

Inhaltsverzeichnis

1	Chemie verstehen – Der Weg zum Ziel	1
1.1	Konzeption und Aufbau dieses Buches	2
1.1.1	Teil I: Chemische Grundbegriffe und physikalische Grundlagen	2
1.1.2	Teil II: Aufbau der Atome, chemische Bindungen und Eigenschaften der Moleküle	3
1.1.3	Teil III: Chemische Reaktionen	4
1.1.4	Teil IV: Die Bedeutung der Chemie für die Biologie	6
1.1.5	Serviceteil	6
1.2	Die Besonderheiten dieses Buches	6
1.2.1	Textbegleitende Buchelemente	6
1.2.2	Freistehende Buchelemente	7
1.2.3	Didaktische Überlegungen zur Darstellung der Inhalte	8
1.3	Noch einige Lerntipps vorweg	9
1.4	Einheiten, Präfixe, Konventionen und Naturkonstanten	10
1.4.1	Basiseinheiten nach dem SI	10
1.4.2	Präfixe	11
1.4.3	Konventionen nach IUPAC und Standards bei Forschungsdaten	13
1.4.4	Naturkonstanten	14
1.4.5	Runden beim Rechnen und signifikante Stellen	14
	Literatur	16

I Chemische Grundbegriffe und physikalische Grundlagen

2	Grundbegriffe der Chemie	21
2.1	Das Periodensystem der Elemente: Kategorisieren, Einteilen, Ordnung im Chaos schaffen	22
2.2	Teilchen – die Bedeutung ergibt sich im Kontext	25
2.3	Chemische Formeln	26
2.4	Die Reaktionsgleichung	27
2.5	Der Unterschied zwischen Menge und Masse	29
2.6	Die Stoffmenge n und die Einheit Mol	30
2.7	Der Unterschied zwischen Masse und Gewicht	31
2.8	Die relative Atommasse A_r, die molare Atommasse A und die molare Molekülmasse M	32
2.9	Masse und Stoffmenge ineinander umrechnen	34
2.10	Stöchiometrisches Rechnen	35
2.11	Zum Stoffbegriff	36
2.12	Stoffmengenkonzentration c, Massenkonzentration β und Volumenkonzentration σ	37
2.13	Volumenanteil φ, Stoffmengenanteil x und Massenanteil w	40
2.14	Aufgaben	44
	Literatur	44

3	Materie und ihre Eigenschaften	47
3.1	Was ist eigentlich Materie?	50
3.2	Die Aggregatzustände	51
3.3	Abhängigkeit des Aggregatzustands von Zustandsvariablen	54
3.3.1	Dichte und Dichteanomalie des Wassers	54
3.3.2	Was ist Wärme? Was ist Temperatur?	55
3.3.3	Temperaturmessung und Temperaturskalen	57
3.3.4	Was ist Druck?	58
3.3.5	Druck und Temperatur sind Mittelwerte der Teilchenbewegung	60
3.4	Normalbedingungen und Standardbedingungen	60
3.5	Übergänge zwischen den Aggregatzuständen und Zustandsdiagramme	61
3.5.1	Der Übergang zwischen den Aggregatzuständen	62
3.5.2	Weitere energetische Aspekte bei der Zustandsänderung	66
3.6	Gase als Ein-Komponenten-Systeme	67
3.6.1	Ideale Gase und reale Gase	67
3.6.2	Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung	68
3.6.3	Die ideale Gasgleichung	69
3.6.4	Zustandsänderungen eines idealen Gases	71
3.6.5	Das Molare Volumen eines idealen Gases	73
3.7	Aufgaben	75
	Literatur	75
4	Stoffgemische und Stofftrennung	77
4.1	Stoffgemische im Überblick	79
4.1.1	Bezeichnungen für Stoffgemische	79
4.2	Mischbarkeit von Stoffen	80
4.2.1	Wechselwirkungen als Grundlage der Mischbarkeit	81
4.2.2	Abhängigkeit der Mischbarkeit von äußeren Bedingungen	82
4.2.3	Diffusion und Konzentrationsgradienten	83
4.2.4	Die Stärke der Wechselwirkungen	86
4.2.5	Dielektrizität	87
4.2.6	Diffusionsgeschwindigkeit	88
4.3	Nicht mischbare Stoffe	89
4.3.1	Der hydrophobe Effekt	90
4.4	Amphiphile Teilchen	91
4.4.1	Proteine sind große, amphiphile Teilchen	92
4.5	Gasgemische	94
4.6	Flüssige Lösungen	95
4.6.1	Wässrige und nichtwässrige Lösungen	96
4.6.2	Löslichkeit von Stoffen (in Wasser) im Überblick	97
4.6.3	Volumenänderung beim Lösen	98
4.6.4	Der Lösungsvorgang bei Salzen und polaren Feststoffen	99
4.6.5	Sättigung und Fällung	100
4.6.6	Osmose und der osmotische Druck	101
4.6.7	Kolligative Eigenschaften von Lösungen	103
4.6.8	Osmolarität und Osmolalität	104
4.7	Löslichkeit von Gasen in Wasser	105

