

Peter W. Atkins, Loretta Jones

## Chemie – einfach alles

*Übersetzung herausgegeben von Rüdiger Faust*

*Übersetzt von Jürgen Eckwert, Roswitha Harrer, Nicole Kindler,  
Roswitha Kraft, Petra Lugstein, Klaus Rabe, Kathrin-M. Roy*

Zweite, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage



WILEY-  
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

# | Inhaltsübersicht

	<b>Grundlagen</b> G1		<b>Anhang 1</b> 861
1	<b>Atome: Die Welt der Quanten</b> 1		<b>Anhang 2</b> 875
2	<b>Chemische Bindungen</b> 61		<b>Anhang 3</b> 893
3	<b>Geometrie und Struktur von Molekülen</b> 103		<b>Glossar</b> 895
4	<b>Die Eigenschaften von Gasen</b> 147		<b>Antworten Lerntests</b> 929
5	<b>Flüssigkeiten und Festkörper</b> 187		<b>Antworten Übungen</b> 938
6	<b>Thermodynamik: Der erste Hauptsatz</b> 229		<b>Bildnachweis</b> 977
7	<b>Thermodynamik: Der zweite und dritte Hauptsatz</b> 285		<b>Sachregister</b> 979
8	<b>Physikalische Gleichgewichte</b> 331		
9	<b>Das chemische Gleichgewicht</b> 383		
10	<b>Säuren und Basen</b> 427		
11	<b>Gleichgewichte in wässrigen Lösungen</b> 477		
12	<b>Elektrochemie</b> 519		
13	<b>Die Chemische Kinetik</b> 567		
14	<b>Die Elemente: Die ersten vier Hauptgruppen</b> 627		
15	<b>Die Elemente: Die letzten vier Hauptgruppen</b> 677		
16	<b>Die Elemente: Der <i>d</i>-Block</b> 715		
17	<b>Kernchemie</b> 761		
18	<b>Organische Chemie I: Die Kohlenwasserstoffe</b> 795		
19	<b>Organische Chemie II: Polymere und biologische Verbindungen</b> 825		

# | Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur dritten englischen Auflage XVII

Danksagung XVIII

Vorwort zur zweiten deutschen Auflage XX

Über dieses Buch XXI

Grundlagen G1

**A Stoffe und Energie G6**

A.1 Physikalische Eigenschaften G7

A.2 Energie G9

A.3 Kraft G12

**B Elemente und Atome G13**

B.1 Atome G14

B.2 Das Kernmodell G14

B.3 Neutronen G17

B.4 Isotope G19

B.5 Ein Ordnungsschema für Elemente G20

**C Verbindungen G23**

C.1 Definition von Verbindungen G23

C.2 Moleküle und Molekülverbindungen G24

C.3 Ionen und ionische Verbindungen G26

**D Die Nomenklatur chemischer Verbindungen G30**

D.1 Namen von Kationen G30

D.2 Namen von Anionen G30

D.3 Namen ionischer Verbindungen G32

D.4 Namen anorganischer Molekülverbindungen G33

D.5 Namen wichtiger organischer Verbindungen G36

**E Mol und Molmasse G37**

E.1 Das Mol G38

E.2 Die Molmasse G40

**F Die Ermittlung chemischer Formeln G44**

F.1 Gehaltsangaben in Massenprozent G44

F.2 Die Ermittlung empirischer Formeln G45

F.3 Die Ermittlung von Molekülformeln G47

- G Mischungen und Lösungen G48**
- G.1 Einteilung von Mischungen G48
  - G.2 Trennverfahren G50
  - G.3 Molarität G52
  - G.4 Verdünnung G55
- H Chemische Gleichungen G56**
- H.1 Symbole in chemischen Gleichungen G56
  - H.2 Ausgleichen von Reaktionsgleichungen G58
- I Wässrige Lösungen und Fällung G60**
- I.1 Elektrolyte G60
  - I.2 Fällungsreaktionen G62
  - I.3 Ionengleichungen und Nettoionengleichungen G62
  - I.4 Die Anwendungen von Fällungsreaktionen G64
- J Säuren und Basen G65**
- J.1 Säuren und Basen in wässriger Lösung G66
  - J.2 Starke und schwache Säuren  
und Basen G68
  - J.3 Die Neutralisation G69
- K Redoxreaktionen G70**
- K.1 Oxidation und Reduktion G71
  - K.2 Oxidationszahlen: Auf der Spur der Elektronen G72
  - K.3 Oxidations- und Reduktionsmittel G74
  - K.4 Ausgleichen einfacher Redoxgleichungen G76
- L Reaktionsstöchiometrie G77**
- L.1 Umwandlungen in Molmengen G77
  - L.2 Umwandlungen in Massen G78
  - L.3 Maßanalyse G80
- M Begrenzende Faktoren von Reaktionen G84**
- M.1 Die Reaktionsausbeute G84
  - M.2 Ausgangsstoffe als begrenzende Faktoren G85
  - M.3 Verbrennungsanalyse G87
- 1 Atome: Die Welt der Quanten 1**
- 1.1 Wie man Atome untersucht 1
    - 1.1.1 Die Merkmale elektromagnetischer Strahlung 2
    - 1.1.2 Strahlung, Quanten und Photonen 4
    - 1.1.3 Der Welle-Teilchen-Dualismus der Materie 11
    - 1.1.4 Die Unschärferelation 12
    - 1.1.5 Wellenfunktionen und Energieniveaus 14
    - 1.1.6 Atomspektren und Energieniveaus 19
  - 1.2 Atommodelle 22
    - 1.2.1 Die Hauptquantenzahl 22
    - 1.2.2 Atomorbitale 23
    - 1.2.3 Der Spin des Elektrons 30
    - 1.2.4 Die elektronische Struktur des Wasserstoffs 31
  - 1.3 Die Strukturen von Vielelektronen-Atomen 32
    - 1.3.1 Orbitalenergien 32
    - 1.3.2 Das Aufbauprinzip 34
    - 1.3.3 Elektronische Strukturen und das Periodensystem 39

1.4	Die Periodizität atomarer Eigenschaften	41
1.4.1	Atomradien	42
1.4.2	Ionenradien	43
1.4.3	Ionisierungsenergien	45
1.4.4	Elektronenaffinitäten	47
1.4.5	Der Einfluss des inerten Elektronenpaares	49
1.4.6	Schrägbeziehungen	50
1.5	Auswirkungen auf die Materialforschung	51
1.5.1	Die Hauptgruppenelemente	51
1.5.2	Die Übergangsmetalle	52
	Was Sie jetzt können sollten	54
	Übungen	54
	Weiterführende Übungen	58
<b>2</b>	<b>Chemische Bindungen</b>	<b>61</b>
2.1	Ionenbindungen	62
2.1.1	Die Entstehung von Ionenbindungen	62
2.1.2	Wechselwirkungen zwischen Ionen	63
2.1.3	Die Elektronenkonfiguration von Ionen	67
2.1.4	Lewis-Symbole	69
2.2	Kovalente Bindungen	70
2.2.1	Die Natur kovalenter Bindungen	70
2.2.2	Lewis-Formeln	70
2.2.3	Lewis-Formeln vielatomiger Moleküle	72
2.2.4	Resonanz	75
2.2.5	Formalladungen	78
2.3	Ausnahmen von der Oktettregel	80
2.3.1	Radikale und Diradikale	80
2.3.2	Erweiterte Valenzschalen	82
2.3.3	Die ungewöhnlichen Strukturen einiger Verbindungen von Elementen der Gruppe 13/III	84
2.4	Vergleich von Ionenbindungen und kovalenten Bindungen	85
2.4.1	Eine Korrektur des Modells kovalenter Bindungen: Elektronegativität	85
2.4.2	Eine Korrektur des Modells der Ionenbindung: Polarisierbarkeit	88
2.5	Stärke und Länge kovalenter Bindungen	88
2.5.1	Bindungsstärken	89
2.5.2	Typische Werte der Bindungsstärke	89
2.5.3	Bindungslängen	91
	Was Sie jetzt können sollten	94
	Übungen	94
	Weiterführende Übungen	97
	Wichtige Analyseverfahren 1	100
<b>3</b>	<b>Geometrie und Struktur von Molekülen</b>	<b>103</b>
3.1	Das VSEPR-Modell	105
3.1.1	Das VSEPR-Basismodell	105
3.1.2	Moleküle mit freien Elektronenpaaren am Zentralatom	108
3.1.3	Polare Moleküle	112
3.2	Die Valence-Bond-Theorie	115
3.2.1	$\sigma$ - und $\pi$ -Bindungen	116
3.2.2	Die Hybridisierung von Orbitalen	118
3.2.3	Hybridisierung in komplexeren Molekülen	119
3.2.4	Bindungen in Kohlenwasserstoffen	122
3.2.5	Charakteristische Merkmale von Doppelbindungen	123

