennatur des Elektrons 65
- 1.4.5 Die Eigenschaften des Lichtes 66
- 1.4.6 Der Dualismus Welle–Partikel 70
- 1.4.7 Nachweis niedriger Energieniveaus in Gasen 74
- 1.4.8 Die Spektrallinien der Atome 75
- 1.4.9 Das Bohr'sche Modell des Wasserstoffatoms 76
- 1.4.10 Die Schrödinger-Gleichung 78
- 1.4.11 Die Behandlung eines freien Teilchens 82
- 1.4.12 Die Behandlung eines Teilchens im eindimensionalen Kasten 84
- 1.4.13 Die Behandlung eines Teilchens im dreidimensionalen Kasten 86
- 1.4.14 Die Behandlung eines Teilchens im Potentialtopf 88
- 1.4.15 Die Behandlung der Durchtunnelung eines Potentialwalls 92
- 1.4.16 Kernpunkte des Abschnitts 1.4 94
- 1.4.17 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.4 94
- 1.4.18 Literatur zu Abschnitt 1.4 96
- 1.5 Einführung in die chemische Kinetik 97
- 1.5.1 Einführung neuer Begriffe 97
- 1.5.2 Reaktionen erster Ordnung 98
- 1.5.3 Reaktionen zweiter Ordnung 99
- 1.5.4 Reaktionen dritter Ordnung 100
- 1.5.5 Reaktionen nullter Ordnung 101
- 1.5.6 Die Bestimmung der Reaktionsordnung 101
- 1.5.7 Unvollständig verlaufende Reaktionen 103
- 1.5.8 Folge- und Parallelreaktionen 104
- 1.5.9 Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit 105
- 1.5.10 Kernpunkte des Abschnitts 1.5 106
- 1.5.11 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.5 106
- 1.5.12 Literatur zu Abschnitt 1.5 109
- 1.6 Einführung in die Elektrochemie 109
- 1.6.1 Grundbegriffe der Elektrochemie 109
- 1.6.2 Die Wanderung von Ionen im elektrischen Feld und die elektrische Leitfähigkeit 114
- 1.6.3 Die molare Leitfähigkeit eines Elektrolyten und eines Ions 117
- 1.6.4 Die Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit und der molaren Leitfähigkeit 117
- 1.6.5 Elektrische Beweglichkeiten, molare Leitfähigkeiten der Ionen und Überführungszahlen 120
- 1.6.6 Die Hydratation der Ionen 123
- 1.6.7 Die Temperatur- und Lösungsmittelabhängigkeit der molaren Ionengrenzleitfähigkeit 125
- 1.6.8 Schwache Elektrolyte 126
- 1.6.9 Starke Elektrolyte, die Debye-Hückel-Onsager-Theorie 127
- 1.6.10 Anwendungen der Leitfähigkeitsmessungen 132
- 1.6.11 Kernpunkte des Abschnitts 1.6 132
- 1.6.12 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.6 133
- 1.6.13 Literatur zu Abschnitt 1.6 134
- 1.7 Beugungserscheinungen und reziprokes Gitter 134
- 1.7.1 Allgemeine Merkmale der Beugungserscheinungen 135
- 1.7.2 Fraunhofer'sche Beugung am Spalt 136
- 1.7.3 Fraunhofer'sche Beugung am Doppelspalt 138

- 1.7.4 Fraunhofer'sche Beugung am ebenen optischen Strichgitter 139
- 1.7.5 Fraunhofer'sche Beugung am Kreuzgitter 140
- 1.7.6 Fraunhofer'sche Beugung am Raumgitter, Röntgenstrahlinterferenzen 141
- 1.7.7 Kernpunkte des Abschnitts 1.7 144
- 1.7.8 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.7 144
- 1.7.9 Literatur zu Abschnitt 1.7 144

