

**Taschenbuch  
der  
Chemie**





Edition  
Harri   
Deutsch 

# Taschenbuch der Chemie

von

Dr. Karl-Heinz Lautenschläger

Prof. Dr. Wolfgang Weber

**22., vollständig überarbeitete Auflage**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 57624**

**Autoren:**

Studiendirektor Dr. Karl-Heinz Lautenschläger †  
Dresden

Professor Dr. Wolfgang Weber  
Fakultät für Angewandte Geistes- und Naturwissenschaften  
Hochschule Augsburg  
wolfgang.weber@hs-augsburg.de

22., vollständig überarbeitete Auflage 2018

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5763-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2018 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09618 Brand-Erbisdorf  
Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Druck: CPI | Ebner & Spiegel, 89075 Ulm

# Vorwort zur 22. Auflage

## Das Periodensystem lebt

Die UN haben 2019 zum Jahr des Periodensystems ausgerufen. Das gibt Anlass, wieder einmal über dessen Bedeutung zum Verständnis der Chemie nachzudenken.

Da sind zum einen die recht kurzlebigen neuen Elemente der vergangenen Jahre – zuletzt 113 Nh Nihonium, 115 Mc Moscovium, 117 Ts Tenness(ine) und 118 Og Oganesson – mit denen die 7. Periode nun abgeschlossen ist und die natürlich auch im vorliegenden Taschenbuch der Chemie ergänzt wurden. Man darf aber gespannt sein auf die 8. Periode, in der nach theoretischen Voraussagen wieder stabilere Elemente vorkommen sollten.

Zum anderen wies mein Coautor Dr. Lautenschläger auf die bisher unbefriedigende Stellung der Lanthanoiden und Actinoiden im Periodensystem hin und schlug vor, diese beiden Reihen im Langperiodensystem direkt nach der zweiten Gruppe einzuordnen. Damit stehen erst Lutetium und Lawrencium, ab denen die 5d- bzw. 6d-Elektronen systematisch eingebaut werden, in der dritten Gruppe unter Scandium und Yttrium. In dieser Form verwendet das vorliegende Taschenbuch der Chemie das Periodensystem. Der Argumentation schloss sich auch der RÖMPP an [Roe2018]. Die International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) umgeht die Schwierigkeit der Eingruppierung, indem sie alle Lanthanoiden und Actinoiden in einem verkürzten Periodensystem in die dritte Gruppe einordnet.

Das Periodensystem „lebt“ also auch 150 Jahre nach seiner Einführung durch MEYER und MENDELEJEV und gibt Stoff für Diskussionen!

## Die Chemie entwickelt sich weiter

Ebenso lebt die Chemie und gewinnt in allen Lebensbereichen rasant immer weiter an Bedeutung.

- Nicht mehr nur einige bekannte, sondern nahezu alle Elemente des Periodensystems werden für High-Tech-Produkte verwendet.
- Die Rohstoffbasis der organischen Chemie verlagert sich allmählich von Erdöl und Kohle auf nachwachsende Rohstoffe und damit auf andere Plattformchemikalien und Verfahren als bisher.
- Katalysatoren verhelfen zu immer effizientere und energiesparenderen Synthesen.
- Die Materialwissenschaften und die Biochemie boomen! Elektromobilität steht und fällt mit potenten Akkusystemen – hier ist die Elektrochemie gefordert.
- Bauten wie der Burj Khalifa Tower in Dubai oder die Brücke über den großen Belt zwischen Dänemark und Schweden wären ohne sichere bauchemische Kenntnisse und Produkte nicht denkbar – um nur einige Schlaglichter zu nennen.

## Das TBC bleibt aktuell

Dieser Entwicklung trägt in der Ausbildung die gestiegene Bedeutung der Chemie innerhalb der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) Rechnung. Aufgabe des *Taschenbuchs der Chemie* („TBC“) ist es hierbei, dem Leser/der Leserin einen pädagogisch fundierten Leitfaden der allgemeinen, anorganischen und organischen Chemie an die Hand zu geben. Die wichtigen Grundlagen werden verständlich und trotzdem sehr exakt erklärt.

