



Jörg Martin

Allgemeine und Pharmazeutische Chemie

Ein Lehr- und Arbeitsbuch für PTA

2. AUFLAGE

WVG

Wissenschaftliche
Verlagsgesellschaft
Stuttgart

Martin

Allgemeine und Pharmazeutische Chemie

Jörg Martin

Allgemeine und Pharmazeutische Chemie

Ein Lehr- und Arbeitsbuch für PTA

von Dr. Jörg Martin, Ulm

Mit 107 Abbildungen und 41 Tabellen

WVVG

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
Stuttgart

Der Autor

Dr. Jörg Martin

Schillerstraße 2/1
89077 Ulm



Studium der Pharmazie in Erlangen, Promotion mit Assistententätigkeit Biochemie in Tübingen. Ausbildung mit Referendariat für das höhere Lehramt an beruflichen Schulen mit den Fächern Pharmazie, Chemie und Biologie. Fachleiter für die Ausbildung von Referendaren der Fächer Pharmazie und Chemie am Staatlichen Seminar für Schulpädagogik Ravensburg/Weingarten. Dozent und Professor an der Fachhochschule und den Berufskollegs für medizinisch-naturwissenschaftliche Berufe in Isny. Fachberater für Chemie, Ernährungslehre und Gesundheit für das Oberschulamt Tübingen – Lehrtätigkeit am Ernährungswissenschaftlichen Gymnasium und der Berufsfachschule für Altenpflege an der Valckenburgschule in Ulm.

Die in diesem Werk aufgeführten Angaben wurden sorgfältig geprüft. Dennoch können der Autor und der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit der Angaben übernehmen.

Ein Markenzeichen kann warenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt. Patentrechtliche Einschränkungen sind zu beachten.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzung, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

ISBN 978-3-8047-2881-3

© 2013 Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart
www.wissenschaftliche-verlagsgesellschaft.de

Printed in Germany

Satz: primustype Hurler GmbH, Notzingen

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin unter Verwendung eines Fotos von Jan Felber/fotolia

Vorwort zur 2. Auflage

Für einen Fachbuchautor ist es stets eine Freude und Genugtuung, mit einem neuen Werk den Kreis der Adressaten, hier die Pharmazeutisch-technischen Assistenten und ihre Fachlehrer, in einem theoretischen Unterrichtsfach auf nachhaltige Weise wirklich „getroffen“ zu haben. Dass dies der Fall ist, zeigt das Erscheinen der vorliegenden 2. Auflage. Zunächst danke ich allen Kolleginnen und Kollegen, die mit konstruktiver Kritik und sachkundigen Ratschlägen zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben.

Mit dieser 2. Auflage wurde es erforderlich, alle Änderungen einzuarbeiten, die sich durch die Änderungen im Europäischen Arzneibuch bis zum 1. Nachtrag der 7. Ausgabe ergeben haben. Die starke methodische Orientierung am Arzneibuch hat sich in der Unterrichtspraxis bewährt, wurde beibehalten und gegebenenfalls optimiert. So erfolgte eine übersichtlichere Gestaltung der Beispiele von Monographien, z. B. Resorcin, durch stärkere Anlehnung an den entsprechenden Aufbau im Europäischen Arzneibuch (Ph. Eur.). Sorgfältig wurde auch darauf geachtet, dass für lehrbuchrelevante Stoffe, die auch im Ph. Eur. zu finden sind, eine Kennzeichnung mit nachgestelltem M und/oder R erfolgte. Fachlich komplizierte und oft sehr lang formulierte Erklärungen ließen sich verkürzen und vereinfachen. Auch konnte eine ganze Reihe von Abbildungen anschaulicher gestaltet und optimiert werden.

Durch ein benutzergerechteres Layout gestaltete die Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart das vorliegende Fachbuch übersichtlicher und handlicher. Dafür und für die stets vertrauensvolle Zusammenarbeit sei insbesondere Herrn Dr. Kersebohm und Herrn Dr. Scholz gedankt. Bei Frau Silvia Rädlein bedanke ich mich für das sorgfältige Lektorat.

Ulm, im Herbst 2012

Dr. Jörg Martin

Vorwort zur 1. Auflage

Das vorliegende Werk ist als Lehr- und Arbeitsbuch für die Ausbildung von pharmazeutisch-technischen Assistenten im theoretischen Unterrichtsfach „Allgemeine und pharmazeutische Chemie“ konzipiert und soll die Schüler sicher durch das zunächst unübersichtlich und riesig erscheinende Stoffgebiet führen. Aus diesem Anspruch ergibt sich eine Eingrenzung, die eine Ausgestaltung als umfassendes Nachschlagewerk ausschließt. Bei dem Problem der Stoffauswahl, Stoffeingrenzung und didaktischen Reduktion habe ich immer wieder versucht, mir die Frage zu stellen: Brauchen die Lernenden/die PTAs die betreffenden Lerninhalte wirklich, um weitere Inhalte zu verstehen und ein strukturiertes Bild von der pharmazeutischen Chemie zu erhalten und dies gemäß einer Stundentafel mit nur 200 zur Verfügung stehenden Unterrichtsstunden? Um dem Anspruch einer unbedingt notwendigen Stoffeingrenzung gerecht zu werden, wird deswegen wiederholt auf übergeordnete Gesichtspunkte verwiesen, die ein vernetztes Wissen erzeugen sollen, z. B. auf den Zusammenhang zwischen der Struktur einer Verbindung und ihren Eigenschaften.

Grundlage für die Auswahl, Eingrenzung und Gliederung der Lerninhalte waren maßgeblich der Lehrplan von Baden-Württemberg, eigene Unterrichtserfahrungen, Empfehlungen und Ratschläge von Fachkolleginnen und -kollegen zahlreicher PTA-Schulen. Eine wesentliche Hilfe war mir dabei eine gezielte Fragebogenaktion unter diesen Kolleginnen und Kollegen. Ein exemplarisches Vorgehen, die Auswahl von Beispielen mit Berechnungen – dies wo sinnvoll und möglich mit Bezug zum Europäischen Arzneibuch – und der Einbau von Elementen handlungsorientierter Themenbearbeitung sind einige Gesichtspunkte, die bei der Arbeit an dem vorliegenden Werk im Mittelpunkt standen. Der Umfang des Buches ist nicht durch die Stofffülle, sondern durch die Konzeption bedingt. Es erübrigt sich damit auch ein zugehöriger Lehrerband mit Lösungen zu den Fragen und Übungen. Dem Fachlehrer bleibt es überlassen zu entscheiden, wo er über den Lehrplan hinaus weiter vertiefen möchte. Eine „methodisch-didaktische Einführung in das Arbeiten mit diesem Buch“ soll Schüler und Lehrer im Anschluss an das Vorwort mit meinen Absichten vertraut machen und einen Überblick vermitteln.

Ein Werk wie das vorliegende Lehr- und Arbeitsbuch kann stets nur als Gemeinschaftsarbeit gelingen. Ich bin deswegen zahlreichen ideellen Mitarbeitern zu großem Dank verpflichtet. Für den fachlichen und methodisch-didaktischen Bereich danke ich zunächst allen Kolleginnen und Kollegen von PTA-Schulen – stellvertretend Frau Apothekerin Dr. Karla Seitz –, die sich an meiner Fragebogenaktion beteiligt und mich zum Schreiben dieses Fachbuchs ermutigt haben. In zahlreichen Fachgesprächen und in dem Ringen um die passende Auswahl, Reduktion und Formulierung standen mir Herr Studiendirektor Anton Beck, Herr Apotheker Dr. Horst Guth, Herr Oberstudienrat Dr. Klaus Reibisch, Herr Prof. Dr. Raimund Schäble und Frau Oberstudienrätin Beate Scheffold hilfreich beratend zur Seite. Ihnen sei besonders herzlich gedankt.