- 2 Chemische Thermodynamik 145**
- 2.1 Das reale Verhalten der Materie 145
 - 2.1.1 Die thermische Zustandsgleichung des realen Gases 146
 - 2.1.2 Das Zweiphasengebiet 150
 - 2.1.3 Der kritische Punkt 152
 - 2.1.4 Das Theorem der übereinstimmenden Zustände 153
 - 2.1.5 Die thermische Zustandsgleichung kondensierter Stoffe 154
 - 2.1.6 Der Joule-Thomson-Effekt 154
 - 2.1.7 Kernpunkte des Abschnitts 2.1 156
 - 2.1.8 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.1 156
- 2.2 Mischphasen 158
 - 2.2.1 Thermodynamische Größen von Mischphasen, partielle molare Größen 158
 - 2.2.2 Die Gibbs-Duhem'sche Gleichung 161
 - 2.2.3 Kalorische Effekte bei der Herstellung realer Mischphasen 162
 - 2.2.4 Mischungsentropie 165
 - 2.2.5 Kernpunkte des Abschnitts 2.2 166
 - 2.2.6 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.2 166
- 2.3 Die Grundgleichungen der Thermodynamik 167
 - 2.3.1 Einführung der Freien Energie und der Freien Enthalpie 168
 - 2.3.2 Die charakteristischen Funktionen 169
 - 2.3.3 Die Gibbs'schen Fundamentalgleichungen 172
 - 2.3.4 Das chemische Potential 173
 - 2.3.5 Temperatur- und Druckabhängigkeit des chemischen Potentials 174
 - 2.3.6 Abhängigkeit des chemischen Potentials in Mischphasen vom Molenbruch 176
 - 2.3.7 Mischungseffekte in idealen Mischphasen 177
 - 2.3.8 Kernpunkte des Abschnitts 2.3 178
 - 2.3.9 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.3 178
- 2.4 Der Dritte Hauptsatz der Thermodynamik 179
 - 2.4.1 Das Theorem von Nernst 179
 - 2.4.2 Ermittlung absoluter Entropien 180
 - 2.4.3 Kernpunkte des Abschnitts 2.4 181
 - 2.4.4 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.4 181
- 2.5 Phasengleichgewichte 182
 - 2.5.1 Allgemeine Betrachtungen 182
 - 2.5.2 Die Gibbs'sche Phasenregel 183
 - 2.5.3 Phasengleichgewichte in Einkomponentensystemen 184
 - 2.5.4 Phasengleichgewichte in Zweikomponentensystemen zwischen einer Mischphase und einer reinen Phase 187
 - 2.5.5 Aktivität und Aktivitätskoeffizient 198
 - 2.5.6 Phasengleichgewichte in Zweistoffsystemen zwischen Flüssigkeit und Dampf 207
 - 2.5.7 Schmelzdiagramme binärer Systeme 216
 - 2.5.8 Ternäre Systeme 219
 - 2.5.9 Kernpunkte des Abschnitts 2.5 221
 - 2.5.10 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.5 221
- 2.6 Das chemische Gleichgewicht 223
 - 2.6.1 Allgemeine Betrachtungen 223
 - 2.6.2 Standardreaktion, Restreaktion und Gleichgewichtskonstante 224

- 2.6.3 Die Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten 230
- 2.6.4 Die Druckabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten 232
- 2.6.5 Experimentelle Ermittlung der Gleichgewichtskonstanten 233
- 2.6.6 Berechnung von Gleichgewichtskonstanten 235
- 2.6.7 Anwendungen des Massenwirkungsgesetzes 239
- 2.6.8 Kernpunkte des Abschnitts 2.6 242
- 2.6.9 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.6 242
- 2.6.10 Literatur zu den Abschnitten 1.1 bis 1.3 und 2.1 bis 2.6 245
- 2.7 Grenzflächengleichgewichte 245
- 2.7.1 Allgemeine Betrachtungen 246
- 2.7.2 Die Oberflächenspannung 246
- 2.7.3 Thermodynamik der Grenzflächen in Mehrstoffsystemen 250
- 2.7.4 Zweidimensionale Oberflächenfilme 252
- 2.7.5 Adsorption an Festkörperoberflächen 254
- 2.7.6 Die Chromatographie 258
- 2.7.7 Die elektrischen Doppelschichten 259
- 2.7.8 Die Elektrokapillarität 261
- 2.7.9 Kolloide 263
- 2.7.10 Kernpunkte des Abschnitts 2.7 265
- 2.7.11 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.7 265
- 2.7.12 Literatur zu Abschnitt 2.7 266
- 2.8 Elektrochemische Thermodynamik 266
- 2.8.1 Die Thermodynamik und die reversible Zellspannung 266
- 2.8.2 Definition der elektrischen Potentiale und des elektrochemischen Potentials 269
- 2.8.3 Das Zustandekommen der elektrischen Potentialdifferenz einer galvanischen Zelle, Elektrodenpotentiale und deren Messung 272
- 2.8.4 Die verschiedenen Typen von Halbzellen 274
- 2.8.5 Konventionen über die Darstellung einer galvanischen Zelle und das Vorzeichen elektrischer Potentialdifferenzen 278
- 2.8.6 Elektrodenpotentiale 279
- 2.8.7 Das Flüssigkeits- oder Diffusionspotential 280
- 2.8.8 Verschiedene Typen von galvanischen Zellen 283
- 2.8.9 Anwendungen von Potentialmessungen 286
- 2.8.10 Kernpunkte des Abschnitts 2.8 290
- 2.8.11 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.8 291
- 2.8.12 Literatur zu Abschnitt 2.8 292

