

## Inhaltsverzeichnis

1	<b>Chemie verstehen – Der Weg zum Ziel</b> .....	1
1.1	<b>Konzeption und Aufbau dieses Buches</b> .....	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	<b>Die Besonderheiten dieses Buches</b> .....	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	<b>Noch einige Lerntipps vorweg</b> .....	9
1.4	<b>Einheiten, Präfixe, Konventionen und Naturkonstanten</b> .....	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	<b>Grundbegriffe der Chemie</b> .....	21
2.1	<b>Das Periodensystem der Elemente: Kategorisieren, Einteilen, Ordnung im Chaos schaffen</b> .....	22
2.2	<b>Teilchen – die Bedeutung ergibt sich im Kontext</b> .....	25
2.3	<b>Chemische Formeln</b> .....	26
2.4	<b>Die Reaktionsgleichung</b> .....	27
2.5	<b>Der Unterschied zwischen Menge und Masse</b> .....	29
2.6	<b>Die Stoffmenge <math>n</math> und die Einheit Mol</b> .....	30
2.7	<b>Der Unterschied zwischen Masse und Gewicht</b> .....	31
2.8	<b>Die relative Atommasse <math>A_r</math>, die molare Atommasse <math>A</math> und die molare Molekülmasse <math>M</math></b> .....	32
2.9	<b>Masse und Stoffmenge ineinander umrechnen</b> .....	34
2.10	<b>Stöchiometrisches Rechnen</b> .....	35
2.11	<b>Zum Stoffbegriff</b> .....	36
2.12	<b>Stoffmengenkonzentration <math>c</math>, Massenkonzentration <math>\beta</math> und Volumenkonzentration <math>\sigma</math></b> .....	37
2.13	<b>Volumenanteil <math>\varphi</math>, Stoffmengenanteil <math>x</math> und Massenanteil <math>w</math></b> .....	40
2.14	<b>Aufgaben</b> .....	44
	Literatur .....	44

3	<b>Materie und ihre Eigenschaften</b> .....	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	<b>Stoffgemische und Stofftrennung</b> .....	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	<b>Aggregatzustandsänderungen bei homogenen Stoffgemischen</b> .....	108
4.8.1	Dampfdruck einer Lösung – Raoult-Gesetz .....	109
4.8.2	Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktniedrigung .....	110
4.8.3	Azeotrope.....	112
4.9	<b>Stofftrennung</b> .....	113
4.9.1	Grundprinzipien der Stofftrennung .....	114
4.9.2	Stofftrennung im biologischen Laboralltag.....	114
4.10	<b>Aufgaben</b> .....	119
	Literatur .....	120

## II Aufbau der Atome, chemische Bindungen und Eigenschaften der Moleküle

5	<b>Aufbau der Atome</b> .....	123
5.1	<b>Das Elektron und die Atomhülle</b> .....	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	<b>Das Atomorbitalmodell</b> .....	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	<b>Aufgaben</b> .....	147
	Literatur .....	148
6	<b>Chemische Bindungen</b> .....	149
6.1	<b>Ionenbindungen</b> .....	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	<b>Kovalente Bindungen</b> .....	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	<b>Lewis-Schreibweise und Valenzstrichschreibweise für chemische Verbindungen</b> ...	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	<b>Wasserstoffbrückenbindungen</b>	180
6.5	<b>Van-der-Waals-Wechselwirkungen</b>	181
6.6	<b>Metallbindung</b>	182
6.7	<b>Komplexbindung</b>	183
6.8	<b>Aufgaben</b>	184
	Literatur	185
7	<b>Struktur von Molekülen</b>	187
7.1	<b>Grundlagen: Geometrische Figuren</b>	188
7.2	<b>Molekülorbitale</b>	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	<b>Orbitalhybridisierung</b>	196
7.4	<b>VSEPR-Theorie</b>	199
7.4.1	Komplexere Anordnungen in anorganischen Molekülen	200
7.5	<b>Dipole</b>	202
7.6	<b>Einfach-, Doppel- und Dreifachbindungen</b>	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	<b>Isomerie</b>	213
7.7.1	Konstitutionsisomerie	213
7.7.2	Stereoisomerie	214
7.8	<b>Aufgaben</b>	217
	Literatur	218
8	<b>Zusammenhang zwischen Aufbau und Eigenschaften chemischer Verbindungen – anorganische und organische Stoffgruppen</b>	219
8.1	<b>Unüberschaubare Vielfalt verstehen lernen</b>	221
8.2	<b>Wasser – das Molekül des Lebens</b>	222
8.3	<b>Metall-Nichtmetall-Verbindungen</b>	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	<b>Kohlenwasserstoffe</b>	226
8.4.1	Homologe Reihe der Alkane	227