- 3.3 Die Molekülorbital-Theorie 125
- 3.3.1 Die Grenzen der Theorie von Lewis 125
- 3.3.2 Molekülorbitale 127
- 3.3.3 Die Elektronenkonfiguration zweiatomiger Moleküle 128
- 3.3.4 Bindungen in heteronuclearen zweiatomigen Molekülen 133
- 3.3.5 Orbitale in vielatomigen Molekülen 134
- 3.3.6 Auswirkungen auf die Materialforschung:
  - Die Band-Theorie von Festkörpern 136
  - Was Sie jetzt können sollten 139
  - Übungen 139
  - Weiterführende Übungen 142
  - Wichtige Analyseverfahren 2 144

#### **4 Die Eigenschaften von Gasen 147**

- 4.1 Die Natur der Gase 148
  - 4.1.1 Beobachtungen an Gasen 148
  - 4.1.2 Der Druck 148
  - 4.1.3 Alternative Einheiten des Drucks 151
- 4.2 Die Gasgesetze 152
  - 4.2.1 Das Gesetz von Boyle 152
  - 4.2.2 Das Gesetz von Charles und Gay-Lussac 154
  - 4.2.3 Das Prinzip von Avogadro 155
  - 4.2.4 Das ideale Gasgesetz 156
  - 4.2.5 Anwendungen des idealen Gasgesetzes 158
  - 4.2.6 Die Dichte eines Gases 160
  - 4.2.7 Die Stöchiometrie bei Gasreaktionen 162
  - 4.2.8 Gasgemische 164
- 4.3 Molekulare Bewegung 168
  - 4.3.1 Diffusion und Effusion 168
  - 4.3.2 Das kinetische Gasmodell 170
  - 4.3.3 Die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung 174
- 4.4 Reale Gase 175
  - 4.4.1 Abweichungen vom Idealzustand 175
  - 4.4.2 Die Verflüssigung von Gasen 177
  - 4.4.3 Zustandsgleichungen realer Gase 178
    - Was Sie jetzt können sollten 180
    - Übungen 180
    - Weiterführende Übungen 184

#### **5 Flüssigkeiten und Festkörper 187**

- 5.1 Intermolekulare Kräfte 188
  - 5.1.1 Die Bildung kondensierter Phasen 188
  - 5.1.2 Ion-Dipol-Wechselwirkungen 189
  - 5.1.3 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen 190
  - 5.1.4 London- oder Dispersionswechselwirkungen 192
  - 5.1.5 Die Wasserstoffbrückenbindung 195
- 5.2 Die Struktur von Flüssigkeiten 197
  - 5.2.1 Die Ordnung in Flüssigkeiten 198
  - 5.2.2 Viskosität und Oberflächenspannung 198
- 5.3 Die Strukturen der Festkörper 200
  - 5.3.1 Die Einteilung der Festkörper 200
  - 5.3.2 Metallische Festkörper 203
  - 5.3.3 Elementarzellen 205
  - 5.3.4 Ionische Festkörper 208
  - 5.3.5 Molekulare Festkörper 210
  - 5.3.6 Vernetzte Festkörper 211

