

## Inhaltsverzeichnis

**Vorwort** V

**Vorwort zur dritten deutschen Auflage** IX

<b>0</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
0.1	Die Aggregatzustände	2
0.2	Der physikalische Zustand	3
0.3	Der Druck	3
0.4	Die Temperatur	9
0.5	Die Stoffmenge	11
	Aufgaben	13
<b>1</b>	<b>Die Eigenschaften der Gase</b>	<b>15</b>
	<b><i>Zustandsgleichungen</i></b>	<b>15</b>
1.1	Die Zustandsgleichung des idealen Gases	16
	Exkurs 1.1 Die Gasgesetze und das Wetter	21
1.2	Anwendungen der Zustandsgleichung des idealen Gases	25
1.3	Mischungen von Gasen: Der Partialdruck	27
	<b><i>Die kinetische Gastheorie</i></b>	<b>30</b>
1.4	Der Druck eines Gases	31
1.5	Die mittlere Geschwindigkeit der Gasmoleküle	32
1.6	Die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	33
1.7	Diffusion und Effusion	36
1.8	Intermolekulare Stöße	39
	Exkurs 1.2 Die Sonne als Ball aus idealem Gas	41

**Reale Gase 43**

- 1.9 Intermolekulare Wechselwirkungen 43
- 1.10 Die kritische Temperatur 44
- 1.11 Der Kompressionsfaktor 47
- 1.12 Die Virialgleichung 49
- 1.13 Die van-der-Waals-Gleichung 50
- 1.14 Die Verflüssigung von Gasen 54
- Aufgaben 56

**2 Thermodynamik: der Erste Hauptsatz 59**

**Die Erhaltung der Energie 60**

- 2.1 System und Umgebung 61
- 2.2 Arbeit und Wärme 62
- 2.3 Die Messung von Arbeit 65
- 2.4 Die Messung von Wärme 72

**Innere Energie und Enthalpie 76**

- 2.5 Die Innere Energie 76
- 2.6 Die Enthalpie 81
- 2.7 Die Temperaturabhängigkeit der Enthalpie 85
- Aufgaben 88

**3 Thermochemie 93**

**Physikalische Umwandlungen 93**

- 3.1 Die Enthalpie von Phasenübergängen 93
- 3.2 Atomare und molekulare Prozesse 100

**Chemische Reaktionen 108**

- 3.3 Enthalpieänderungen bei Standardbedingungen 108
- Exkurs 3.1 Nahrung und Energiereserven 111
- 3.4 Die Kombination von Reaktionsenthalpien 113
- 3.5 Standardbildungsenthalpien 115
- 3.6 Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsenthalpie 119
- Aufgaben 122

**4 Thermodynamik: der Zweite Hauptsatz 127****Die Entropie 128**

- 4.1 Die Richtung spontaner Prozesse 128
- 4.2 Die Entropie und der Zweite Hauptsatz 130
- 4.3 Entropieänderungen für einige typische Prozesse 132
- 4.4 Entropieänderungen in der Umgebung 139
- 4.5 Absolute Entropien und der Dritte Hauptsatz der Thermodynamik 142
- 4.6 Die Standardreaktionsentropie 145
- 4.7 Die Spontaneität chemischer Reaktionen 146

**Die Freie Enthalpie 147**

- Exkurs 4.1 Der hydrophobe Effekt 148
- 4.8 Die Beschränkung auf das System 149
- 4.9 Eigenschaften der Freien Enthalpie 150
- Aufgaben 154

**5 Phasengleichgewichte reiner Substanzen 159****Die Thermodynamik von Phasenübergängen 159**

- 5.1 Die Stabilitätsbedingung 159
- 5.2 Die Druckabhängigkeit der Freien Enthalpie 160
- 5.3 Die Temperaturabhängigkeit der Freien Enthalpie 163