8.4.2	Alkene .....	229
8.4.3	Verzweigte Kohlenwasserstoffe und Nomenklatur .....	230
8.5	<b>Alkohole</b> .....	233
8.5.1	Der hydrophobe Effekt – noch einmal betrachtet .....	234
8.6	<b>Carbonylverbindungen</b> .....	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	<b>Amine und Amide</b> .....	241
8.7.1	Aminosäuren .....	242
8.8	<b>Halogenide</b> .....	244
8.9	<b>Aufgaben</b> .....	246
	Literatur .....	247
9	<b>Die wichtigsten bioorganischen Moleküle</b> .....	249
9.1	<b>Bioorganische (Makro-)Moleküle – ein Überblick</b> .....	251
9.2	<b>Proteine</b> .....	253
9.2.1	Die Peptidbindung zwischen Aminosäuren .....	254
9.2.2	Aufbau der Proteine aus Aminosäuren .....	255
9.2.3	Sekundärstrukturen im Detail: $\alpha$ -Helix und $\beta$ -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	<b>Lipide</b> .....	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	<b>Kohlenhydrate</b> .....	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	<b>Nukleinsäuren</b> .....	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	<b>Aufgaben</b> .....	296
	Literatur .....	297
<b>III Chemische Reaktionen</b>		
10	<b>Chemische Reaktionen im Überblick</b> .....	301
10.1	<b>Reaktionsschemata und Reaktionsgleichungen</b> .....	303

10.1.1	Reaktionsbedingungen.....	304
10.1.2	Phasensymbole .....	304
10.2	<b>Stöchiometrie</b> .....	304
10.2.1	Stöchiometrisches Ausgleichen .....	305
10.2.2	Stöchiometrisches Berechnen .....	306
10.3	<b>Weitere wichtige Begriffe zu Reaktionen</b> .....	307
10.3.1	Exotherme und endotherme Reaktionen .....	307
10.3.2	Synthese versus Darstellung .....	307
10.4	<b>Das chemische Gleichgewicht</b> .....	307
10.4.1	Hin- und Rückreaktion .....	307
10.4.2	Einstellung des chemischen Gleichgewichts.....	308
10.5	<b>Das Prinzip des kleinsten Zwanges</b> .....	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	<b>Katalysatoren und Gleichgewichte</b> .....	317
10.7	<b>Homogene und heterogene Gleichgewichte, Ergänzung zum Gleichgewichtspfeil</b> .	318
10.8	<b>Quantitative Aspekte des chemischen Gleichgewichts: das Massenwirkungsgesetz</b>	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	<b>Aufgaben</b> .....	328
	Literatur .....	329
11	<b>Energieumsatz chemischer Reaktionen</b> .....	331
11.1	<b>Chemische Reaktionen und Energie</b> .....	333
11.1.1	Was ist Energie? .....	335
11.1.2	Umwandlung von Energie .....	338
11.2	<b>Wärmeenergie bei chemischen Reaktionen</b> .....	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	Enthalpiefreisprozess für den Lösungsvorgang ionischer Verbindungen .....	353
11.2.9	Kovalente Bindungen und Enthalpieänderungen .....	354
11.3	<b>Die Entropie</b> .....	356
11.3.1	Erster Hauptsatz der Thermodynamik .....	356
11.3.2	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik .....	358
11.4	<b>Die freie Enthalpie</b> .....	361
11.4.1	Gibbs-Energie und freie Reaktionsenthalpie .....	361