5.4	Auswirkungen auf die Materialforschung	213
5.4.1	Die Eigenschaften von Festkörpern	213
5.4.2	Legierungen	216
5.4.3	Flüssigkristalle	218
	Was Sie jetzt können sollten	219
	Übungen	220
	Weiterführende Übungen	223
	Wichtige Analyseverfahren 3	226
<b>6</b>	<b>Thermodynamik: Der erste Hauptsatz</b>	<b>229</b>
6.1	Systeme, Zustände und Energie	230
6.1.1	Systeme	230
6.1.2	Arbeit und Energie	231
6.1.3	Expansive Arbeit	232
6.1.4	Wärme	236
6.1.5	Die Wärmebestimmung	238
6.1.6	Der erste Hauptsatz	239
6.1.7	Zustandsfunktionen	241
6.1.8	Ein molekulares Zwischenspiel: Der Ursprung der inneren Energie	244
6.2	Enthalpie	247
6.2.1	Wärmeübertragung bei konstantem Druck	247
6.2.2	Wärmekapazität bei konstantem Druck und Volumen	249
6.2.3	Ein molekulares Zwischenspiel: Der Ursprung der Wärmekapazität von Gasen	250
6.2.4	Die Enthalpie des Phasenübergangs	252
6.2.5	Schmelz- und Siedediagramme	255
6.3	Die Enthalpie chemischer Umwandlungen	257
6.3.1	Reaktionsenthalpien	257
6.3.2	Die Beziehung von $\Delta H$ und $\Delta U$	259
6.3.3	Standard-Reaktionsenthalpien	262
6.3.4	Die Verknüpfung von Reaktionsenthalpien: Der Satz von Hess	263
6.3.5	Die Reaktionswärme	266
6.3.6	Standard-Bildungsenthalpien	269
6.3.7	Der Born-Haber-Kreisprozess	272
6.3.8	Bindungsenthalpien	273
6.3.9	Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsenthalpie Was Sie jetzt können sollten Übungen Weiterführende Übungen	276 277 277 282
<b>7</b>	<b>Thermodynamik: Der zweite und dritte Hauptsatz</b>	<b>285</b>
7.1	Entropie	285
7.1.1	Spontane Umwandlungen	286
7.1.2	Entropie und Unordnung	286
7.1.3	Änderungen der Entropie	289
7.1.4	Änderungen der Entropie beim Wechsel des Aggregatzustands	293
7.1.5	Eine Interpretation der Entropie aus molekularer Sicht	296
7.1.6	Die Äquivalenz von statistischer und thermodynamischer Entropie	300
7.1.7	Molare Standardentropien	302
7.1.8	Standard-Reaktionsentropien	305
7.2	Globale Änderungen der Entropie	306
7.2.1	Die Systemumgebung	306
7.2.2	Die Entropie des Gesamtsystems	308
7.2.3	Das Gleichgewicht	312

- 7.3 Freie Energie 314
  - 7.3.1 Das System im Mittelpunkt 314
  - 7.3.2 Freie Reaktionsenergie 317
  - 7.3.3 Freie Energie und nichtexpansive Arbeit 320
  - 7.3.4 Der Einfluss der Temperatur 322
  - 7.3.5 Die Änderung der freien Energie in biologischen Systemen 324
    - Was Sie jetzt können sollten 325
    - Übungen 325
    - Weiterführende Übungen 328
  