4.7.1	Physikalisches Lösen von Gasen in Wasser	106
4.7.2	Chemisches Lösen von Gasen in Wasser	107
4.8	Aggregatzustandsänderungen bei homogenen Stoffgemischen	108
4.8.1	Dampfdruck einer Lösung – Raoult-Gesetz	109
4.8.2	Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktniedrigung	110
4.8.3	Azeotrope	112
4.9	Stofftrennung	113
4.9.1	Grundprinzipien der Stofftrennung	114
4.9.2	Stofftrennung im biologischen Laboralltag	114
4.10	Aufgaben	119
	Literatur	120

II Aufbau der Atome, chemische Bindungen und Eigenschaften der Moleküle

5	Aufbau der Atome	123
5.1	Das Elektron und die Atomhülle	124
5.1.1	Das Atommodell nach Rutherford	125
5.1.2	Das Atommodell nach Bohr	126
5.1.3	Welle-Teilchen-Dualismus	130
5.1.4	Die Heisenberg'sche Unschärferelation	131
5.1.5	Die Schrödinger-Gleichung	131
5.2	Das Atomorbitalmodell	132
5.2.1	Der Quantenzustand von Elektronen	133
5.2.2	Die Atomorbitale	134
5.2.3	Orbitalnäherung und die Energieniveaus der Orbitale	139
5.2.4	Pauli-Prinzip, Hund'sche Regel und das Aufbauprinzip	141
5.2.5	Atomorbitale und das Periodensystem der Elemente	143
5.2.6	Elektronenwolke, Valenzschalen und Valenzelektronen	144
5.3	Aufgaben	147
	Literatur	148
6	Chemische Bindungen	149
6.1	Ionenbindungen	152
6.1.1	Einstieg in das Konzept der Ionenbindung	152
6.1.2	Effektive Kernladung	154
6.1.3	Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität	156
6.1.4	Kristallstrukturen und Gitterenergie	160
6.1.5	Mehratomige Ionen und wichtige Beispiele	162
6.2	Kovalente Bindungen	164
6.2.1	Einstieg in das Konzept der kovalenten Bindung	164
6.2.2	Mehrfachbindungen	165
6.2.3	Elektronegativität	166
6.2.4	Zwischen kovalent und ionisch – polarisierte Bindungen	167
6.2.5	Atomradien: Ionenradius, Kovalenzradius und Van-der-Waals-Radius	169
6.3	Lewis-Schreibweise und Valenzstrichschreibweise für chemische Verbindungen ...	170