- 3 Aufbau der Materie 293**
- 3.1 Quantenmechanische Behandlung einfacher Systeme 293
- 3.1.1 Behandlung des starren Rotators 294
- 3.1.2 Behandlung des harmonischen Oszillators 298
- 3.1.3 Behandlung des Wasserstoffatoms 302
- 3.1.4 Drehimpuls, Bahndrehimpuls, Spin, Gesamtdrehimpuls und Quantenzahlen 313
- 3.1.5 Kernpunkte des Abschnitts 3.1 319
- 3.1.6 Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.1 320
- 3.1.7 Literatur zu den Abschnitten 1.4 und 3.1 322
- 3.2 Wechselwirkung zwischen Strahlung und Atomen – Atomaufbau und Periodensystem 322
- 3.2.1 Die Spektren der im engeren Sinne wasserstoffähnlichen Teilchen 323
- 3.2.2 Die optischen Spektren der Alkalimetalle 324
- 3.2.3 Die optischen Spektren der Mehrelektronenatome 326
- 3.2.4 Die Röntgenspektren 327
- 3.2.5 Das Auger-Spektrum 331
- 3.2.6 Die quantenmechanische Behandlung von Mehrelektronenatomen 332
- 3.2.7 Pauli-Prinzip, Hund'sche Regeln und Aufbauprinzip 333

3.2.8	Kernpunkte des Abschnitts 3.2	334
3.2.9	Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.2	335
3.2.10	Literatur zu Abschnitt 3.2	335
3.3	Materie im elektrischen und im magnetischen Feld	336
3.3.1	Das Verhalten der Materie im elektrischen Feld. Dielektrizitätskonstante und elektrische Polarisaton	336
3.3.2	Das Verhalten der Materie im magnetischen Feld	343
3.3.3	Kernpunkte des Abschnitts 3.3	348
3.3.4	Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.3	348
3.3.5	Literatur zu Abschnitt 3.3	348
3.4	Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen	349
3.4.1	Das Lambert-Beer'sche Gesetz	349
3.4.2	Quantenmechanische Behandlung der Absorption	350
3.4.3	Das Rotationsspektrum	355
3.4.4	Das Schwingungsspektrum	357
3.4.5	Das Rotations-Schwingungsspektrum	360
3.4.6	Das Raman-Spektrum	362
3.4.7	Die Elektronen-Bandenspektren	365
3.4.8	Emission aus elektronisch angeregten Zuständen	368
3.4.9	Photoelektronen-Spektroskopie	371
3.4.10	Die magnetische Resonanz	373
3.4.11	Die Mößbauer-Spektroskopie	386
3.4.12	Kernpunkte des Abschnitts 3.4	388
3.4.13	Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.4	388
3.4.14	Literatur zu Abschnitt 3.4	394
3.5	Die chemische Bindung	395
3.5.1	Die ionische Bindung	395
3.5.2	Die kovalente Bindung	398
3.5.3	Die metallische Bindung	407
3.5.4	Die van der Waals'sche Bindung	415
3.5.5	Mehrelektronensysteme	416
3.5.6	Kernpunkte des Abschnitts 3.5	422
3.5.7	Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.5	422
3.5.8	Literatur zu Abschnitt 3.5	423
3.6	Molekülsymmetrie und Struktur	423
3.6.1	Die Symmetrie von Molekülen	424
3.6.2	Dipolmoment und optische Aktivität	427
3.6.3	Symmetrie der Molekülorbitale	428
3.6.4	Symmetrie und Spektroskopie	432
3.6.5	Struktur von Festkörpern	434
3.6.6	Struktur von Festkörperoberflächen und nanoskopischen Systemen	436
3.6.7	Struktur von Flüssigkeiten	441
3.6.8	Struktur von flüssigen Kristallen	442
3.6.9	Nicht-lineare optische Spektroskopie	442
3.6.10	Kernpunkte des Abschnitts 3.6	449
3.6.11	Aufgaben zu Abschnitt 3.6	449
3.6.12	Literatur zu Abschnitt 3.6	450
4	Die statistische Theorie der Materie	451
4.1	Die klassische Statistik und die Quantenstatistiken	451
4.1.1	Die verschiedenen Statistiken	451
4.1.2	Der Impulsraum, der Phasenraum und die Zustandsdichte	452
4.1.3	Allgemeines zur Aufstellung der Verteilungsfunktionen	455
4.1.4	Die Bose-Einstein-Statistik	455