Die 22. Auflage ist gründlich überarbeitet: sie wurde auf den aktuellen Stand gebracht, vermeidet inzwischen veraltete Begriffe und ist in ihrer Darstellung moderner. Der besseren und schnelleren Übersicht dient auch die Verwendung einer zweiten Farbe in Text und Abbildungen. Detailspekte lassen sich leicht „googlen“, aber nur mit einem fundierten Grundwissen kann man sie richtig einordnen und anwenden!

Das „TBC“ ist für jeden Sachverhalt stufenweise in die Tiefe gehend aufgebaut – vom einfachen Einstieg bis zu den komplexeren Aspekten – und ermöglicht so eine unterschiedlich tiefe Beschäftigung mit den einzelnen Themen. Das „TBC“ wächst mit dem Wissen des Lesers/der Leserin mit. Viele Querverweise und Beispiele – im Text durch ▲ gekennzeichnet – erleichtern es, einen Aspekt richtig einzuordnen.

Es eignet sich daher

- für Lernende an Gymnasien und berufsbildenden Einrichtungen
- für Studierende an Hochschulen mit Chemie als Grundlagenfach
- als Handbuch für Berufstätige
- als Leitfaden für Dozenten

### **Danksagungen**

Das Taschenbuch der Chemie wurde von meinem sehr geschätzten Coautor Dr. paed. habil. Karl-Heinz Lautenschläger, Dresden, zusammen mit Werner Schröter (†), Leipzig, bereits 1963 begründet. Leider verstarb Dr. Lautenschläger nach Fertigstellung der 21. Auflage. Da ich das „Taschenbuch“ seit fünfzehn Jahren als Autor begleite, ist es mir eine große Ehre, es in seinem Sinn weiterführen zu dürfen. Ich danke ihm für viele befruchtende fachliche Diskussionen.

Weiterhin danke ich herzlich für Beiträge und wertvolle Diskussionen: Dr. Karl-Heinz Ehrhardt (†), Rehling; Prof. Dr. Günter E. Jeromin, Aachen; Dr. Thomas Kast, Stuttgart (Übernahme des hier verwendeten Periodensystems in den RÖMPP); Prof. Dr. Friedhelm Kober, Darmstadt (Darstellung der NaCl-Struktur); Prof. Dr. Holger Kohlmann, Leipzig; Martina Meitinger, Augsburg; Prof. Dr. Ulrich E. Steiner, Konstanz (Elektrochemie); Prof. Dr. Peter Tautzenberger, Augsburg (Kennzeichnung der Stähle und NE-Metalle); Prof. Dr. Dirk Volkmer, Augsburg (MOF's).

Eine sehr große Hilfe war mir die stets kompetente und äußerst angenehme Zusammenarbeit mit Herrn Dipl.-Phys. Klaus Horn im Lektorat des Verlags, der immer ein offenes Ohr für neue Vorschläge hatte – herzlichen Dank dafür! Zu großem Dank verpflichte bin ich auch Dr. Steffen Naake, der wie in den vorangegangenen Auflage mit großer Sorgfalt den wissenschaftlichen Satz ausführte.

Augsburg, im August 2018

Wolfgang Weber

Sehr gerne nehmen Autor und Verlag Anregungen und Hinweise zum Inhalt entgegen:

Autor und Verlag Europa-Lehrmittel  
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorfer Str. 23  
42781 Haan-Gruiten  
lektorat@europa-lehrmittel.de  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