- 8 Physikalische Gleichgewichte 331**
  - 8.1 Phasen und Phasenübergänge 332
    - 8.1.1 Der Dampfdruck 332
    - 8.1.2 Flüchtigkeit und intermolekulare Kräfte 333
    - 8.1.3 Die Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks 335
    - 8.1.4 Der Siedevorgang 336
    - 8.1.5 Gefrieren und Schmelzen 337
    - 8.1.6 Phasendiagramme 338
    - 8.1.7 Kritische Eigenschaften 341
  - 8.2 Die Löslichkeit 343
    - 8.2.1 Der Lösevorgang auf molekularer Ebene 343
    - 8.2.2 „Gleiches löst sich in Gleichem“ 344
    - 8.2.3 Druck und Löslichkeit von Gasen: Das Henry'sche Gesetz 347
    - 8.2.4 Temperatur und Löslichkeit 348
    - 8.2.5 Die Lösungsenthalpie 349
    - 8.2.6 Die freie Lösungsenthalpie 352
  - 8.3 Kolligative Eigenschaften 353
    - 8.3.1 Die Molalität 353
    - 8.3.2 Dampfdruckerniedrigung 357
    - 8.3.3 Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktserniedrigung 359
    - 8.3.4 Die Osmose 362
  - 8.4 Binäre Flüssigkeitsgemische 366
    - 8.4.1 Der Dampfdruck eines binären Flüssigkeitsgemisches 366
    - 8.4.2 Die Destillation 368
    - 8.4.3 Azeotrope Gemische 370
      - Was Sie jetzt können sollten 371
      - Übungen 372
      - Weiterführende Übungen 376
      - Wichtige Analyseverfahren 4 380
  
- 9 Das chemische Gleichgewicht 383**
  - 9.1 Reaktionen im Gleichgewicht 384
    - 9.1.1 Die Umkehrbarkeit von chemischen Reaktionen 385
    - 9.1.2 Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz 386
    - 9.1.3 Der thermodynamische Ursprung von Gleichgewichtskonstanten 390
  - 9.2 Gleichgewichtskonstanten 395
    - 9.2.1 Die Gleichgewichtskonstante bezogen auf die molare Konzentration von Gasen 395
    - 9.2.2 Andere Formen der Gleichgewichtskonstante 398
    - 9.2.3 Der Umsatz in einer Reaktion 399
    - 9.2.4 Die Richtung einer Reaktion 400
    - 9.2.5 Die Verwendung von Gleichgewichtskonstanten 402
  - 9.3 Die Reaktion eines Gleichgewichts auf Veränderungen 406
    - 9.3.1 Zugabe und Entfernung von Ausgangsstoffen und Produkten 407
    - 9.3.2 Komprimierung eines Reaktionsgemischs 410

- 9.3.3 Gleichgewicht und Temperatur 412
- 9.3.4 Katalysatoren und der Erfolg von Haber 415
- 9.3.5 Auswirkungen auf die biologische Forschung: Selbstregulation 416
  - Was Sie jetzt können sollten 418
  - Übungen 418
  - Weiterführende Übungen 423
  
- 10 Säuren und Basen 427**
  - 10.1 Das Wesen von Säuren und Basen 427
    - 10.1.1 Der Säure-Base-Begriff nach Brønsted und Lowry 428
    - 10.1.2 Lewis-Säuren und -Basen 431
    - 10.1.3 Saure, basische und amphotere Oxide 432
    - 10.1.4 Protonenaustausch zwischen Wassermolekülen 433
    - 10.1.5 Die pH-Skala 435
    - 10.1.6 Der pOH-Wert von Lösungen 438
  - 10.2 Schwache Säuren und Basen 439
    - 10.2.1 Säure- und Basenkonstanten 440
    - 10.2.2 Die Wechselbezeichnung konjugierter Säure-Base-Paare 442
    - 10.2.3 Molekulare Struktur und Säurestärke 445
    - 10.2.4 Die Stärke von Oxosäuren 446
  - 10.3 Der pH-Wert von Lösungen schwacher Säuren und Basen 449
    - 10.3.1 Lösungen schwacher Säuren 449
    - 10.3.2 Lösungen schwacher Basen 452
    - 10.3.3 Der pH-Wert von Salzlösungen 453
  - 10.4 Mehrwertige Säuren und Basen 458
    - 10.4.1 Der pH-Wert von Lösungen einer mehrwertigen Säure 458
    - 10.4.2 Salzlösungen mehrwertiger Säuren 459
    - 10.4.3 Die Konzentration der gelösten Spezies 461
    - 10.4.4 Lösungszusammensetzung und pH-Wert 463
  - 10.5 Autoprotolyse und pH-Wert 467
    - 10.5.1 Stark verdünnte Lösungen von starken Säuren und Basen 467
    - 10.5.2 Stark verdünnte Lösungen von schwachen Säuren 469
    - Was Sie jetzt können sollten 471
    - Übungen 471
    - Weiterführende Übungen 475
  