- 4.1.5 Die Fermi-Dirac-Statistik 458
- 4.1.6 Die Boltzmann-Statistik 459
- 4.1.7 Vergleich der Statistiken 461
- 4.1.8 Kernpunkte des Abschnitts 4.1 462
- 4.1.9 Rechenbeispiele zu Abschnitt 4.1 462
- 4.2 Statistische Thermodynamik 463
- 4.2.1 Die Zustandssumme und die thermodynamischen Funktionen 463
- 4.2.2 Molekülzustandssumme und Systemzustandssumme 466
- 4.2.3 Berechnung der Zustandssumme 467
- 4.2.4 Berechnung der thermodynamischen Daten eines idealen einatomigen Gases (ohne Elektronenanregung) 471
- 4.2.5 Thermodynamische Daten des idealen Kristalls 472
- 4.2.6 Das Elektronengas 477
- 4.2.7 Das Photonengas 483
- 4.2.8 Berechnung von Gleichgewichtskonstanten von Gasreaktionen 485
- 4.2.9 Kernpunkte des Abschnitts 4.2 487
- 4.2.10 Rechenbeispiele zu Abschnitt 4.2 488
- 4.3 Die kinetische Gastheorie 491
- 4.3.1 Maxwell'sches Geschwindigkeits-Verteilungsgesetz 491
- 4.3.2 Druck eines Gases auf die Gefäßwandungen 495
- 4.3.3 Zahl der Stöße auf die Wand 496
- 4.3.4 Der Gleichverteilungssatz der Energie 497
- 4.3.5 Kernpunkte des Abschnitts 4.3 499
- 4.3.6 Rechenbeispiele zu Abschnitt 4.3 499
- 4.3.7 Literatur zu Kapitel 4 499

- 5 Transporterscheinungen 501**
- 5.1 Die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle 501
- 5.2 Die Stoßzahlen der Gasmoleküle 505
- 5.3 Transporterscheinungen in Gasen 506
- 5.3.1 Die allgemeine Transportgleichung für Gase 506
- 5.3.2 Die Diffusion in Gasen 508
- 5.3.3 Die innere Reibung in Gasen 510
- 5.3.4 Die Wärmeleitfähigkeit in Gasen 511
- 5.3.5 Vergleich der Koeffizienten der Transportgrößen bei Gasen 512
- 5.4 Laminare Strömung in engen Röhren 513
- 5.5 Zusammenfassungen zu den Abschnitten 5.1 bis 5.4 514
- 5.5.1 Kernpunkte der Abschnitte 5.1 bis 5.4 514
- 5.5.2 Rechenbeispiele zu den Abschnitten 5.1 bis 5.4 515
- 5.5.3 Literatur zu den Abschnitten 5.1 bis 5.4 515
- 5.6 Die elektrische Leitfähigkeit in Festkörpern 515
- 5.6.1 Das Ohm'sche Gesetz 515
- 5.6.2 Die elektrische und thermische Leitfähigkeit in Metallen 516
- 5.6.3 Die elektrische Leitfähigkeit von elektronischen Halbleitern 519
- 5.6.4 Die elektrische Leitfähigkeit von festen Ionenleitern 521
- 5.6.5 Kernpunkte des Abschnitts 5.6 522
- 5.6.6 Rechenbeispiele zu Abschnitt 5.6 522
- 5.6.7 Literatur zu Abschnitt 5.6 522
- 5.7 Die elektrokinetischen Erscheinungen 522
- 5.7.1 Die Elektroosmose 523
- 5.7.2 Das Strömungspotential 525
- 5.7.3 Die Elektrophorese 525
- 5.7.4 Kernpunkte des Abschnitts 5.7 525
- 5.7.5 Literatur zu Abschnitt 5.7 526