# Inhaltsverzeichnis

## Allgemeine Chemie

<b>1</b>	<b>Chemische Grundbegriffe</b>	<b>2</b>
1.1	Stoffe	2
1.2	Chemische Reaktionen	3
1.3	Reine Stoffe und Stoffgemische	4
1.4	Elemente und Elementsubstanzen	7
1.5	Elementsubstanzen und Verbindungen	10
1.6	Chemische Symbole	11
1.7	Chemische Formeln	12
1.8	Chemische Gleichungen	15
1.9	Lösungen	19
1.9.1	Echte Lösungen	20
1.9.2	Kolloide Lösungen	21
<b>2</b>	<b>Mengenverhältnisse bei chemischen Reaktionen</b>	<b>23</b>
2.1	Gesetz von der Erhaltung der Masse	23
2.2	Relative Atommasse	23
2.3	Relative Molekülmasse	25
2.4	Gesetz der konstanten Proportionen	26
2.5	Stoffmenge – Mol	27
2.6	Molare Masse – stoffmengenbezogene Masse	30
2.7	Äquivalent	32
2.8	Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen	34
2.9	Molares Volumen der Gase	35
2.10	Idealer Gaszustand	37
2.11	Allgemeine Zustandsgleichung der Gase	38
2.12	Stöchiometrische Berechnungen	41
2.13	Löslichkeit	43
2.14	Zusammensetzungsgrößen	45
2.14.1	Stoffmengenanteil und Stoffmengenverhältnis	47
2.14.2	Massenanteil und Massenverhältnis	48
2.14.3	Massenkonzentration	52
2.14.4	Stoffmengenkonzentration	52
2.14.5	Äquivalentkonzentration	55
2.14.6	Maßanalyse	57
2.14.7	Volumenanteil – Volumenkonzentration – Volumenverhältnis	61
<b>3</b>	<b>Bau der Atome</b>	<b>65</b>
3.1	Historisches	65
3.2	Atomkern und Elektronenhülle	66
3.3	Aufbau der Atomkerne	66
3.4	Nuklide – Isotope	67
3.5	Aufbau der Elektronenhülle	72
3.5.1	Energieniveaus der Elektronen im Atom	72
3.5.2	Orbitalmodell des Atoms	74
3.5.3	s-Orbitale – s-Elektronen	77
3.5.4	p-Orbitale – p-Elektronen	78

3.5.5	d-Orbitale und f-Orbitale	82
3.5.6	Hauptenergieniveaus – Nebenenergieniveaus	83
<b>4</b>	<b>Periodensystem der Elemente</b>	<b>86</b>
4.1	Gesetz der Periodizität	86
4.2	Aufbau des Periodensystems	86
4.3	Periodensystem und Atombau	92
4.4	Periodensystem und Wertigkeit	94
4.5	Stellung der Elemente im Periodensystem und Eigenschaften der Elementsubstanzen	95
4.5.1	Elektropositive und elektronegative Elemente	95
4.5.2	Metalle und Nichtmetalle	96
4.5.3	Basenbildner und Säurebildner	97
4.6	Periodizität von Eigenschaften der Elemente	99
4.6.1	Ionisierungsenergie	99
4.6.2	Elektronenaffinität	101
4.6.3	Elektronegativität	103
4.6.4	Atomradien – Ionenradien	104
<b>5</b>	<b>Chemische Bindung</b>	<b>107</b>
5.1	Atombindung	108
5.1.1	Atombindung und Eigenschaften der Stoffe	108
5.1.1.1	Atombindungen in Feststoffen	110
5.1.1.2	Atombindungen in Molekülsubstanzen	110
5.1.2	Elektronenpaar-Abstoßungs-Modell	112
5.1.3	Wellenmechanisches Modell der Atombindung	116
5.1.3.1	Bindungsenergie	116
5.1.3.2	s-s- $\sigma$ -Bindung	118
5.1.3.3	p-p- $\sigma$ -Bindung	119
5.1.3.4	s-p- $\sigma$ -Bindung	120
5.1.3.5	p-p- $\pi$ -Bindung	121
5.1.3.6	Bindungen am Kohlenstoffatom	125
5.1.4	Polarisierte Atombindungen – Dipolmoleküle	130
5.1.5	Bindungen an freien Elektronenpaaren	134
5.1.6	Zwischenmolekulare Kräfte	135
5.1.7	Wasserstoffbrückenbindungen	137
5.1.8	Halogenbrücken	139
5.1.9	Paramagnetismus und Diamagnetismus	140
5.2	Ionenbindung	141
5.2.1	Entstehung von Ionen durch Elektronenübergang	141
5.2.2	Struktur und Eigenschaften der Stoffe mit Ionenbindung	145
5.3	Metallbindung und Bändermodell	151
5.3.1	Metallbindung	151
5.3.2	Bändermodell der Elektronen in Kristallen	155
5.4	Bindungen in Komplexen	157
5.4.1	Aufbau von Komplexen	157
5.4.2	Bindungsverhältnisse	159
5.4.3	Typen von Liganden, Chelateffekt	160
5.4.4	Farbigkeit und Magnetismus von Komplexen	163
5.4.5	Exkurs: Metallorganische Netzwerke (metal organic frameworks, MOF's) als Adsorptionsmittel	166