- 11 Gleichgewichte in wässrigen Lösungen 477**
  - 11.1 Lösungen und Pufferlösungen 478
    - 11.1.1 Die Funktionsweise von Pufferlösungen 478
    - 11.1.2 Das Entwickeln von Puffersystemen 480
    - 11.1.3 Die Pufferkapazität 484
  - 11.2 Titrations 486
    - 11.2.1 Die Titration einer starken Säure mit einer starken Base 486
    - 11.2.2 Die Titration einer starken Säure mit einer schwachen Base und einer schwachen Säure mit einer starken Base 489
    - 11.2.3 Säure-Base-Indikatoren 494
    - 11.2.4 Die Stöchiometrie bei Titrations von mehrwertigen Säuren 497
  - 11.3 Lösungsgleichgewichte 499
    - 11.3.1 Das Löslichkeitsprodukt 500
    - 11.3.2 Der Einfluss gemeinsamer Ionen – der Eigenioneneffekt 502
    - 11.3.3 Wann fällt ein Salz aus? 504
    - 11.3.4 Die selektive Fällung 506
    - 11.3.5 Wie Niederschläge wieder gelöst werden 507
    - 11.3.6 Die Bildung von Komplexionen 508
    - 11.3.7 Die qualitative Analyse 510
    - Was Sie jetzt können sollten 512

Übungen 513  
Weiterführende Übungen 516

## 12 Elektrochemie 519

- 12.1 Redoxreaktionen 520
  - 12.1.1 Die Halbreaktion 520
  - 12.1.2 Wie Redoxgleichungen bilanziert werden 521
- 12.2 Galvanische Zellen 524
  - 12.2.1 Der Aufbau galvanischer Zellen 525
  - 12.2.2 Das Zellpotential und die freie Reaktionsenergie 526
  - 12.2.3 Die Schreibweise elektrochemischer Zellen 529
  - 12.2.4 Das Standardpotential 533
  - 12.2.5 Die elektrochemische Spannungsreihe 538
  - 12.2.6 Das Standardpotential und die Gleichgewichtskonstante 540
  - 12.2.7 Die Nernst'sche Gleichung 542
  - 12.2.8 Ionenselektive Elektroden 544
- 12.3 Elektrolyse 545
  - 12.3.1 Die Elektrolysezelle 545
  - 12.3.2 Die Produkte der Elektrolyse 548
- 12.4 Auswirkungen auf die Materialforschung 551
  - 12.4.1 Anwendungsbeispiele für die Elektrolyse 551
  - 12.4.2 Korrosionsprozesse 552
  - 12.4.3 Elektrochemische Zellen in der Praxis 554
    - Was Sie jetzt können sollten 559
    - Übungen 559
    - Weiterführende Übungen 564