6	Kinetik	527
6.1	Die experimentellen Methoden und die Auswertung kinetischer Messungen	528
6.1.1	Übersicht	528
6.1.2	Analysentechnik	528
6.1.3	Langsame Reaktionen	531
6.1.4	Schnelle Reaktionen	532
6.1.5	Molekularstrahltechnik	534
6.1.6	Kernpunkte des Abschnitts 6.1	535
6.1.7	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.1	535
6.2	Formale Kinetik komplizierterer Reaktionen	536
6.2.1	Mikroskopische Reversibilität	536
6.2.2	Chemische Relaxation	537
6.2.3	Folgereaktionen	537
6.2.4	Die Quasistationarität	539
6.2.5	Kernpunkte des Abschnitts 6.2	540
6.3	Reaktionsmechanismen	540
6.3.1	Der Lindemann-Mechanismus	541
6.3.2	Reaktionen mit vorgelagertem Gleichgewicht	542
6.3.3	Kettenreaktionen ohne Verzweigung	543
6.3.4	Kettenreaktionen mit Verzweigung	547
6.3.5	Explosionen	547
6.3.6	Kernpunkte des Abschnitts 6.3	549
6.3.7	Rechenbeispiele zu den Abschnitten 6.2 und 6.3	550
6.4	Die Theorie der Kinetik	551
6.4.1	Die einfache Stoßtheorie	551
6.4.2	Die verfeinerte Stoßtheorie	553
6.4.3	Die Theorie des aktivierten Komplexes	560
6.4.4	Kernpunkte des Abschnitts 6.4	564
6.4.5	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.4	564
6.5	Die Kinetik von Reaktionen in Lösung	564
6.5.1	Bimolekulare Reaktionen in Lösung	565
6.5.2	Anwendung der Theorie des aktivierten Komplexes auf Reaktionen in Lösung	568
6.5.3	Kernpunkte des Abschnitts 6.5	570
6.5.4	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.5	570
6.6	Die Kinetik heterogener Reaktionen	571
6.6.1	Kinetik der Phasenbildung	571
6.6.2	Auflösungsvorgänge	573
6.6.3	Verzunderungs- und Anlaufvorgänge	573
6.6.4	Kernpunkte des Abschnitts 6.6	574
6.6.5	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.6	574
6.7	Die Katalyse	574
6.7.1	Allgemeines zu katalytischen Reaktionen	575
6.7.2	Homogene Katalyse	576
6.7.3	Heterogene Katalyse	582
6.7.4	Oszillierende Reaktionen mit raum-zeitlicher Musterbildung	588
6.7.5	Kernpunkte des Abschnitts 6.7	591
6.7.6	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.7	591
6.7.7	Literatur zu den Abschnitten 6.1 bis 6.7	592
6.8	Die Kinetik von Elektrodenprozessen	593
6.8.1	Allgemeines zur Kinetik von Elektrodenreaktionen	593
6.8.2	Die Durchtrittsüberspannung	594
6.8.3	Die Diffusionsüberspannung	598
6.8.4	Weitere Arten der Überspannung	600
6.8.5	Die Zersetzungsspannung	600