5.5	Wertigkeitsbegriffe	168
5.5.1	Stöchiometrische Wertigkeit	168
5.5.2	Ionenwertigkeit	169
5.5.3	Oxidationszahl	170
5.5.3.1	Oxidationszahlen in Molekülen	171
5.5.3.2	Oxidationszahlen in Ionen	172
5.5.3.3	Ermittlung der Oxidationszahlen	172
5.5.4	Bindigkeit	173
5.5.5	Formale Ladung	175
5.5.6	Koordinationszahl	176
<b>6</b>	<b>Chemisches Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz</b>	<b>178</b>
6.1	Gleichgewichtsreaktionen	178
6.2	Prinzip des kleinsten Zwanges – Einfluss auf die Lage des Gleichgewichts	181
6.2.1	Einfluss der Temperatur auf die Lage eines chemischen Gleichgewichts	181
6.2.2	Einfluss des Drucks auf die Lage eines chemischen Gleichgewichts	182
6.2.3	Einfluss der Zusammensetzung des Reaktionsgemischs auf die Lage eines chemischen Gleichgewichts	184
6.3	Einfluss auf die Geschwindigkeit von Gleichgewichtsreaktionen	184
6.3.1	Einfluss der Temperatur	185
6.3.2	Einfluss von Katalysatoren	186
6.4	Massenwirkungsgesetz	188
6.4.1	Gleichgewichtskonstante	189
6.4.2	Kinetische Ableitung des Massenwirkungsgesetzes	192
6.4.3	Grundbegriffe der chemischen Kinetik	196
6.5	Anwendung des Massenwirkungsgesetzes	198
6.5.1	Änderung der Zusammensetzung des Reaktionsgemischs	198
6.5.2	Änderung der Partialdrücke	200
<b>7</b>	<b>Reaktionen der anorganischen Chemie</b>	<b>203</b>
7.1	Ordnungsprinzipien für chemische Reaktionen	203
7.2	Oxidations-Reduktions-Reaktionen	204
7.2.1	Oxidation und Reduktion in historischer Sicht	204
7.2.2	Redoxreaktionen als Abgabe und Aufnahme von Elektronen	205
7.3	Säure-Base-Reaktionen	211
7.3.1	Säure-Base-Reaktionen in historischer Sicht	211
7.3.2	Säure-Base-Reaktionen als Abgabe und Aufnahme von Protonen	219
7.3.2.1	Protolyte – protolytische Systeme	219
7.3.2.2	Autoprotolyse des Wassers – pH-Wert	221
7.3.2.3	Stärke der Protolyte	224
7.3.2.4	$pK_S$ -Werte	227
7.3.2.5	Protolysegrad	232
7.3.2.6	Berechnung des pH-Wertes von Protolytlösungen	236
7.3.2.7	Neutralisationsanalyse	239
7.3.2.8	Pufferlösungen	245
7.3.2.9	Protolyse wässriger Salzlösungen	248
7.3.2.10	Ionenaktivität	249
7.4	Lösungs- und Fällungsreaktionen	250
7.4.1	Abbau und Aufbau von Ionengittern	250
7.4.2	Löslichkeitskonstante	253
7.4.3	Gleichionige Zusätze	256