Die besten Ideen und Manuskripte für ein Lehrbuch nutzen nichts, wenn sie nicht professionell in die Realität eines ansprechenden, handlichen Buchs umgesetzt werden. Für die Realisierung danke ich der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft Stuttgart, insbesondere gilt mein Dank Frau Dr. Reiber und Herrn Dr. Scholz für die stets gute Zusammenarbeit.

Ulm, im Frühjahr 2006

Dr. Jörg Martin

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Methodisch-didaktische Einführung	XXI
Abkürzungsverzeichnis	XXIII

A

Allgemeine Chemie

1	Einführung in die Arbeits- und Aufgabengebiete der Chemie	2
2	Chemische Grundbegriffe als angleichende Wiederholung	6
2.1	Chemische Grundbegriffe	6
2.1.1	Chemische und physikalische Vorgänge	6
2.1.2	Stoffbegriff	6
2.1.3	Eigenschaften von Stoffen	7
2.1.4	Analyse und Synthese von Stoffen	8
2.1.5	Trennung von Stoffgemischen	10
2.1.6	Element und Verbindung	10
2.1.7	Teilchenmodell	10
2.1.8	Atom und Molekül	11
2.1.9	Massenangaben in der Chemie: Molekül- und Verhältnisformeln	12
2.2	Merkmale von chemischen Reaktionen	16
2.2.1	Reaktionsgleichung	17
2.2.2	Stoffumsatz	17
2.2.3	Energieumsatz bei chemischen Reaktionen	18
3	Atombau	21
3.1	Merkmale und Probleme von Modellen	21
3.2	Ladungen	21
3.2.1	Verhalten von Ladungen zueinander	22
3.2.2	Beweglichkeit von Ladungen	22
3.3	Atom	23
3.4	Anordnung der Elementarteilchen im Atom	24
3.4.1	Atomkern	24
3.4.2	Elektronenhülle	26
3.5	Radioaktivität	30
4	Periodensystem der Elemente	32
4.1	Kurzer geschichtlicher Rückblick	32

4.2	Aufbau und Gliederung des Periodensystems der Elemente	32
4.2.1	Perioden.....	32
4.2.2	Hauptgruppen.....	33
4.2.3	Nebengruppen- oder Übergangselemente.....	33
4.3	Aussagen des Periodensystems der Elemente	35
4.3.1	Atomradien	35
4.3.2	Ionenradien	36
4.3.3	Ionisierungsenergie	36
4.3.4	Bindigkeit.....	37
4.3.5	Elektronegativität	37
4.3.6	Metallischer Charakter der Elemente	38
4.4	Periodensystem der Elemente und Ionenbildung	38
5	Chemische Bindung	41
5.1	Ionenbindung	41
5.1.1	Ionenbildung durch Elektronenübergänge	42
5.1.2	Ionenbindung und Ionenverbindung.....	42
5.1.3	Ionengitter	43
5.1.4	Kristallgitterbildung und Ionenbindung	43
5.1.5	Metalloxide und Metallhydroxide als Ionenverbindungen.....	46
5.1.6	Charakteristische Eigenschaften von Ionenverbindungen	47
5.1.7	Anwendungaspekte von Ionenverbindungen.....	48
5.1.8	Anleitung zum Aufstellen von Verhältnisformeln.....	49
5.2	Atombindung und die polare Atombindung	52
5.2.1	Erweiterung des Atommodells zum Kugelwolkenmodell.....	53
5.2.2	Atombindung.....	54
5.2.3	Räumliche Anordnung der Atome im Molekül.....	57
5.2.4	Polare Atombindung.....	58
5.2.5	Übergänge zwischen Ionenbindung und polarer Atombindung	60
5.3	Bindung durch zwischenmolekulare Kräfte	61
5.3.1	Dipol-Dipol-Kräfte.....	61
5.3.2	Wasserstoffbrücken und die Eigenschaften des Wassers.....	62
5.3.3	Bindung durch Van-der-Waals-Kräfte	65
5.4	Komplexbildung und koordinative Bindung	66
5.4.1	Komplexbildung	67
5.4.2	Bindungsverhältnisse in Komplexen	68
5.4.3	Gliederung von Komplexverbindungen	68
5.4.4	Theoretische Grundlagen für das praktische Arbeiten mit Komplexen	70
5.5	Metallbindung und typische Metalleigenschaften	74
5.5.1	Bindung in Metallen.....	74
5.5.2	Aufbau des Metallgitters.....	74
5.5.3	Erklärung der typischen Metalleigenschaften	75
5.6	Vergleich der verschiedenen Bindungstypen	77

6	Aufstellen von Formeln und Reaktionsgleichungen	79
6.1	Formelbegriff	79
6.2	Verschiedene Arten von Formeln	80
6.3	PSE und Bindigkeit beim Aufstellen von Formeln	80
6.4	Aufstellen von Formeln	83
6.4.1	Ionenverbindungen	83
6.4.2	Verbindungen mit Atombindung und polarer Atombindung	84
6.5	Aufstellen von Reaktionsgleichungen	84
6.6	Massenberechnung	86
7	Systematik chemischer Reaktionen mit pharmazeutischem Bezug	89
7.1	Lösevorgänge und Fällungsreaktionen	90
7.1.1	Lösungen als flüssige Systeme	90
7.1.2	Lösevorgänge	90
7.1.3	Löslichkeit von Feststoffen	91
7.1.4	Gehaltsangaben von Lösungen	93
7.1.5	Fällungsreaktionen	94
7.2	Säure-Base-Reaktionen	95
7.2.1	Säuren und saure Lösungen	96
7.2.2	Laugen und alkalische Lösungen	97
7.2.3	Messung des sauren oder alkalischen Charakters	99
7.2.4	Säure-Base-Begriff nach Brønsted, Säure-Base-Reaktion	100
7.2.5	Besondere Säure-Base-Reaktionen	101
7.2.6	Methoden der Salzbildung	104
7.2.7	Anwendung der Säure-Base-Reaktion	106
7.3	Redox-Reaktionen	108
7.3.1	Herkömmliches Verständnis von Oxidation und Reduktion	108
7.3.2	Problematik des herkömmlichen Verständnisses von Oxidation und Reduktion	109
7.3.3	Definition eines umfassenden Verständnisses von Redox-Reaktionen	110
7.3.4	Korrespondierende Redox-Paare	111
7.3.5	Oxidationszahl	112
7.3.6	Stärke von Oxidations- und Reduktionsmitteln	114
7.3.7	Formulierung schwieriger Redox-Gleichungen	116
8	Die chemische Reaktion	119
8.1	Kollisionsmodell	119
8.2	Reaktionsgeschwindigkeit	119
8.2.1	Zerteilungsgrad	122
8.2.2	Konzentration	122
8.2.3	Temperatur	124