**Phasendiagramme 165**

- 5.4 Phasengrenzlinien 166
- 5.5 Der Verlauf von Phasengrenzlinien 169
- 5.6 Charakteristische Punkte im Phasendiagramm 173
- 5.7 Die Phasenregel 176
- 5.8 Phasendiagramme ausgewählter Substanzen 178
- Aufgaben 182

**6 Die Eigenschaften von Mischungen 185****Die thermodynamische Beschreibung von Mischungen 185**

- 6.1 Konzentrationsmaße 185
- 6.2 Partielle molare Größen 188
- 6.3 Spontane Mischungsprozesse 193
- 6.4 Ideale Lösungen 196
- 6.5 Ideal verdünnte Lösungen 201
- Exkurs 6.1 Die Löslichkeit von Gasen und die Atmung 206
- 6.6 Reale Lösungen: Aktivitäten 209

	<b>Kolligative Eigenschaften</b>	210
6.7	Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktserniedrigung	211
6.8	Osmose	213
	Exkurs 6.2 Dialyse und der Aufbau von Proteinen	215
	<b>Phasendiagramme von Mischungen</b>	222
6.9	Mischungen flüchtiger Flüssigkeiten	223
6.10	Flüssig/Flüssig-Phasendiagramme	227
6.11	Flüssig/Fest-Phasendiagramme	232
6.12	Ultrareinheit und kontrollierte Verunreinigung	234
	Aufgaben	236
<b>7</b>	<b>Die Grundlagen des chemischen Gleichgewichts</b>	243
	<b>Thermodynamische Grundlagen</b>	243
7.1	Die Freie Reaktionsenthalpie	245
7.2	Die Abhängigkeit der Freien Reaktionsenthalpie von der Zusammensetzung	248
7.3	Reaktionen im Gleichgewichtszustand	250
7.4	Die Freie Standardreaktionsenthalpie	254
7.5	Gekoppelte Reaktionen	258
	Exkurs 7.1 Anaerober und aerober Stoffwechsel	262
7.6	Die Zusammensetzung im Gleichgewicht	263
	Exkurs 7.2 Myoglobin und Hämoglobin	266
	<b>Der Einfluss äußerer Bedingungen auf das Gleichgewicht</b>	271
7.7	Die Gegenwart eines Katalysators	271
7.8	Der Einfluss der Temperatur	272
7.9	Der Einfluss des Drucks	275
	Aufgaben	276
<b>8</b>	<b>Das Chemische Gleichgewicht</b>	283
	<b>Säure-Base-Gleichgewichte</b>	283
8.1	Die Brønsted-Lowry-Theorie	283
8.2	Protonierung und Deprotonierung	285
8.3	Mehrwertige Säuren	290
8.4	Amphotere Systeme	296
	<b>Wässrige Salzlösungen</b>	297
8.5	Säure-Base-Titrationen	298
8.6	Puffer	303
8.7	Indikatoren	305

	<b>Lösungsgleichgewichte</b>	307
8.8	Das Löslichkeitsprodukt	308
8.9	Der Einfluss gemeinsamer Ionen auf die Löslichkeit	310
	Aufgaben	311
<b>9</b>	<b>Elektrochemie</b>	315
	<b>Die Wanderung von Ionen</b>	315
9.1	Die Leitfähigkeit	316
9.2	Die Ionenbeweglichkeit	319
	<b>Elektrochemische Zellen</b>	322
9.3	Halbreaktionen und Elektroden	323
9.4	Reaktionen an Elektroden	327
9.5	Zelltypen	331
	Exkurs 9.1 Aktionspotenziale	332
9.6	Die Zellreaktion	333
9.7	Das Zellpotenzial	334
9.8	Zellen im Gleichgewicht	337
	Exkurs 9.2 Die chemiosmotische Theorie	338
9.9	Standardpotenziale	340
9.10	Die pH-Abhängigkeit des Potenzials	343
9.11	Die Bestimmung des pH-Werts	346
	<b>Anwendungen von Standardpotenzialen</b>	347
	Exkurs 9.3 Cytochrom-Kaskaden	348
9.12	Die elektrochemische Reihe	349
9.13	Die Bestimmung von thermodynamischen Funktionen	350
	Aufgaben	354
<b>10</b>	<b>Chemische Kinetik</b>	359
	<b>Empirische chemische Kinetik</b>	360
10.1	Experimentelle Methoden	360
10.2	Anwendung der Methoden	361
	Exkurs 10.1 Ultraschnelle Reaktionen: Femtosekundenchemie	363
	<b>Reaktionsgeschwindigkeiten</b>	365
10.3	Die Definition der Reaktionsgeschwindigkeit	365
10.4	Geschwindigkeitsgesetze und Geschwindigkeitskonstanten	366
10.5	Die Reaktionsordnung	367
10.6	Die Bestimmung des Geschwindigkeitsgesetzes	369
10.7	Integrierte Geschwindigkeitsgesetze	373
10.8	Halbwertszeiten	380