11.4.2	Biologische Bedeutung der freien Reaktionsenthalpie .....	362
11.5	<b>Aufgaben</b> .....	365
	Literatur .....	366
12	<b>Geschwindigkeit chemischer Reaktionen</b> .....	367
12.1	<b>Die Reaktionsgeschwindigkeit</b> .....	368
12.2	<b>Die Stoßtheorie</b> .....	372
12.3	<b>Reaktionsgeschwindigkeit und Energie</b> .....	373
12.3.1	Reaktionsprofil und Aktivierungsenergie .....	373
12.3.2	Die Reaktionsgeschwindigkeit ist temperaturabhängig .....	374
12.3.3	Katalyse .....	376
12.4	<b>Die Reaktionsordnung</b> .....	378
12.5	<b>Enzymkinetik</b> .....	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	<b>Aufgaben</b> .....	392
	Literatur .....	393
13	<b>Säuren und Basen</b> .....	395
13.1	<b>Säure/Base-Konzepte und die pH-Skala</b> .....	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	<b>Säuren und Basen unterschiedlicher Stärke</b> .....	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	<b>Beschreibung von Säure/Base-Gleichgewichten in wässriger Lösung</b> .....	406
13.3.1	$pK_s$ -Wert einer Säure .....	406
13.3.2	$pK_b$ -Wert einer Base .....	407
13.4	<b>Berechnung von pH-Werten</b> .....	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	<b>Säure/Base-Titration</b> .....	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	<b>Molekülbau und Säurestärke</b> .....	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	<b>Weitere Säure/Base-Konzepte</b> .....	426

13.7.1	Das Säure/Base-Konzept nach Lewis .....	426
13.7.2	Das Säure/Base-Konzept nach Pearson .....	427
13.8	<b>Aufgaben</b> .....	429
	Literatur .....	429
14	<b>Redox-Reaktionen und Elektrochemie</b> .....	431
14.1	<b>Oxidationszahlen</b> .....	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	<b>Redox-Reaktionen und Redox-Gleichungen</b> .....	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	<b>Elektrochemie und Energie</b> .....	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	<b>Aufgaben</b> .....	466
	Literatur .....	466

## IV Die Bedeutung der Chemie für die Biologie

15	<b>Das biologische Abschlusskapitel</b> .....	469
15.1	<b>Beispiel 1: Die Funktion einer Nervenzelle</b> .....	470
15.1.1	Der Aufbau einer Nervenzelle .....	470
15.1.2	Das Membranpotenzial .....	472
15.1.3	Das Aktionspotenzial .....	476
15.2	<b>Beispiel 2: Die Erforschung neuer Wirkstoffe zur Behandlung von Krankheiten</b> .....	477
15.2.1	Inhibitoren von Enzymen am Beispiel des Proteasom-Komplexes .....	477
15.2.2	Strukturbasierte Entwicklung neuer Wirkstoffe .....	479
15.3	<b>Beispiel 3: Kältetoleranz bei Pflanzen und wechselwarmen Tieren</b> .....	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	<b>Beispiel 4: Biochemische Energiegewinnung durch Zellatmung</b> .....	486
15.4.1	Die Reduktionsäquivalente $\text{NADH} + \text{H}^+$ und $\text{FADH}_2$ .....	487
15.4.2	Die Glycolyse .....	489
15.4.3	Pyruvatoxidation und Citratzyklus .....	490
15.4.4	Die Atmungskette .....	490
15.5	<b>Fazit und Schlussbemerkung</b> .....	492
	Literatur .....	492

16	<b>Lösungen der Übungsaufgaben</b> .....	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
	<b>Serviceteil</b>	
	Appendix .....	510
	Stichwortverzeichnis .....	513