8.3	Aktivierungsenergie	125
8.4	Katalyse	126
8.4.1	Katalyse der Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff	126
8.4.2	Wirkungsweise von Katalysatoren	126
8.4.3	Verschiedene Arten der Katalyse	127
8.5	Triebkräfte für chemische Reaktionen	129
8.5.1	Prinzip des Energieminimums	130
8.5.2	Prinzip des Entropiemaximums	130
8.5.3	Verknüpfung von Enthalpie und Entropie	131
9	Chemisches Gleichgewicht	134
9.1	Umkehrbare Reaktion und chemisches Gleichgewicht	134
9.2	Massenwirkungsgesetz	138
9.2.1	Praktische Bedeutung des K_C -Wertes	140
9.3	Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts	141
9.3.1	Abhängigkeit von der Art der Reaktionspartner	141
9.3.2	Konzentrationsabhängigkeit	141
9.3.3	Temperaturabhängigkeit	142
9.3.4	Druckabhängigkeit	143
9.3.5	Zusammenfassung der Einflussmöglichkeiten auf die Lage des Gleichgewichts	143
9.3.6	Fließgleichgewichte	144
9.4	Gleichgewichte in wässrigen Lösungen	146
9.4.1	Lösungsgleichgewichte	147
9.4.2	Autoprotolyse des Wassers und pH-Wert	149
9.4.3	Stärke von Säuren und Basen	152
9.4.4	Protolyse von Salzen (Säure-Base-Reaktionen in Salzlösungen)	154
9.4.5	Pufferung und Pufferlösungen	155
10	Maßanalytische Bestimmungen	162
10.1	Gemeinsame Prinzipien maßanalytischer Bestimmungen	162
10.2	Säure-Base-Titration	162
10.2.1	Prinzip der Säure-Base-Titration	162
10.2.2	Optimierung durch Titrationskurven und Computereinsatz	164
10.2.3	Prinzip der Säure-Base-Titration für die Titration einer schwachen Säure mit einer starken Base	166
10.2.4	Säure-Base-Titration in wasserfreiem Medium	166
10.2.5	Indikatoren für Säure-Base-Titrationen	167
10.2.6	Urtitersubstanz	168
10.3	Redox-Titration	169
10.3.1	Prinzip der Redox-Titration	169
10.3.2	Cerimetrie	170
10.3.3	Iodometrie	171

10.3.4	Iodatometrie	173
10.3.5	Bromometrie	174
10.3.6	Titration mit Periodat	175
10.3.7	Permanganometrie	176
10.4	Fällungstitation	178
10.4.1	Prinzip der Fällungstitation	178
10.4.2	Exemplarische Erklärung von zwei Fällungstitationen	178
10.4.3	Weitere Beispiele für Fällungstitationen	180
10.5	Komplexometrische Titration	180
10.5.1	Prinzip der komplexometrischen Titration	181
10.5.2	EDTA als Komplexbildner und Maßlösung von Ph. Eur.	181
10.5.3	Beispiele für den Einsatz der komplexometrischen Titration	182
10.6	Besondere Titrationsverfahren	184

B Organische Chemie – Die Chemie der Kohlenstoffverbindungen

11	Kohlenwasserstoffe	188
11.1	Besondere Eigenschaften des Kohlenstoffs und die Struktur des Methanmoleküls	188
11.2	Alkane	189
11.2.1	Homologe Reihe der Alkane	189
11.2.2	Eigenschaften der Alkane mit pharmazeutischem Bezug	193
11.2.3	Reaktionen der Alkane	197
11.2.4	Alkane des Arzneibuchs	198
11.3	Ungesättigte Kohlenwasserstoffe	202
11.3.1	Alkene	203
11.3.2	Alkine	206
11.4	Cycloalkane	209
11.5	Aromatische Kohlenwasserstoffe	210
11.5.1	Benzol als Prototyp der aromatischen Kohlenwasserstoffe	211
11.5.2	Substitution am Benzolmolekül mit Nomenklatur	214
11.5.3	Kondensierte aromatische Ringsysteme	215
12	Halogenkohlenwasserstoffe	220
12.1	Radikalische Substitution exemplarisch als Reaktionsmechanismus	220
12.2	Systematik und Nomenklatur	221
12.2.1	Halogenalkane	221
12.2.2	Cyclohalogenalkane	223
12.3	Eigenschaften der Halogen- und Cyclohalogenalkane	223
12.4	Pharmazeutisch relevante Halogen- und Cyclohalogenalkane	223
12.5	Ökologische Aspekte	225

13	Oxidationsprodukte der Kohlenwasserstoffe – Teil I	227
13.1	„Oxidationsreihe“ des Kohlenstoffs	227
13.2	Alkohole	229
13.2.1	Homologe Reihe der Alkanole	229
13.2.2	Isomerie und Systematik der Alkohole.....	229
13.2.3	Nomenklatur der Alkohole	232
13.2.4	Eigenschaften der Alkohole.....	232
13.2.5	Reaktionen der Alkohole	233
13.2.6	Pharmazeutisch relevante Alkohole.....	237
13.3	Phenole	255
13.3.1	Einwertige Phenole.....	255
13.3.2	Mehrwertige Phenole	256
13.4	Ether	259
13.4.1	Definition und Nomenklatur der Ether	259
13.4.2	Eigenschaften der Ether.....	259
13.4.3	Wirkung und Anwendung von Ethern.....	260
13.4.4	Beispiele von Ethern mit technischer und pharmazeutisch-medizinischer Bedeutung	261
13.4.5	Cyclische Ether.....	261
13.5	Polyethylenglycole	262
13.6	Carbonylverbindungen	264
13.6.1	Carbonylgruppe.....	265
13.6.2	Aldehyde	265
13.6.3	Ketone.....	271
13.6.4	Gaschromatographie (GC)	273
14	Oxidationsprodukte der Kohlenwasserstoffe – Teil II	278
14.1	Carboxylgruppe	278
14.2	Alkansäuren	279
14.2.1	Eigenschaften in der homologen Reihe der Alkansäuren	279
14.2.2	Reaktionen der Alkansäuren	281
14.2.3	Technische, pharmazeutische und physiologische Bedeutung der Alkansäuren.....	283
14.3	Alkensäuren	284
14.3.1	Alkensäuren mit einer Doppelbindung.....	285
14.3.2	Alkensäuren mit mehreren Doppelbindungen.....	287
14.4	Dicarbonsäuren (aliphatische Dicarbonsäuren)	290
14.4.1	Eigenschaften und Reaktionen der Dicarbonsäuren	290
14.4.2	Ungesättigte Dicarbonsäuren	290
14.5	Substituierte Carbonsäuren bzw. substituierte Alkansäuren	292
14.5.1	Hydroxycarbonsäuren mit einer Hydroxylgruppe – Spiegelbild-Isomerie.....	293