7.5	Komplexreaktionen	257
7.5.1	Bildung und Zerfall von Komplexverbindungen	257
7.5.2	Komplexdissoziationskonstante	261
<b>8</b>	<b>Thermochemie – Thermodynamik</b>	<b>266</b>
8.1	Grundbegriffe der Thermodynamik	266
8.2	Reaktionsenergie und Reaktionsenthalpie	271
8.3	Molare Reaktionsgrößen	274
8.3.1	Molare Reaktionsenthalpie	274
8.3.2	Molare Reaktionsenergie und molare Reaktionsvolumenarbeit	277
8.4	Molare Standardreaktionsgrößen	282
8.4.1	Molare Standardbildungsenthalpie	282
8.4.2	Molare Standardreaktionsenthalpie	287
8.4.3	Molare Standardverbrennungsenthalpie	289
8.5	Weitere thermodynamische Größen	292
8.5.1	Molare Phasenumwandlungsenthalpien	292
8.5.2	Molare Wärmekapazität	293
8.5.3	Molare Mischungsenthalpien	294
8.5.4	BORN-HABERScher Kreisprozess	297
8.6	Thermodynamische Reaktionstriebskraft und chemisches Gleichgewicht	300
8.6.1	Freie Enthalpie	301
8.6.2	Molare freie Reaktionsenthalpie	301
8.6.3	Molare freie Standardbildungsenthalpie	304
8.6.4	Konzentrationsabhängigkeit der molaren freien Reaktionsenthalpie	306
8.6.5	Berechnung der Gleichgewichtskonstante	311
8.7	Ergänzungen zur Thermodynamik	313
8.7.1	Partielle molare Größen	313
8.7.2	Chemisches Potenzial	317
8.7.3	Entropie – Einführung	319
8.7.4	Entropie und Wahrscheinlichkeit	322
8.7.5	Entropieerzeugung bei irreversiblen Prozessen	324
8.7.6	Spontane Prozesse in isotherm/isobaren Systemen	326
8.7.7	Freie Enthalpie – Herleitung und Anwendungen	329
<b>9</b>	<b>Elektrochemie</b>	<b>334</b>
9.1	Historisches	334
9.2	Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle	335
9.3	Galvanische Elemente – galvanische Zellen	340
9.4	Standardelektrodenpotenziale	344
9.5	Zellspannung	347
9.6	Elektrische Arbeit	350
9.7	NERNSTSche Gleichung	353
9.7.1	NERNSTSche Gleichung für Elektrodenpotenziale	353
9.7.2	NERNSTSche Gleichung für die Zellspannung	355
9.7.3	NERNSTSche Gleichung für Redoxreaktionen	359
9.8	Elektrolyse	364
9.8.1	Elektrodenvorgänge	364
9.8.2	Elektrolyse wässriger Lösungen	365
9.8.3	Elektrolyse mit angreifbarer Anode	368
9.9	Polarisation – Zersetzungsspannung – Überspannung	371

9.10	FARADAYSche Gesetze	378
9.10.1	Erstes FARADAYSches Gesetz	378
9.10.2	Zweites FARADAYSches Gesetz	379
9.10.3	FARADAY-Konstante	381
9.11	Elektrochemische Stromquellen	382
9.11.1	Primärzellen	383
9.11.1.1	Zink-Braunstein-Zellen	383
9.11.1.2	Zink-Silberoxid-Zelle	385
9.11.1.3	Lithiumzellen	385
9.11.2	Sekundärzellen – Akkumulatoren	388
9.11.2.1	Bleiakkumulator	390
9.11.2.2	Nickel-Cadmium-Akkumulator	391
9.11.2.3	Nickel-Metallhydrid-Akkumulator	394
9.11.2.4	Lithium-Ionen-Akkumulator	396
9.11.2.5	Hochtemperaturbatterien	399
9.11.3	Brennstoffzellen	402
9.12	Elektrochemische Korrosion	410