## 13 Die Chemische Kinetik 567

- 13.1 Die Reaktionsgeschwindigkeit 568
  - 13.1.1 Konzentration und Reaktionsgeschwindigkeit 568
  - 13.1.2 Die momentane Geschwindigkeit von Reaktionen 572
  - 13.1.3 Geschwindigkeitsgesetze und Reaktionsordnung 573
- 13.2 Konzentration und Zeit 580
  - 13.2.1 Integriertes Geschwindigkeitsgesetz erster Ordnung 581
  - 13.2.2 Halbwertszeiten für Reaktionen erster Ordnung 585
  - 13.2.3 Integriertes Geschwindigkeitsgesetz zweiter Ordnung 587
- 13.3 Reaktionsmechanismen 588
  - 13.3.1 Elementarreaktionen 588
  - 13.3.2 Geschwindigkeitsgesetze von Elementarreaktionen 590
  - 13.3.3 Kettenreaktionen 595
  - 13.3.4 Reaktionsgeschwindigkeit und Gleichgewicht 597
- 13.4 Reaktionstheorien 598
  - 13.4.1 Der Einfluss der Temperatur 598
  - 13.4.2 Kinetische Stoßtheorie 603
  - 13.4.3 Die Theorie des aktivierten Komplexes 607
- 13.5 Die Beschleunigung von Reaktionen 609
  - 13.5.1 Katalyse 610
  - 13.5.2 Lebende Katalysatoren: Enzyme 614
    - Was Sie jetzt können sollten 616
    - Übungen 617
    - Weiterführende Übungen 622

## 14 Die Elemente: Die ersten vier Hauptgruppen 627

- 14.1 Periodische Tendenzen 628
  - 14.1.1 Atomeigenschaften 628
  - 14.1.2 Bindungstendenzen 630

14.2	Wasserstoff	633
14.2.1	Das Element	633
14.2.2	Verbindungen mit Wasserstoff	635
14.3	Gruppe 1: Die Alkalimetalle	636
14.3.1	Die Elemente der Gruppe 1	637
14.3.2	Chemische Eigenschaften der Alkalimetalle	638
14.3.3	Verbindungen von Lithium, Natrium und Kalium	640
14.4	Gruppe 2: Die Erdalkalimetalle	642
14.4.1	Die Elemente der Gruppe 2	642
14.4.2	Verbindungen von Beryllium und Magnesium	644
14.4.3	Verbindungen von Calcium	646
14.5	Gruppe 13/III: Die Borfamilie	648
14.5.1	Die Elemente der Gruppe 13/III	648
14.5.2	Oxide der Gruppe 13/III	650
14.5.3	Nitride und Halogenide	652
14.5.4	Borane, Borhydride und Boride	653
14.6	Gruppe 14/IV: Die Kohlenstoff-Familie	655
14.6.1	Die Elemente der Gruppe 14/IV	655
14.6.2	Die verschiedenen Formen von Kohlenstoff	656
14.6.3	Silicium, Germanium, Zinn und Blei	660
14.6.4	Oxide von Kohlenstoff	661
14.6.5	Oxide von Silicium: Die Silicate	664
14.6.6	Weitere wichtige Verbindungen der Gruppe 14/IV	667
14.7	Auswirkungen auf die Materialforschung	668
14.7.1	Gläser	668
14.7.2	Keramische Werkstoffe	669
	Was Sie jetzt können sollten	671
	Übungen	671
	Integrierte Übungen	674
<b>15</b>	<b>Die Elemente: Die letzten vier Hauptgruppen</b>	<b>677</b>
15.1	Gruppe 15/V: Die Stickstoff-Familie	678
15.1.1	Die Elemente der Gruppe 15/V	678
15.1.2	Verbindungen mit Wasserstoff und den Halogenen	681
15.1.3	Oxide und Oxosäuren von Stickstoff	683
15.1.4	Oxide und Oxosäuren von Phosphor	685
15.2	Gruppe 16/VI: Die Sauerstoff-Familie	688
15.2.1	Die Elemente der Gruppe 16/VI	688
15.2.2	Verbindungen mit Wasserstoff	691
15.2.3	Oxide und Oxosäuren von Schwefel	694
15.2.4	Schwefelhalogenide	696
15.3	Gruppe 17/VII: Die Halogene	696
15.3.1	Die Elemente der Gruppe 17/VII	697
15.3.2	Verbindungen der Halogene	699
15.4	Gruppe 18/VIII: Die Edelgase	702
15.4.1	Die Elemente der Gruppe 18/VIII	703
15.4.2	Verbindungen der Edelgase	704
15.5	Auswirkungen auf die Materialforschung	705
15.5.1	Weiche Werkstoffe: Kolloide, Gele und Biomaterialien	705
15.5.2	Phosphore und andere Leuchtstoffe	708
	Was Sie jetzt können sollten	710
	Übungen	710
	Weiterführende Übungen	712