14.5.2	Hydroxycarbonsäuren mit einer oder zwei Hydroxylgruppen und zwei oder drei Carboxylgruppen	299
14.5.3	Halogencarbonsäuren	301
14.5.4	Aminocarbonsäuren, Aminosäuren.....	302
14.6	Aromatische Carbonsäuren	310
14.6.1	Benzoessäure als aromatische Monocarbonsäure.....	310
14.6.2	Derivate der Benzoessäure	312
14.6.3	Aromatische Dicarbonsäuren.....	312
15	Kohlenhydrate.....	315
15.1	Definition, Bedeutung und Systematik der Kohlenhydrate	315
15.2	Monosaccharide.....	316
15.2.1	Strukturbesonderheiten und Isomerie	316
15.2.2	Ausgewählte Monosaccharide der Ph. Eur.....	320
15.3	Disaccharide	325
15.3.1	Maltose.....	325
15.3.2	Lactose	326
15.3.3	Lactulose	327
15.3.4	Saccharose.....	328
15.4	Polysaccharide	330
15.4.1	Stärke	330
15.4.2	Glykogen	332
15.4.3	Dextrin.....	333
15.4.4	Cellulose	333
15.4.5	Dextrane.....	334
15.5	Kohlenhydratähnliche Verbindungen	334
15.5.1	Aminozucker	334
15.5.2	Gluconsäure	335
15.5.3	Uronsäuren und Polyuronsäuren	335
15.5.4	Ascorbinsäure.....	336
15.5.5	Maltitol.....	337
15.5.6	Stärkederivate	337
15.5.7	Celluloseether	338
16	Ester	341
16.1	Allgemeines zu den Estern	341
16.1.1	Esterbildung als Gleichgewichtsreaktion.....	341
16.1.2	Nomenklatur der Ester.....	343
16.1.3	Eigenschaften der Ester	343
16.2	Verschiedene Typen von Estern	343
16.3	Ester aus kurzkettiger Alkansäure und kurzkettigem Alkohol.....	345

16.4	Ester aus aromatischer Carbonsäure und Alkohol	345
16.4.1	Ester der 4-Hydroxycarbonsäure (p-Hydroxybenzoesäure).....	345
16.4.2	Ester der 4-Aminocarbonsäure.....	345
16.5	Ester aus Carbonsäure und Phenol	345
16.6	Fette und Öle	347
16.6.1	Bedeutung und Funktionen der Fette	348
16.6.2	Zusammensetzung der Fette	348
16.6.3	Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften der Fette	349
16.6.4	Fettkennzahlen.....	351
16.7	Esterhydrolyse als Umkehrung der Veresterung	356
16.7.1	Verseifung	357
16.8	Tenside	357
16.8.1	Seifen	357
16.8.2	Tenside mit pharmazeutischem Bezug.....	359
17	Amine, Peptide, Proteine	363
17.1	Amine	363
17.1.1	Aliphatische Amine.....	363
17.1.2	Aromatische Amine.....	365
17.1.3	Biogene Amine.....	368
17.2	Peptidgruppe als strukturbestimmendes Merkmal von Peptiden und Proteinen	368
17.3	Peptide	369
17.3.1	Einteilung.....	369
17.3.2	Nomenklatur und Schreibweise	369
17.3.3	Physiologische und pharmazeutische Bedeutung.....	369
17.4	Proteine	370
17.4.1	Struktur und Einteilung.....	370
17.4.2	Eigenschaften der Proteine	371
17.4.3	Pharmazeutisch und toxikologisch relevante Proteine	373
18	Heterocyclen	376
18.1	Definition und Systematik	376
18.2	Fünfringe mit einem Heteroatom	377
18.2.1	Fünfringe mit einem Stickstoffatom.....	377
18.2.2	Pyrrol mit einem ankondensierten Benzolring	377
18.3	Fünfringe mit zwei Heteroatomen	377
18.3.1	Fünfringe mit zwei Stickstoffatomen	377
18.3.2	Fünfringe mit zwei verschiedenen Heteroatomen	378
18.3.3	Fünfringe mit zwei Stickstoffatomen und einem ankondensierten Benzolring.....	378

18.4	Sechsringe mit einem Heteroatom	379
18.4.1	Sechsringe mit einem Stickstoffatom	379
18.4.2	Sechsringe mit einem Stickstoffatom und einem ankondensierten Benzolring	380
18.4.3	Sechsringe mit einem Sauerstoffatom und einem ankondensierten Benzolring	381
18.5	Sechsringe mit zwei Heteroatomen	382
18.5.1	Sechsringe mit zwei Stickstoffatomen	382
18.5.2	Sechsringe mit zwei Heteroatomen (Stickstoff und Schwefel) und zwei ankondensierten Benzolringen	383
18.6	Siebenringe mit einem Heteroatom	383
18.6.1	Siebenringe mit einem Stickstoffatom und zwei ankondensierten Benzolringen	383
18.7	Siebenringe mit zwei Heteroatomen	384
18.7.1	Siebenringe mit zwei Stickstoffatomen und ankondensiertem Benzolring	384
18.8	Bicyclische Heterosysteme am Beispiel der Purinderivate	384
18.9	β-Lactam-Antibiotika als bicyclische Heterosysteme	385

C**Anorganische Chemie – Pharmazeutische Schwerpunkte**

19	Pharmazeutisch relevante Elemente und anorganische Verbindungen	390
19.1	Hauptgruppe VIII – Edelgase	390
19.1.1	Gruppeneigenschaften	390
19.1.2	Vorkommen und Gewinnung	391
19.1.3	Technische und pharmazeutische Verwendung	391
19.2	Sonderstellung des Wasserstoffs	391
19.3	Hauptgruppe VII – Halogene (Salzbildner)	392
19.3.1	Gruppeneigenschaften	392
19.3.2	Ausgewählte Eigenschaften der Halogene	392
19.3.3	Halogenide	392
19.4	Hauptgruppe VI – Chalkogene (Erzbildner)	396
19.4.1	Gruppeneigenschaften	397
19.4.2	Sauerstoff und anorganische Verbindungen des Sauerstoffs	398
19.4.3	Schwefel und anorganische Verbindungen des Schwefels	400
19.4.4	Selen und anorganische Verbindungen des Selen	403
19.5	Hauptgruppe V – Stickstoffgruppe	403
19.5.1	Gruppeneigenschaften	403
19.5.2	Stickstoff und anorganische Verbindungen des Stickstoffs	403
19.5.3	Phosphor und anorganische Verbindungen des Phosphors	408
19.5.4	Arsen und anorganische Verbindungen des Arsens	410

19.5.5 Antimon und seine anorganischen Verbindungen.....	411
19.5.6 Bismut (Wismut) und seine Verbindungen.....	412
19.6 Hauptgruppe IV – Kohlenstoffgruppe.....	414
19.6.1 Gruppeneigenschaften.....	414
19.6.2 Kohlenstoff und anorganische Verbindungen des Kohlenstoffs.....	415
19.6.3 Silicium und Verbindungen des Siliciums.....	418
19.6.4 Zinn und anorganische Verbindungen des Zinns.....	420
19.6.5 Blei und anorganische Verbindungen des Bleis.....	421
19.7 Hauptgruppe III – Borgruppe.....	422
19.7.1 Gruppeneigenschaften.....	422
19.7.2 Bor und anorganische Verbindungen des Bors mit pharmazeutischem Bezug.....	423
19.7.3 Aluminium und Verbindungen des Aluminiums.....	424
19.7.4 Thallium und anorganische Verbindungen des Thalliums.....	426
19.8 Hauptgruppe II – Erdalkalimetalle.....	427
19.8.1 Gruppeneigenschaften.....	427
19.8.2 Magnesium und Verbindungen des Magnesiums.....	428
19.8.3 Calcium und Verbindungen des Calciums.....	430
19.8.4 Barium und anorganische Verbindungen des Bariums.....	434
19.9 Hauptgruppe I – Alkalimetalle.....	435
19.9.1 Gruppeneigenschaften.....	435
19.9.2 Pharmazeutisch relevante Lithiumverbindungen.....	437
19.9.3 Vorkommen und Verwendung von Natrium und Kalium.....	437
19.9.4 Physiologische und pharmakologische Eigenschaften von Natrium und Kalium.....	437
19.9.5 Nachweisreaktionen für Natrium und Kalium.....	438
19.10 Nebengruppenelemente.....	439
19.10.1 Nebengruppe I A – Kupfergruppe.....	440
19.10.2 Nebengruppe II A – Zinkgruppe.....	440
19.10.3 Nebengruppe VI A – Chromgruppe.....	443
19.10.4 Nebengruppe VII A – Mangangruppe.....	444
19.10.5 Nebengruppe VIII A – Eisengruppe und Platinmetalle.....	445