## Anorganische Chemie

<b>10</b>	<b>Wasserstoff</b>	<b>414</b>
10.1	Allgemeines	414
10.2	Elementarer Wasserstoff	414
10.3	Hydride	416
10.4	Wasser	416
10.5	Wasserstoffperoxid	419
10.6	Deuterium, schweres Wasser, Tritium	420
<b>11</b>	<b>Elemente der I. Hauptgruppe (Alkalimetalle)</b>	<b>421</b>
11.1	Allgemeines	421
11.2	Lithium und Lithiumverbindungen	422
11.3	Natrium und Natriumverbindungen	424
11.3.1	Allgemeines	424
11.3.2	Metallisches Natrium	424
11.3.3	Natriumchlorid, NaCl	425
11.3.4	Natriumhydroxid, NaOH	426
11.3.5	Natriumcarbonat, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	427
11.3.6	Natriumsulfat, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	429
11.3.7	Weitere Natriumverbindungen	429
11.4	Kalium und Kaliumverbindungen	431
11.4.1	Allgemeines	431
11.4.2	Metallisches Kalium	431
11.4.3	Kaliumhydroxid, KOH	432
11.4.4	Kaliumnitrat, KNO <sub>3</sub>	432
11.4.5	Kaliumcarbonat, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	433
11.4.6	Weitere Kaliumverbindungen	433
11.4.7	Kalidüngemittel	434
11.5	Rubidium, Caesium und ihre Verbindungen	434
<b>12</b>	<b>Elemente der II. Hauptgruppe (Berylliumgruppe)</b>	<b>436</b>
12.1	Allgemeines	436
12.2	Beryllium und Berylliumverbindungen	437

12.3	Magnesium und Magnesiumverbindungen	438
12.3.1	Allgemeines	438
12.3.2	Metallisches Magnesium	438
12.3.3	Magnesiumverbindungen	439
12.4	Calcium und Calciumverbindungen	440
12.4.1	Allgemeines	440
12.4.2	Metallisches Calcium	441
12.4.3	Calciumcarbonat, $\text{CaCO}_3$	441
12.4.4	Calciumoxid, $\text{CaO}$	443
12.4.5	Calciumhydroxid, $\text{Ca(OH)}_2$	444
12.4.6	Calciumsulfat, $\text{CaSO}_4$	445
12.4.7	Calciumcarbid, $\text{CaC}_2$	445
12.4.8	Weitere Calciumverbindungen	446
12.4.9	Calciumdüngemittel	446
12.4.10	Wasserhärte	446
12.5	Strontium, Barium und ihre Verbindungen	449
12.6	Radium und Radiumverbindungen	450
<b>13</b>	<b>Elemente der III. Hauptgruppe (Borgruppe, Triele, Gruppe 13)</b>	<b>451</b>
13.1	Allgemeines	451
13.2	Bor und Borverbindungen	452
13.2.1	Allgemeines	452
13.2.2	Elementares Bor	452
13.2.3	Borsäure, $\text{H}_3\text{BO}_3$	453
13.2.4	Weitere Borverbindungen	453
13.3	Aluminium und Aluminiumverbindungen	454
13.3.1	Allgemeines	454
13.3.2	Metallisches Aluminium	455
13.3.3	Aluminiumoxid, $\text{Al}_2\text{O}_3$	458
13.3.4	Aluminiumhydroxid, $\text{Al(OH)}_3$	458
13.3.5	Aluminiumsulfat und Alaun	459
13.3.6	Sonstige Aluminiumverbindungen	459
13.4	Gallium, Indium, Thallium und ihre Verbindungen	460
<b>14</b>	<b>Elemente der IV. Hauptgruppe (Kohlenstoffgruppe, Tetrele, Gruppe 14)</b>	<b>462</b>
14.1	Allgemeines	462
14.2	Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen	463
14.2.1	Allgemeines	463
14.2.2	Elementarer Kohlenstoff	464
14.2.2.1	Modifikatione	464
14.2.2.2	Kohlenstoff-Werkstoffe	467
14.2.3	Kohlenstoffmonoxid, $\text{CO}$	468
14.2.4	Kohlenstoffdioxid, $\text{CO}_2$	469
14.2.5	Kohlensäure, $\text{H}_2\text{CO}_3$	471
14.2.6	Carbonate	471
14.2.7	Carbide	471
14.2.8	Derivate der Kohlensäure	472
14.2.9	Cyan und Cyanverbindungen	473
14.3	Silicium und Siliciumverbindungen	474
14.3.1	Allgemeines	474