	<b>Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit</b>	382
10.9	Die Arrhenius-Parameter	383
10.10	Die Stoßtheorie	387
10.11	Die Theorie des aktivierten Komplexes	391
10.12	Katalyse	394
	Aufgaben	397
11	<b>Die Interpretation von Geschwindigkeitsgesetzen</b>	401
	<b>Reaktionsschemata</b>	401
11.1	Das Erreichen des Gleichgewichtszustands	401
11.2	Folgereaktionen	404
	<b>Reaktionsmechanismen</b>	406
11.3	Elementarreaktionen	406
11.4	Die Aufstellung von Geschwindigkeitsgesetzen	408
11.5	Die Näherung des stationären Zustands	410
11.6	Der geschwindigkeitsbestimmende Schritt	411
11.7	Reaktionen auf Oberflächen	413
11.8	Unimolekulare Reaktionen	416
	<b>Enzymreaktionen</b>	417
	Exkurs 11.1 Katalytische Aktivität und katalytische Antikörper	418
11.9	Die Wirkung von Enzymen	421
11.10	Enzyminhibierung	425
	<b>Kettenreaktionen</b>	431
11.11	Das Prinzip der Kettenreaktion	432
11.12	Geschwindigkeitsgesetze von Kettenreaktionen	433
11.13	Explosionen	435
	<b>Photochemische Prozesse</b>	436
11.14	Die Quantenausbeute	437
	Exkurs 11.2 Photobiologie	438
11.15	Geschwindigkeitsgesetze photochemischer Reaktionen	442
	Aufgaben	442

**12 Quantentheorie 447*****Das Versagen der klassischen Physik 447***

- 12.1 Die Strahlung des Schwarzen Körpers 448
- 12.2 Wärmekapazitäten 454
- 12.3 Der photoelektrische Effekt 457
- 12.4 Beugung von Elektronen 460
- 12.5 Atomare und molekulare Spektren 461

***Die Dynamik mikroskopischer Systeme 463***

- 12.6 Die Schrödinger-Gleichung 463
- 12.7 Die Bornsche Interpretation 466
- 12.8 Die Unschärferelation 468

***Anwendungen der Quantenmechanik 472***

- 12.9 Translation: Teilchen im Kasten 472
- 12.10 Rotation: Teilchen auf einer Kreisbahn 476
- 12.11 Schwingung: der harmonische Oszillator 480
  - Exkurs 12.1 Rastertunnelmikroskop 484
  - Aufgaben 486

**13 Der Aufbau der Atome 491*****Wasserstoffähnliche Atome 491***

- 13.1 Die Spektren wasserstoffähnlicher Atome 492
- 13.2 Der Aufbau wasserstoffähnlicher Atome 493
- 13.3 Quantenzahlen 496
- 13.4 Wellenfunktionen: s-Orbitale 498
- 13.5 Wellenfunktionen: p- und d-Orbitale 503
- 13.6 Der Elektronenspin 505
- 13.7 Spektrale Übergänge und Auswahlregeln 507