D**Anhang**

Antworten zu den Fragen und Übungen.....	454
Antworten zu Kapitel 1.....	454
Antworten zu Kapitel 2.....	454
Antworten zu Kapitel 3.....	456
Antworten zu Kapitel 4.....	458
Antworten zu Kapitel 5.....	459
Antworten zu Kapitel 6.....	464
Antworten zu Kapitel 7.....	465

Antworten zu Kapitel 8.....	470
Antworten zu Kapitel 9.....	471
Antworten zu Kapitel 10	475
Antworten zu Kapitel 11	477
Antworten zu Kapitel 12.....	480
Antworten zu Kapitel 13.....	481
Antworten zu Kapitel 14.....	487
Antworten zu Kapitel 15.....	493
Antworten zu Kapitel 16.....	496
Antworten zu Kapitel 17.....	499
Antworten zu Kapitel 18	501
Antworten zu Kapitel 19.....	502
Anhang 1: Chemische Elemente	505
Anhang 2: Übersicht der Isomeren	506
Anhang 3: Griechische Zahlwörter, Griechisches Alphabet	507
Anhang 4: Größen und Einheiten.....	508
Anhang 5: Umrechnungsfaktoren.....	509
Anhang 6	510
Gefahrensymbole 67/548 EWG.....	510
Gefahren-Piktogramme EG-CLP-V	510
Gefahrenklassen EG-CLP-V.....	510
H-Sätze	511
EUH-Sätze	513
P-Sätze	514
Anhang 7: Organische Reaktionen	518
Literatur.....	519
Sachregister.....	521
Periodensystem der Elemente.....	550

Methodisch–didaktische Einführung

Schwerpunkte und übergeordnete Aspekte der Lerninhalte

Dieses Buch ist ein Lehr- und Arbeitsbuch für pharmazeutisch-technische Assistenten. Die Schwerpunkte und übergeordneten Aspekte der Lerninhalte liegen

- **im Erklären.**
- **im Strukturieren** (eine innere Gliederung und Zusammenhänge schaffend) von vorhandenem und dazu gewonnenem Wissen.
Als Hilfen dazu sind u. a. neu hinzukommende Strukturbegriffe stets fett gedruckt. Diese ermöglichen es in der Regel nach Erarbeiten des jeweiligen Kapitels, Zusammenhänge in Form eines Strukturdiagramms deutlich zu machen. Definitionen, Merksätze und Regeln sind durch Rasterflächen und/oder Farbe herausgehoben. Ferner erleichtert das Kenntlichmachen von fächerübergreifenden Gesichtspunkten die Vernetzung mit anderen Unterrichtsfächern.
Eine kleine Anzahl von einfachen, aber erprobten Versuchen ist an den Stellen platziert, wo Zusammenhänge oder komplexere Sachverhalte durch Versuch bestätigt werden sollen oder wo der Versuch im Thema weiterführt.
- **im Anleiten zum Üben und selbständigen Vertiefen** der erarbeiteten Kenntnisse. Dabei werden einige Elemente des selbstorganisierten Lernens (SOL) eingesetzt. Die Fragen zu den einzelnen Kapiteln sind in der Regel keine Wiederholungsfragen sondern Fragen, die zum selbständigen Erarbeiten und Vertiefen anregen sollen. Ferner sollen die Fragen der Vernetzung des Wissens – auch zwischen verschiedenen Fächern – dienen und den Umgang mit der Fachliteratur üben. Die Antworten sind oft Lösungsvorschläge und befinden sich am Ende des Buches.
- **in der „didaktischen Reduktion“**, d. h. in einer in Grenzen gehaltenen Vereinfachung um des besseren Verständnisses willen.
Dazu dienen die Vorgaben des Lehrplans von Baden-Württemberg, der diesen Gesichtspunkt berücksichtigt. So wird u. a. auf die Einführung des Orbitalmodells verzichtet – das bewährte Kugelwolkenmodell leistet alles, was hier benötigt wird –, ebenso wird auf Reaktionsmechanismen fast ganz verzichtet. Nur ein Reaktionsmechanismus (für den Reaktionstyp der radikalischen Substitution) ist exemplarisch angeführt. Von der Erklärung tieferer Zusammenhänge beim Energieumsatz von chemischen Reaktionen wird abgesehen und vereinfacht nur die Größe „ $\Delta_R H$ “ als Reaktionsenthalpie eingeführt. Ferner ist den Strukturformeln anorganischer Verbindungen nur begrenzte Bedeutung beigemessen (z. B. Nitrat- und Phosphat-Anionen), da ihr Einüben zu Lasten wichtigerer Inhalte gehen würde.
- **bei der pharmazeutischen Chemie** und damit bei Arzneimittelaspekten wie z. B. der Pharmakologie und Galenik.
Die Chemie ist hier wichtiger „Zulieferer“ für das Verständnis von Zusammenhängen rund um das Arzneimittel. Diesem Gesichtspunkt wird durchgängig Rechnung getragen. Sie werden dies bereits in den Kapiteln der allgemeinen Chemie erkennen, wo stets Stoffe und Verbindungen des Europäischen Arzneibuchs als Beispiele herangezogen werden bzw. auf diese vorgegriffen wird.
Trotz der Betonung von fächerübergreifenden Zusammenhängen grenzt sich das Buch deutlich von den Inhalten anderer Fächer ab und vermeidet Überschneidungen. So ist beispielsweise der Sicherheit im Umgang mit Chemikalien kein gesonderter Abschnitt gewidmet, da dieser Bereich in das Fach Chemisch-pharmazeutische Übungen gehört.

Stoffliche Gliederung und inhaltlich bedeutende Gesichtspunkte

Da die Schülerinnen und Schüler der PTA-Schulen aus den vorangehenden Schularten sehr unterschiedliche Vorkenntnisse im Fach Chemie mitbringen, erfolgt mit dem 2. Kapitel zunächst eine angleichende Wiederholung chemischer Grundbegriffe. Dies geschieht jedoch gleich mit einem pharmazeutischen Bezug. Es folgen mit Kapitel 3 bis 5 klassische Stoffgebiete der allgemeinen Chemie. Starren Übungscharakter für das Aufstellen von Formeln und Reaktionsgleichungen hat das 6. Kapitel. Damit wird den Schwierigkeiten Rechnung getragen, die dieser Bereich bereitet. Mit der Systematik chemischer Reaktionen stehen im 7. Kapitel neben essenziellen Inhalten der allgemeinen Chemie wie beispielsweise Redox-Reaktionen pharmazeutisch-analytische Aspekte im Vordergrund. Kapitel 9 bezieht die theoretischen Inhalte des chemischen Gleichgewichts stark auf das Arbeiten mit dem Europäischen Arzneibuch in den Chemisch-pharmazeutischen Übungen. Desgleichen legt Kapitel 10 mit den „Maßanalytischen Bestimmungen“ die theoretischen Grundlagen für die Praxis, wobei Rückgriff auf die Inhalte von Kapitel 3 bis 9 erfolgt.