- 16 Die Elemente: Der *d*-Block 715**
- 16.1 Die *d*-Blockelemente und ihre Verbindungen 716
    - 16.1.1 Trends der physikalischen Eigenschaften 716
    - 16.1.2 Trends der chemischen Eigenschaften 718
  - 16.2 Ausgewählte Elemente: Ein Überblick 721
    - 16.2.1 Scandium bis Nickel 721
    - 16.2.2 Die Gruppen 11 und 12 725
  - 16.3 Koordinationsverbindungen 730
    - 16.3.1 Koordinationskomplexe 732
    - 16.3.2 Die dreidimensionale Struktur von Komplexen 735
    - 16.3.3 Isomere 736
  - 16.4 Die Elektronenstrukturen von Komplexen 742
    - 16.4.1 Kristallfeldtheorie 742
    - 16.4.2 Die spektrochemische Reihe 745
    - 16.4.3 Die Farben von Komplexen 747
    - 16.4.4 Magnetische Eigenschaften von Komplexen 748
    - 16.4.5 Ligandenfeldtheorie 749
  - 16.5 Auswirkungen auf die Materialforschung 752
    - 16.5.1 Stahl 752
    - 16.5.2 Nichteisenlegierungen 754
    - 16.5.3 Magnetische Stoffe 754
      - Was Sie jetzt können sollten 755
      - Übungen 756
      - Weiterführende Übungen 759
- 17 Kernchemie 761**
- 17.1 Der nukleare Zerfall 761
    - 17.1.1 Der Beweis des spontanen nuklearen Zerfalls 762
    - 17.1.2 Kernreaktionen 764
    - 17.1.3 Die Gesetzmäßigkeiten der Kernstabilität 766
    - 17.1.4 Vorhersage der nuklearen Zerfallsart 768
    - 17.1.5 Nukleosynthese 769
  - 17.2 Radioaktive Strahlung 772
    - 17.2.1 Biologische Wirkungen von Strahlung 773
    - 17.2.2 Messung der Zerfallsgeschwindigkeit 774
    - 17.2.3 Verwendung von Radioisotopen 779
  - 17.3 Kernenergie 780
    - 17.3.1 Masse-Energie-Umwandlung 780
    - 17.3.2 Kernspaltung 783
    - 17.3.3 Kernfusion 786
    - 17.3.4 Chemie der Kernkraft 788
      - Was Sie jetzt können sollten 789
      - Übungen 789
      - Weiterführende Übungen 792
- 18 Organische Chemie I: Die Kohlenwasserstoffe 795**
- 18.1 Aliphatische Kohlenwasserstoffe 796
    - 18.1.1 Arten aliphatischer Kohlenwasserstoffe 796
    - 18.1.2 Isomere 801
    - 18.1.3 Die Eigenschaften von Alkanen 804
    - 18.1.4 Substitutionsreaktionen der Alkane 806
    - 18.1.5 Die Eigenschaften von Alkenen 807
    - 18.1.6 Die elektrophile Addition 809
  - 18.2 Aromatische Verbindungen 810
    - 18.2.1 Die Nomenklatur der Arene 811
    - 18.2.2 Die elektrophile Substitution 811