***Der Aufbau von Mehrelektronenatomen 509***

- 13.8 Die Orbitalnäherung 510
- 13.9 Das Pauli-Prinzip 510
- 13.10 Durchdringung und Abschirmung 511
- 13.11 Das Aufbauprinzip 513
- 13.12 Die Besetzung der d-Orbitale 515
- 13.13 Die Konfiguration von Kationen und Anionen 516

***Die Periodizität der atomaren Eigenschaften 517***

- 13.14 Der Atomradius 517
  - Exkurs 13.1 Atomradius und Atmung 519
- 13.15 Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität 521

	<b>Die Spektren von Mehrelektronenatomen</b>	523
13.16	Termsymbole	524
13.17	Die Spin-Bahn-Kopplung	526
	Aufgaben	527
<b>14</b>	<b>Die chemische Bindung</b>	<b>531</b>
	<b>Einführende Konzepte</b>	<b>531</b>
14.1	Bindungstypen	532
14.2	Potenzialkurven	532
	<b>Die Valence-Bond-Theorie</b>	<b>533</b>
14.3	Zweiatomige Moleküle	534
14.4	Mehratomige Moleküle	537
14.5	Promotion und Hybridisierung	538
14.6	Resonanz	542
	<b>Molekülorbitale</b>	<b>544</b>
14.7	Linearkombinationen von Atomorbitalen	544
14.8	Bindende Orbitale	546
14.9	Antibindende Orbitale	546
14.10	Der Aufbau zweiatomiger Moleküle	548
14.11	Wasserstoff- und Heliummolekül	548
14.12	Zweiatomige Moleküle der zweiten Periode	551
14.13	Symmetrie und Überlappung	554
14.14	Die elektronische Struktur homonuklearer zweiatomiger Moleküle	557
14.15	Die Parität	561
14.16	Heteronukleare zweiatomige Moleküle	562
14.17	Polare kovalente Bindungen	564
14.18	Der Aufbau mehratomiger Moleküle	567
	Exkurs 14.1 Computerchemie	568
	Aufgaben	573
<b>15</b>	<b>Metallische und ionische Festkörper</b>	<b>577</b>
	<b>Die chemische Bindung in Festkörpern</b>	<b>577</b>
15.1	Die Bändertheorie	579
15.2	Die Besetzung der Bänder	580
15.3	Das ionische Bindungsmodell	583
15.4	Die Gitterenthalpie	584
15.5	Coulomb-Beiträge zu Gitterenthalpien	588



**Kristallstrukturen 591**

- 15.6 Die Elementarzelle 591
- 15.7 Die Identifizierung von Kristallebenen 593
- 15.8 Strukturbestimmung 598
- 15.9 Das Braggsche Gesetz 600
- 15.10 Experimentelle Techniken 602

**Typische Kristallstrukturen 605**

- 15.11 Die kristalline Struktur der Metalle 606
- 15.12 Ionenkristalle 608
- Aufgaben 611

**16 Molekulare Systeme 615****Der Ursprung der Kohäsion 615**

- 16.1 Wechselwirkungen zwischen Partialladungen 615
- 16.2 Elektrische Dipolmomente 617
- 16.3 Die Wechselwirkung zwischen Dipolen 623
- 16.4 Induzierte Dipolmomente 626
- 16.5 Dispersionswechselwirkungen 627
- 16.6 Wasserstoffbrückenbindungen 628
- 16.7 Die Gesamtwechselwirkung 632

**Biopolymere 635**

- 16.8 Polypeptidstrukturen 636
- Exkurs 16.1 Die Vorhersage von Proteinstrukturen 638
- 16.9 Denaturierung 641

**Flüssigkeiten 641**

- 16.10 Die relative Anordnung von Molekülen 642
- 16.11 Molekulare Bewegung in Flüssigkeiten 644

**Mesophasen und disperse Systeme 650**

- 16.12 Flüssigkristalle 651
- 16.13 Unterteilung disperser Systeme 652
- Exkurs 16.2 Zellmembranen 654
- 16.14 Oberfläche, Struktur und Stabilität 656
- 16.15 Die elektrische Doppelschicht 660
- Aufgaben 662