6.3.1	Die Oktettregel	172
6.3.2	Molekül-Ionen und Formalladungen	172
6.3.3	Mesomerie und Grenzstrukturen	174
6.3.4	Hypervalenz bzw. Hyperkoordination	176
6.3.5	Radikale	176
6.3.6	Valenzstrichformeln herleiten	178
6.4	Wasserstoffbrückenbindungen	180
6.5	Van-der-Waals-Wechselwirkungen	181
6.6	Metallbindung	182
6.7	Komplexbindung	183
6.8	Aufgaben	184
	Literatur	185
7	Struktur von Molekülen	187
7.1	Grundlagen: Geometrische Figuren	188
7.2	Molekülorbitale	189
7.2.1	Kombination von Atomorbitalen (AOs) zu Molekülorbitalen (MOs)	190
7.2.2	Kombination von s-Orbitalen zu Molekülorbitalen	191
7.2.3	Kombination von p-Orbitalen zu Molekülorbitalen	194
7.3	Orbitalhybridisierung	196
7.4	VSEPR-Theorie	199
7.4.1	Komplexere Anordnungen in anorganischen Molekülen	200
7.5	Dipole	202
7.6	Einfach-, Doppel- und Dreifachbindungen	205
7.6.1	Strukturen von Ethan und Ethen im Vergleich	205
7.6.2	Bindungslängen	207
7.6.3	Elektronendelokalisierung	207
7.6.4	Konjugierte Doppelbindungen	210
7.6.5	Aromatische Verbindungen	211
7.6.6	Flexibilität und Vielfalt der Strukturen	212
7.7	Isomerie	213
7.7.1	Konstitutionsisomerie	213
7.7.2	Stereoisomerie	214
7.8	Aufgaben	217
	Literatur	218
8	Zusammenhang zwischen Aufbau und Eigenschaften chemischer Verbindungen – anorganische und organische Stoffgruppen	219
8.1	Unüberschaubare Vielfalt verstehen lernen	221
8.2	Wasser – das Molekül des Lebens	222
8.3	Metall-Nichtmetall-Verbindungen	223
8.3.1	Salze	223
8.3.2	Eigenschaften kristalliner Salze	224
8.3.3	Wasserlöslichkeit von Ionenkristallen	225
8.3.4	Metalloxide und Metallhydride	226
8.4	Kohlenwasserstoffe	226
8.4.1	Homologe Reihe der Alkane	227

8.4.2	Alkene	229
8.4.3	Verzweigte Kohlenwasserstoffe und Nomenklatur	230
8.5	Alkohole	233
8.5.1	Der hydrophobe Effekt – noch einmal betrachtet	234
8.6	Carbonylverbindungen	235
8.6.1	Aldehyde	236
8.6.2	Ketone	236
8.6.3	Elektronenstruktur der Aldehyde und Ketone	236
8.6.4	Carboxylverbindungen	238
8.6.5	Fettsäuren	240
8.7	Amine und Amide	241
8.7.1	Aminosäuren	242
8.8	Halogenide	244
8.9	Aufgaben	246
	Literatur	247
9	Die wichtigsten bioorganischen Moleküle	249
9.1	Bioorganische (Makro-)Moleküle – ein Überblick	251
9.2	Proteine	253
9.2.1	Die Peptidbindung zwischen Aminosäuren	254
9.2.2	Aufbau der Proteine aus Aminosäuren	255
9.2.3	Sekundärstrukturen im Detail: α -Helix und β -Faltblatt	257
9.2.4	Die komplexe Faltung von Proteinen	258
9.2.5	Dynamik und Konformationsänderung von Proteinen	259
9.2.6	Nicht proteinbildende Peptide mit anderen Funktionen	261
9.3	Lipide	262
9.3.1	Triacylglyceride (Fette und Öle)	262
9.3.2	Phosphoglyceride und Sphingolipide	264
9.3.3	Terpene (Carotinoide)	266
9.3.4	Steroide (Cholesterin)	268
9.4	Kohlenhydrate	269
9.4.1	Monosaccharide – die kleinsten Baueinheiten der Kohlenhydrate	270
9.4.2	Monosaccharide liegen oft als Ring vor	272
9.4.3	Die vielfältigen Isomere der Monosaccharide	274
9.4.4	Durch Verknüpfung von Monosacchariden entstehen Oligo- und Polysaccharide	278
9.5	Nukleinsäuren	283
9.5.1	Nukleotide sind die kleinste Einheit der Nukleinsäuren	284
9.5.2	Zwei antiparallele Nukleotidketten bilden eine DNA-Doppelhelix	288
9.5.3	Die RNA – ein vielgestaltiges Nukleotidpolymer	292
9.6	Aufgaben	296
	Literatur	297