In den Kapiteln der organischen Chemie wird auf exemplarisches Lernen Wert gelegt. Es gilt mit möglichst wenigen Strukturelementen wie z. B. den funktionellen Gruppen und mit einer möglichst geringen Zahl von charakteristischen Stoffen auszukommen. Dabei handelt es sich um Stoffe, die für das Arbeiten in anderen Fächern wie beispielsweise Arzneimittelkunde, Galenik, Ernährungskunde und entsprechenden Praktika essenziell sind. Wo es sinnvoll erscheint, werden wichtige Arzneistoffe bei den zugehörigen Stoffgruppen vom Grundgerüst her abgeleitet bzw. eingefügt (z. B. Acetylsalicylsäure bei den Phenolestern oder Paracetamol bei den aromatischen Aminen).

In Kapitel 18 (Heterocyclen) geht es vor allem um den Anwendungsaspekt in der Praxis. Aus einem Fachbuch zur Fertigarzneimittelkunde wurden exemplarisch Arzneistoffe mit charakteristischen heterocyclischen Grundgerüsten ausgewählt. Über das Erkennen eines derartigen heterocyclischen Grundgerüsts von einem unbekanntem Arzneistoff sollte es dann möglich sein, diesen einer entsprechenden (Wirkstoff)gruppe bzw. einem Indikationsbereich zuzuordnen, z. B. Lorazepam (INN) den Benzodiazepinen.

Kapitel 19 (pharmazeutisch relevante Elemente und anorganische Verbindungen mit deren Reaktionen) bietet von der Thematik her eigentlich die „ermüdende“ Stofffülle für ein eigenes Lehrbuch. Die durch den Lehrplan beschränkte Anzahl von 200 Unterrichtsstunden im Fach Allgemeine und pharmazeutische Chemie zwingt hier zu einer starken Straffung des Stoffes. Dieses Kapitel ist deswegen weitgehend als Wiederholungs-, Anwendungs- und Vertiefungskapitel gestaltet. Mit seinen häufigen Rückgriffen und Verweisen auf zahlreiche anorganische Verbindungen aus den Erklärungen der allgemeinen Chemie (Kapitel 1 bis 10) und auch aus den Kapiteln der organischen Chemie (z. B. bei Reagenzien für Identitätsreaktionen und Reinheitsprüfungen) stellt Kapitel 19 eine „Ernte“ und Festigung bereits erworbener Kenntnisse dar.

Abkürzungsverzeichnis

$[\alpha]_D^{20}$	spezifische Drehung
A_r	relative Atommasse
CRS	chemische Referenzsubstanz
d_{20}^{20}	relative Dichte bei 20 °C
DAB	Deutsches Arzneibuch
DAC	Deutscher Arzneimittel-Codex
DC	Dünnschichtchromatographie
$\Delta_R H$	Reaktionsenthalpie
EN	Elektronegativität
FU	Formelumsatz
INN	International Nonproprietary Name
IUPAC	International Union for Pure and Applied Chemistry
K_B	Basenkonstante
K_C	Gleichgewichtskonstante
kJ	Kilojoule
K_L	Löslichkeitsprodukt
K_S	Säurekonstante
λ	Lamda (Wellenlänge)
L	Löslichkeit
M	Molmasse (molare Masse)
M	Monographie
M_r	relative Molekülmasse
NRF	Neues Rezeptur-Formularium
Ph. Eur.	Pharmacopoea Europaea, Europäisches Arzneibuch
pK_B	Potenzschreibweise der Basenkonstante
pK_S	Potenzschreibweise der Säurekonstante
ppm	parts per million (Teile je Million)
PSE	Periodensystem der Elemente
R	Reagenz, Referenzlösung und Pufferlösung
Schmp.	Schmelztemperatur
Sdp.	Siedetemperatur

Allgemeine Chemie

A

B

C

D



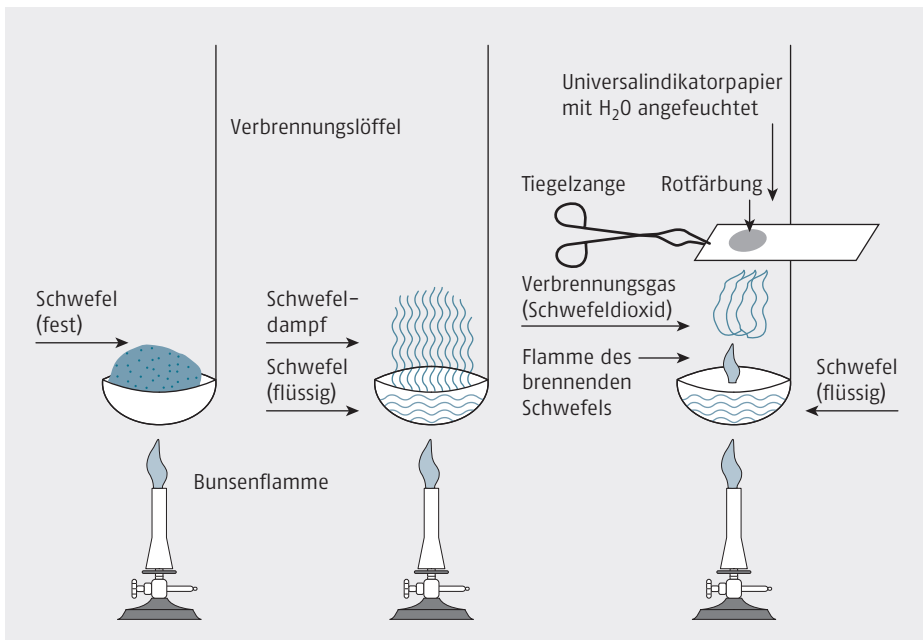
1 Einführung in die Arbeits- und Aufgabengebiete der Chemie

Durch einen einfachen Versuch (Abb. 1.1) werden Sie aufgefordert, sich mit zwei Fragen auseinander zu setzen:

- Womit befasst sich die Chemie?
- Welchen Nutzen bringt die Chemie?

Bei dem Versuch werden folgende Beobachtungen gemacht:

1. Zunächst schmilzt der Schwefel in dem Verbrennungslöffel und bildet Schwefeldampf.
2. Dann brennt der Schwefel mit schwach bläulicher Flamme.
3. Beim Verbrennen entsteht ein Gas (Rauch) mit ätzendem unangenehmem Geruch.
4. Das Gas färbt mit Wasser angefeuchtetes Universalindikatorpapier rot.



○ **Abb. 1.1** Verbrennen von Schwefel an der Luft und Prüfen des entstehenden Gases mit angefeuchtetem Universalindikatorpapier

Womit befasst sich die Chemie?