**17 Rotationen und Schwingungen von Molekülen 667**

***Allgemeine Aspekte der Spektroskopie 667***

17.1 Experimentelle Methoden 670

17.2 Intensitäten und Linienbreiten 671

***Rotationsspektroskopie 674***

17.3 Energieniveaus der Rotation von Molekülen 674

17.4 Rotationsübergänge: Mikrowellenspektroskopie 677

17.5 Raman-Rotationsspektren 681

***Schwingungsspektroskopie 682***

17.6 Schwingungen von Molekülen 683

17.7 Schwingungsübergänge 685

17.8 Raman-Schwingungsspektren zweiatomiger Moleküle 688

17.9 Schwingungen mehratomiger Moleküle 689

17.10 Raman-Schwingungsspektren mehratomiger Moleküle 694  
Aufgaben 697

**18 Elektronenübergänge 701**

***Spektren im sichtbaren und ultravioletten 702***

18.1 Das Franck-Condon-Prinzip 703

18.2 Die Messung von Intensitäten 704

18.3 Zirkulardichroismus 710

18.4 Spezielle Arten von Elektronenübergängen 712

***Die Desaktivierung angeregter Zustände 714***

Exkurs 18.1 Die Photochemie des Sehvorgangs 715

18.5 Fluoreszenz 719

18.6 Fluoreszenzlöschung 720

18.7 Phosphoreszenz 725

18.8 Laser 726

***Photoelektronenspektroskopie 728***

Aufgaben 731

**19     Magnetische Resonanz    735*****Das Prinzip der magnetischen Resonanz    735***

19.1   Kerne in Magnetfeldern    736

19.2   Technische Aspekte    738

***Die Auswertung von NMR-Spektren    739***

19.3   Die chemische Verschiebung    739

19.4   Die Feinstruktur    742

Exkurs 19.1 Magnetische Bildgebungsverfahren    746

19.5   Spinrelaxation    750

19.6   Der Kern-Overhauser-Effekt    753

Aufgaben    757

**20     Statistische Thermodynamik    759*****Die Zustandssumme    759***

20.1   Die Boltzmann-Verteilung    760

20.2   Bedeutung der Zustandssumme    763

20.3   Beispiele von Zustandssummen    766

***Thermodynamische Eigenschaften    769***

20.4   Innere Energie und Wärmekapazität    769

20.5   Entropie und Freie Enthalpie    772

20.6   Das Gleichgewicht auf statistischer Grundlage    777

Exkurs 20.1 Der Helix-Knäuel-Übergang in Polypeptiden    780

Aufgaben    782

**Zusatzinformation 1: Mathematische Methoden    785**

1.1   Algebraische Gleichungen und Graphen    785

1.2   Logarithmus- und Exponentialfunktionen    787

1.3   Ableiten und Integrieren    790

**Zusatzinformation 2: Größen und Einheiten    795****Zusatzinformation 3: Energie und Kraft    798****Zusatzinformation 4: Die kinetische Gastheorie    800****Zusatzinformation 5: Die Abhängigkeit der Freien Enthalpie von Druck und Temperatur    802****Zusatzinformation 6: Begriffe der Elektrostatik    804**

**Zusatzinformation 7: Elektromagnetische Strahlung und Photonen 807**

**Zusatzinformation 8: Oxidationszahlen 810**

**Zusatzinformation 9: Die Lewis-Theorie der kovalenten Bindung 812**

**Zusatzinformation 10: Das VSEPR-Modell 815**

**Anhang 1 819**

**Anhang 2 828**

**Anhang 3: Die Aminosäuren 831**

**Häufig verwendete Beziehungen 832**

**Mathematische Beziehungen 832**

**Ausgewählte griechische Buchstaben 832**

**Präfixe 832**

**Wichtige Zahlenwerte und Naturkonstanten 833**

**Periodensystem 834**

**Lösungen zu den Aufgaben 835**

**Lösungen zu den Exkursen 844**

**Index 845**