III Chemische Reaktionen

10	Chemische Reaktionen im Überblick	301
10.1	Reaktionsschemata und Reaktionsgleichungen	303

10.1.1	Reaktionsbedingungen	304
10.1.2	Phasensymbole	304
10.2	Stöchiometrie	304
10.2.1	Stöchiometrisches Ausgleichen	305
10.2.2	Stöchiometrisches Berechnen	306
10.3	Weitere wichtige Begriffe zu Reaktionen	307
10.3.1	Exotherme und endotherme Reaktionen	307
10.3.2	Synthese versus Darstellung	307
10.4	Das chemische Gleichgewicht	307
10.4.1	Hin- und Rückreaktion	307
10.4.2	Einstellung des chemischen Gleichgewichts	308
10.5	Das Prinzip des kleinsten Zwanges	312
10.5.1	Das chemische Gleichgewicht als Teil des Zustands eines Systems	312
10.5.2	Abhängigkeit des Gleichgewichts vom Druck	312
10.5.3	Abhängigkeit des Gleichgewichts von der Temperatur	314
10.5.4	Abhängigkeit des Gleichgewichts von der Stoffmengenkonzentration	315
10.5.5	Übungen zum Prinzip des kleinsten Zwanges	315
10.6	Katalysatoren und Gleichgewichte	317
10.7	Homogene und heterogene Gleichgewichte, Ergänzung zum Gleichgewichtspfeil ..	318
10.8	Quantitative Aspekte des chemischen Gleichgewichts: das Massenwirkungsgesetz	319
10.8.1	Das MWG in homogenen Gleichgewichten	319
10.8.2	Umrechnung von K_c in K_p	321
10.8.3	Das MWG in heterogenen Gleichgewichten	322
10.8.4	Vorhersagen von Gleichgewichtskonzentrationen	323
10.8.5	Gleichgewichte können gekoppelt sein	325
10.8.6	Löslichkeit von Salzen	325
10.9	Aufgaben	328
	Literatur	329
11	Energieumsatz chemischer Reaktionen	331
11.1	Chemische Reaktionen und Energie	333
11.1.1	Was ist Energie?	335
11.1.2	Umwandlung von Energie	338
11.2	Wärmeenergie bei chemischen Reaktionen	339
11.2.1	Die innere Energie	340
11.2.2	Die Enthalpie	343
11.2.3	Die Reaktionsenthalpie	345
11.2.4	Die Bildungsenthalpie	346
11.2.5	Die Lösungsenthalpie	348
11.2.6	Die Enthalpie chemischer Bindungen	349
11.2.7	Der Satz von Hess und der Born-Haber-Kreisprozess	351
11.2.8	Enthalpiekreisprozess für den Lösungsvorgang ionischer Verbindungen	353
11.2.9	Kovalente Bindungen und Enthalpieänderungen	354
11.3	Die Entropie	356
11.3.1	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	356
11.3.2	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	358
11.4	Die freie Enthalpie	361
11.4.1	Gibbs-Energie und freie Reaktionsenthalpie	361

11.4.2	Biologische Bedeutung der freien Reaktionsenthalpie	362
11.5	Aufgaben	365
	Literatur	366
12	Geschwindigkeit chemischer Reaktionen	367
12.1	Die Reaktionsgeschwindigkeit	368
12.2	Die Stoßtheorie	372
12.3	Reaktionsgeschwindigkeit und Energie	373
12.3.1	Reaktionsprofil und Aktivierungsenergie	373
12.3.2	Die Reaktionsgeschwindigkeit ist temperaturabhängig	374
12.3.3	Katalyse	376
12.4	Die Reaktionsordnung	378
12.5	Enzymkinetik	382
12.5.1	Die UV/Vis-Spektralphotometrie	382
12.5.2	Das Lambert-Beer'sche Gesetz	384
12.5.3	Die Methode der Anfangsgeschwindigkeit	385
12.5.4	Die Michaelis-Konstante	388
12.5.5	Enzyme und Temperatur	391
12.6	Aufgaben	392
	Literatur	393
13	Säuren und Basen	395
13.1	Säure/Base-Konzepte und die pH-Skala	397
13.1.1	Das Säure/Base-Konzept nach Arrhenius	397
13.1.2	Die pH-Skala	398
13.1.3	Das Brønsted-Lowry-Konzept	401
13.2	Säuren und Basen unterschiedlicher Stärke	403
13.2.1	Säuren unterschiedlicher Stärke	404
13.2.2	Basen unterschiedlicher Stärke	405
13.2.3	Neutralisation zwischen starken Säuren und starken Basen	405
13.3	Beschreibung von Säure/Base-Gleichgewichten in wässriger Lösung	406
13.3.1	pK_s -Wert einer Säure	406
13.3.2	pK_b -Wert einer Base	407
13.4	Berechnung von pH-Werten	408
13.4.1	pH-Werte von Lösungen sehr starker Säuren und Basen	408
13.4.2	pH-Werte von Lösungen schwacher Säuren und Basen	409
13.5	Säure/Base-Titration	410
13.5.1	Titration einer sehr starken Säure	412
13.5.2	Titration einer mittelstarken (auch schwachen) Säure und Pufferlösungen	414
13.5.3	Pufferlösungen	418
13.5.4	pH-Wert mehrprotoniger Säuren	420
13.6	Molekülbau und Säurestärke	421
13.6.1	Binäre Wasserstoffverbindungen der Nichtmetalle	421
13.6.2	Oxosäuren	422
13.6.3	Mehrprotonige Säuren	423
13.6.4	Organische Säuren	424
13.7	Weitere Säure/Base-Konzepte	426