6.8.6	Kernpunkte des Abschnitts 6.8	601
6.8.7	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.8	601
6.8.8	Literatur zu den Abschnitten 1.5 und 6.8	601
7	Mathematischer Anhang	603
A	Stirling'sche Formel	603
B	Determinanten und Matrizen	603
C	Vektoren	606
D	Operatoren, Darstellung des Laplace-Operators in Polarkoordinaten	606
E	Unbestimmte Ausdrücke. Regel von de l'Hospital	608
F	Reihenentwicklung	609
G	Bestimmung von Maxima und Minima	609
H	Partialbruchzerlegung	611
I	Lösung des Integrals $\int \sin^2 x dx$	611
J	Lösung des Integrals $\int \sin^3 x dx$	611
K	Lösung der Integrale $\int_0^\infty x^n e^{-x^2} dx$	612
L	Lösung des Integrals $\int_0^\infty \varepsilon^{\frac{1}{2}} e^{-\varepsilon/(kT)} d\varepsilon$	613
M	Lösung des Integrals $\int_0^\infty x^3 (e^x - 1)^{-1} dx$	613
N	Lösungen der Differentialgleichung $\frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + k^2 \psi(x) = 0$	613
O	Lösung der Differentialgleichung $\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} - k^2 \varphi(x) = 0$	614
P	Lösung der Poisson-Boltzmann-Gleichung	615
Q	Lösung der assoziierten Legendre'schen Differentialgleichung	615
R	Lösung der Schrödinger-Gleichung für den harmonischen Oszillator	618
S	Lösung der radialen Wellenfunktion des Wasserstoffatoms	622
T	Orthogonalitätsbeziehung der Wellenfunktionen	623
U	Fourier-Transformation	624
V	Weiterführende Literatur zum Mathematischen Anhang	625

Lösungen zu den Aufgaben 627

Lösungen zu Kapitel 1

Einführung in die physikalisch-chemischen Betrachtungsweisen, Grundbegriffe und Arbeitstechniken 629

1.1	Einführung in die chemische Thermodynamik	629
1.2	Einführung in die kinetische Gastheorie	658
1.3	Einführung in die statistische Thermodynamik	662
1.4	Einführung in die Quantentheorie	678
1.5	Einführung in die chemische Kinetik	694
1.6	Einführung in die Elektrochemie	706
1.7	Beugungserscheinungen und reziprokes Gitter	715

Lösungen zu Kapitel 2

Chemische Thermodynamik 717

2.1	Das reale Verhalten der Materie	717
2.2	Mischphasen	723
2.3	Die Grundgleichungen der Thermodynamik	727
2.4	Der Dritte Hauptsatz der Thermodynamik	734
2.5	Phasengleichgewichte	736
2.6	Das chemische Gleichgewicht	748
2.7	Grenzflächengleichgewichte	765
2.8	Elektrochemische Thermodynamik	769

Lösungen zu Kapitel 3**Aufbau der Materie 779**

- 3.1 Quantenmechanische Behandlung einfacher Systeme 779
- 3.2 Die Spektren 789
- 3.3 Materie im elektrischen und im magnetischen Feld 793
- 3.4 Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen 797
- 3.5 Die chemische Bindung 834
- 3.6 Molekülsymmetrie und Struktur 842

Lösungen zu Kapitel 4**Die statistische Theorie der Materie 853**

- 4.1 Die klassische Statistik und die Quantenstatistiken 853
- 4.2 Statistische Thermodynamik 857
- 4.3 Die kinetische Gastheorie 886

Lösungen zu Kapitel 5**Transporterscheinungen 891**

- 5.1 Materie (Abschnitte 5.1 bis 5.4) 891
- 5.2 Ladung (Abschnitte 5.5 bis 5.6) 896

Lösungen zu Kapitel 6**Kinetik 899**

- 6.1 Die experimentellen Methoden und die Auswertung kinetischer Messungen 899
- 6.2 Formale Kinetik komplizierterer Reaktionen und Reaktionsmechanismen (Abschnitte 6.2 und 6.3) 902
- 6.3 Die Theorie der Kinetik (Abschnitt 6.4) 906
- 6.4 Die Kinetik von Reaktionen in Lösung (Abschnitt 6.5) 908
- 6.5 Die Kinetik heterogener Reaktionen (Abschnitt 6.6) 913
- 6.6 Die Katalyse (Abschnitt 6.7) 915
- 6.7 Die Kinetik von Elektrodenprozessen (Abschnitt 6.8) 919

Einige nützliche Informationen 923**Sachverzeichnis 927**