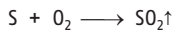
Die Deutung und Auswertung der Beobachtungen des Versuches kann die Antwort auf die erste Frage geben und zugleich darauf hinweisen, womit sich dieses Lehrbuch vor allem befassen muss.

Zur 1. Beobachtung

Beim Erhitzen ändert der Schwefel seinen **Aggregatzustand** von fest über flüssig nach gasförmig. Man kommt damit zu den **physikalisch-chemischen Eigenschaften von Stoffen**.

Zur 2. und 3. Beobachtung

Der Schwefel brennt, d. h., er reagiert mit dem Sauerstoff der Luft zu einer neuen gasförmigen Verbindung, dem Schwefeldioxid. Es hat eine chemische Reaktion stattgefunden, für die sich eine Reaktionsgleichung aufstellen lässt:



Damit kommt man zu **den chemischen Reaktionen** von Stoffen, die sich durch **Reaktionsgleichungen** verkürzt und übersichtlich darstellen lassen.

Zur 4. Beobachtung

Das gasförmige Schwefeldioxid löst sich im Wasser des angefeuchteten Universalindikatorpapiers und reagiert mit dem Wasser zu einer Säure. Diese ist für die Rotfärbung des Indikators verantwortlich.

Die 4. Beobachtung zeigt, dass es verschiedene Arten von chemischen Reaktionen gibt. Bei der Reaktion von Wasser mit Schwefeldioxid ist eine **Säure-Base-Reaktion** abgelaufen. Bei der Reaktion von Schwefel mit Sauerstoff eine **Redox-Reaktion**.

Interessant ist auch die Beobachtung, dass der Schwefel erst beim Erhitzen, d. h. bei Energiezufuhr mit dem Luftsauerstoff, reagiert. Es müssen also ganz bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, damit eine chemische Reaktion überhaupt stattfinden kann. Die **Kinetik chemischer Reaktionen** befasst sich mit derartigen Voraussetzungen.

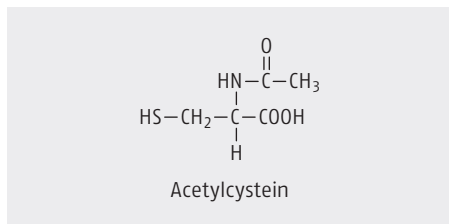
Weitere Arbeitsgebiete der Chemie ergeben sich, wenn man das Reaktionsgeschehen bei dem Versuch hinterfragt. Schwefel und Sauerstoff gehen eine Bindung ein. Die Frage, wie diese Bindung aussieht und zustande kommt, führt zur **chemischen Bindung**. Schließlich ist noch von Interesse, warum sich der Schwefel ausgerechnet mit dem Sauerstoff und nicht mit einem anderen Luftbestandteil wie z. B. Stickstoff verbindet. Antworten auf diese Fragen erhält man, wenn das „Binden“ zwischen den Reaktionspartnern auf Teilchenebene untersucht wird. Dieses Problem leitet zum **Atombau** der Elemente.

Schwefel in reiner Form, aber vor allem als Bestandteil von zahlreichen Verbindungen wie z. B. Natriumsulfat Na_2SO_4 oder Acetylcystein (INN, schleimlösender Wirkstoff, **Abb. 1.2**) führt zu der Frage der Wirkung solcher chemischen Verbindungen im Körper, d. h. zur Frage der **pharmakologischen Wirkung** oder eventuell auch **Giftwirkung**.

Die aus den Versuchsbeobachtungen abgeleiteten Teilantworten zur 1. Frage „Womit befasst sich die Chemie?“ sind in der folgenden Aufzählung zusammengestellt. Sie zeigen gleichzeitig wichtige Arbeitsgebiete dieses Lehrbuches auf.

- Aggregatzustände von Stoffen,
- physikalisch-chemische Eigenschaften von Stoffen,
- chemische Reaktionen (z. B. Redox-Reaktion, Säure-Base-Reaktion),

- Reaktionsgleichungen,
- Kinetik chemischer Reaktionen,
- chemische Bindung,
- Atombau,
- pharmakologische Wirkung und Giftwirkung von Stoffen.



○ **Abb. 1.2** Strukturformel von Acetylcystein

Welchen Nutzen bringt die Chemie?

Die meisten Menschen nehmen die Chemie nur wahr, wenn die Medien über Zwischenfälle berichten. Dadurch wird eine objektive Betrachtung und Diskussion über Nutzen und Risiko erschwert. Das Risiko der Chemie ist wie in anderen Bereichen stark abhängig von einem verantwortungsbewussten Umgang. Der Nutzen der Chemie ist bei näherer Betrachtung fast unüberschaubar vielfältig. Es existiert kaum ein Produkt im Alltag, zu dem die Chemie nicht ihren Teil beigetragen hätte. Temperaturbeständige Pfannenbeschichtung, selektiv wirksame Insektenvertilgungsmittel, atmungsaktive Textilfasern, hochwirksame Arzneimittel deuten nur an, dass die Chemie eigentlich eine hohe Akzeptanz verdient. Wie würde es mit der Welternährung ohne Düngemittel aussehen? 1950 musste ein Hektar Ackerland 1,7 Menschen ernähren, heute muss die gleiche Fläche 4,0 Menschen ernähren und im Jahr 2050 wahrscheinlich 6,7 Menschen.

Vor allem die Chemie macht dies möglich. Keine der sogenannten Zukunftswissenschaften kann ohne die Chemie auskommen. Die Chemie ist Dienstleisterin und Innovationsmotor z. B. für die Biotechnologie, die Gesundheits- und Umweltwissenschaften, für die Informations-, Kommunikations- und Nanotechnologie. Vergessen wird auch gerne, wie bedeutend die Chemie als Wirtschaftsfaktor ist. So waren in Deutschland im 3. Quartal 2011 423.000 Menschen in der chemischen Industrie beschäftigt. Dieser Wirtschaftszweig leistete in diesem Zeitraum mit einem Umsatz von 44,5 Mrd. €, darunter Exporte im Wert von 26,9 Mrd. €, einen wesentlichen Beitrag zu einer gesunden Wirtschaft.

Auch in der Ausbildung lässt sich der Nutzen rasch erkennen. Wie will man die Funktion eines Emulgators verstehen oder dessen Einsatz für eine Creme planen, wenn man seine chemische Struktur nicht kennt? Wie will man Ether gefahrlos handhaben, wenn man sich der physikalisch-chemischen Eigenschaften nicht bewusst ist?

In der Pharmazie nimmt die Chemie als eine Basiswissenschaft einen derart breiten Raum ein, dass sich die **Pharmazeutische Chemie** als eigenständiger Wissenschaftsbereich entwickelt hat. Die Pharmazeutische Chemie befasst sich mit der Chemie arzneilich wirksamer Substanzen – in der Pharmakologie auch Wirkstoffe, Arzneistoffe oder **Pharmaka** genannt. Hier sind verschiedene Gesichtspunkte möglich u. a. die Analytik, die Synthese und Beziehungen zwischen der Struktur eines Stoffes und seiner pharmakologischen Wirkung.