13.7.1	Das Säure/Base-Konzept nach Lewis	426
13.7.2	Das Säure/Base-Konzept nach Pearson	427
13.8	Aufgaben	429
	Literatur	429
14	Redox-Reaktionen und Elektrochemie	431
14.1	Oxidationszahlen	434
14.1.1	Die Oxidationsstufe	435
14.1.2	Bestimmung von Oxidationszahlen anhand der Lewis-Formeln	436
14.1.3	Bestimmung der Oxidationszahlen mithilfe fester Regeln	437
14.1.4	Trends der Oxidationsstufen im PSE	441
14.2	Redox-Reaktionen und Redox-Gleichungen	444
14.2.1	Redox-Reaktionen in saurem Milieu	447
14.2.2	Redox-Reaktionen in alkalischem Milieu	450
14.2.3	Disproportionierung und Komproportionierung	451
14.3	Elektrochemie und Energie	452
14.3.1	Galvanische Zellen	452
14.3.2	Das elektrochemische Potenzial	454
14.3.3	Elektrodenpotenzial und Spannungsreihe	456
14.3.4	Die Nernst-Gleichung	458
14.3.5	Freie Enthalpie bei Redox-Reaktionen	461
14.3.6	Elektrolyse	464
14.4	Aufgaben	466
	Literatur	466

IV Die Bedeutung der Chemie für die Biologie

15	Das biologische Abschlusskapitel	469
15.1	Beispiel 1: Die Funktion einer Nervenzelle	470
15.1.1	Der Aufbau einer Nervenzelle	470
15.1.2	Das Membranpotenzial	472
15.1.3	Das Aktionspotenzial	476
15.2	Beispiel 2: Die Erforschung neuer Wirkstoffe zur Behandlung von Krankheiten	477
15.2.1	Inhibitoren von Enzymen am Beispiel des Proteasom-Komplexes	477
15.2.2	Strukturbasierte Entwicklung neuer Wirkstoffe	479
15.3	Beispiel 3: Kältetoleranz bei Pflanzen und wechselwarmen Tieren	482
15.3.1	Die Gefahr des zellulären Gefrierens	482
15.3.2	Drei Strategien für den Umgang mit Stress	483
15.3.3	Gefriertoleranz und <i>Supercooling</i>	484
15.4	Beispiel 4: Biochemische Energiegewinnung durch Zellatmung	486
15.4.1	Die Reduktionsäquivalente $\text{NADH} + \text{H}^+$ und FADH_2	487
15.4.2	Die Glycolyse	489
15.4.3	Pyruvatoxidation und Citratzyklus	490
15.4.4	Die Atmungskette	490
15.5	Fazit und Schlussbemerkung	492
	Literatur	492

16	Lösungen der Übungsaufgaben	495
16.1	▶ Kap. 2	496
16.2	▶ Kap. 3	497
16.3	▶ Kap. 4	498
16.4	▶ Kap. 5	499
16.5	▶ Kap. 6	500
16.6	▶ Kap. 7	501
16.7	▶ Kap. 8	502
16.8	▶ Kap. 9	503
16.9	▶ Kap. 10	504
16.10	▶ Kap. 11	505
16.11	▶ Kap. 12	505
16.12	▶ Kap. 13	506
16.13	▶ Kap. 14	506
	 Serviceteil	
	Appendix	510
	Stichwortverzeichnis	513