Fragen und Übungen zu Kapitel 1

1. Wie nennt man den Stoff „Wasser“ in dem jeweiligen Aggregatzustand?
2. Versuchen Sie sich an eine chemische Reaktion zu erinnern, die Sie aus verganginem Chemieunterricht kennen und schreiben Sie diese Reaktion mit Reaktionsgleichung nieder.
3. Erklären Sie, warum Schwefeldioxid für den umweltschädlichen „sauren Regen“ mitverantwortlich ist.
4. Auch wenn Kohle verbrennt, findet eine Redox-Reaktion statt. Versuchen Sie, eine Reaktionsgleichung für diese Reaktion aufzustellen.
5. Können Sie bereits eine Antwort auf die Frage geben, warum Schwefel beim Erhitzen mit dem Luftsauerstoff und nicht mit dem Stickstoff der Luft reagiert?
6. Kennen Sie weitere Verbindungen, die Schwefel enthalten?
7. Nennen Sie Beispiele, wo die Chemie in unserem Körper eine Rolle spielt.
8. Können Sie sich ein Beispiel vorstellen, wo Ihnen die Chemie den Umgang mit Arzneimitteln erleichtert?

2 Chemische Grundbegriffe als angleichende Wiederholung

2.1 Chemische Grundbegriffe

2.1.1 Chemische und physikalische Vorgänge

Der Eingangsversuch in ► Kap. 1 (◉ Abb. 1.1) zeigt bereits deutlich den Unterschied zwischen einem chemischen und einem physikalischen Vorgang. Das Schmelzen und Verdampfen des Schwefels sind typische **physikalische Vorgänge**. Die Reaktion des Schwefels mit dem Luftsauerstoff zu einem neuen Stoff, dem Schwefeldioxid, ist ein charakteristischer chemischer Vorgang. Man spricht von einer **chemischen Reaktion**. Genauso liegt beim Lösen von Glucose z. B. für eine Infusionslösung ein **physikalischer Vorgang** vor, während beim Abbau der Glucose zur Energiegewinnung in den Leberzellen **chemische Reaktionen** stattfinden. Da Letztere im lebenden Organismus ablaufen, wird auch von biochemischen Reaktionen gesprochen.

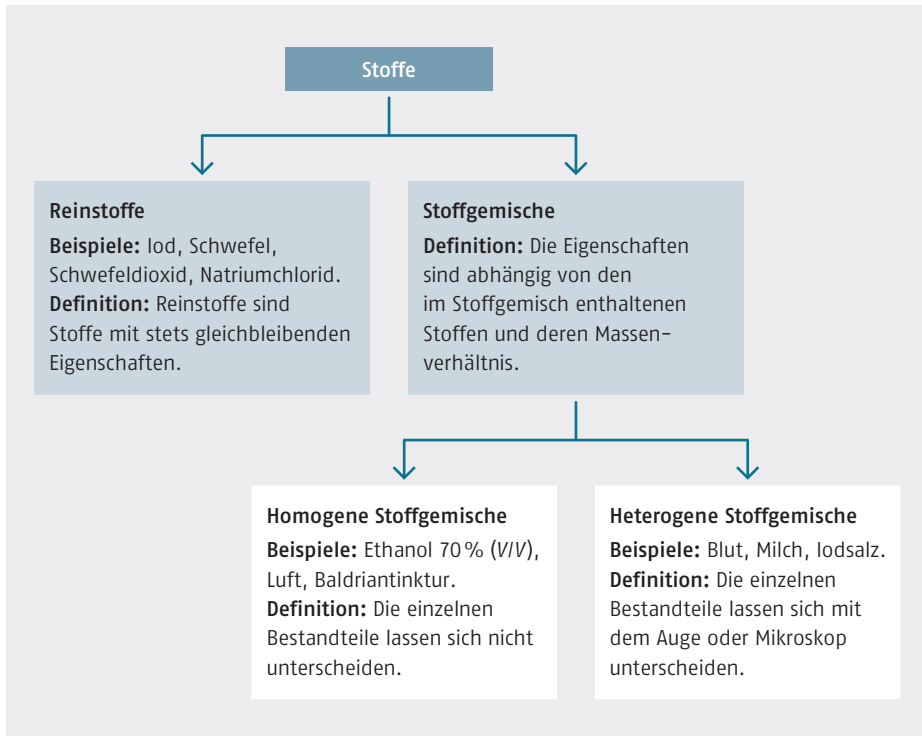
■ **DEFINITION** Vorgänge, bei denen aus einem Stoff ein anderer entsteht, nennt man chemische Reaktionen. Vorgänge, bei denen der Stoff sich zwar ändert, aber kein anderer Stoff entsteht, werden als physikalische Vorgänge bezeichnet.

2.1.2 Stoffbegriff

In dem vergangenen Abschnitt sind Sie immer wieder mit dem Begriff **Stoff** konfrontiert worden. In der Chemie wird unter Stoff eine Substanz oder einfach Materie wie z. B. Schwefel, Kochsalz, Ethanol 70 % (V/V), Iod, Iodsalz verstanden. Stoffe sind stets durch ihre Eigenschaften charakterisiert. Die Chemie lässt sich jetzt kurz und exakt wie folgt definieren.

■ **DEFINITION** Die Chemie ist eine Naturwissenschaft. Sie befasst sich mit Stoffen und ihren Eigenschaften sowie mit Stoffänderungen.

Die oben aufgezählten Stoffbeispiele zeigen bereits, dass Stoffe nochmals unterteilt werden können. Es werden einmal **Reinstoffe** und **Stoffgemische** unterschieden, zum ande-



◦ **Abb. 2.1** Strukturdiagramm zum Stoffbegriff

ren bei den Stoffgemischen nochmals **homogene** und **heterogene** Stoffgemische. Ein Strukturdiagramm soll diese Unterschiede verdeutlichen (◦ Abb. 2.1).

Eine bedeutende Rolle spielt der Stoffbegriff in der Pharmazie im Zusammenhang mit der Definition des Arzneimittelbegriffes (siehe dazu Fach Pharmazeutische Gesetzkunde, Arzneimittelgesetz). Hier können Stoffe z. B. auch Pflanzenteile oder Mikroorganismen sein.

2.1.3 Eigenschaften von Stoffen

In dem Strukturdiagramm wird deutlich, dass Stoffe durch ihre Eigenschaften charakterisiert werden. Eine wichtige Eigenschaft verdeutlichte bereits der Einstiegsversuch in ► Kap. 1. Ein Stoff wie z. B. Schwefel oder Wasser kann in den Zustandsformen **gasförmig** (g, gaseous), **flüssig** (l, liquid) und **fest** (s, solid) vorkommen. Es wird von den unterschiedlichen **Aggregatzuständen** eines Stoffes gesprochen. ◦ Abb. 2.2 zeigt, dass sich die Aggregatzustände mit dem Teilchenmodell beschreiben lassen.

Auch die Temperaturen bei den Übergängen zwischen den Aggregatzuständen zählen zu den charakteristischen Stoffeigenschaften. Diese Stoffeigenschaften sind wichtige Kriterien für Identitäts- und Reinheitsuntersuchungen nach dem Arzneibuch (**Europäisches Arzneibuch** = **Pharmacopoea Europaea**, **Ph. Eur.**, und **Deutsches Arzneibuch**, **DAB**). ■ Tab. 2.1 zeigt eine Auswahl von Stoffeigenschaften mit Beispielen.

Einige Stoffe zeigen die besondere Eigenschaft, bei vorsichtigem Erhitzen **direkt** vom festen in den gasförmigen Zustand überzugehen. Es findet eine **Sublimation** eines derar-