14.3.2	Elementares Silicium	475
14.3.3	Siliciumdioxid, SiO <sub>2</sub>	475
14.3.4	Kieselsäuren und Silicate	476
14.3.5	Natürliche Silicate	478
14.3.6	Künstliche Silicate	479
14.3.7	Weitere Siliciumverbindungen	482
14.4	Germanium und Germaniumverbindungen	482
14.5	Zinn und Zinnverbindungen	483
14.5.1	Allgemeines	483
14.5.2	Elementares Zinn	483
14.5.3	Zinnverbindungen	484
14.6	Blei und Bleiverbindungen	485
14.6.1	Allgemeines	485
14.6.2	Metallisches Blei	485
14.6.3	Bleiverbindungen	486
<b>15</b>	<b>Elemente der V. Hauptgruppe (Stickstoffgruppe, Pentele, Gruppe 15)</b>	<b>488</b>
15.1	Allgemeines	488
15.2	Stickstoff und Stickstoffverbindungen	489
15.2.1	Allgemeines	489
15.2.2	Elementarer Stickstoff	489
15.2.3	Ammoniak, NH <sub>3</sub>	490
15.2.4	Ammoniumverbindungen	493
15.2.5	Oxide des Stickstoffs	494
15.2.6	Salpetersäure und Nitrate	495
15.2.7	Kalkstickstoff	498
15.2.8	Weitere Stickstoffverbindungen	498
15.2.9	Stickstoffdüngemittel	499
15.3	Phosphor und Phosphorverbindungen	500
15.3.1	Allgemeines	500
15.3.2	Elementarer Phosphor	501
15.3.3	Phosphorsäuren und Phosphate	502
15.3.4	Phosphordüngemittel	504
15.3.5	Weitere Phosphorverbindungen	505
15.4	Arsen und Arsenverbindungen	506
15.5	Antimon und Antimonverbindungen	507
15.6	Bismut und Bismutverbindungen	508
<b>16</b>	<b>Elemente der VI. Hauptgruppe (Chalkogene, Gruppe 16)</b>	<b>510</b>
16.1	Allgemeines	510
16.2	Sauerstoff und Sauerstoffverbindungen	511
16.2.1	Allgemeines	511
16.2.2	Disauerstoff (Gewöhnlicher Sauerstoff)	511
16.2.3	Trisauerstoff (Ozon), O <sub>3</sub>	513
16.2.4	Oxide und Hydroxide	514
16.2.5	Peroxide	515
16.3	Schwefel und Schwefelverbindungen	515
16.3.1	Allgemeines	515
16.3.2	Elementarer Schwefel	516
16.3.3	Schwefelwasserstoff, Sulfan, H <sub>2</sub> S	517
16.3.4	Schwefeldioxid, SO <sub>2</sub>	519

16.3.5	Schweflig Säure und Sulfit	520
16.3.6	Schwefeltrioxid, $\text{SO}_2$	520
16.3.7	Schwefelsäure, $\text{H}_2\text{SO}_4$	520
16.3.8	Sulfate	523
16.3.9	Weitere Schwefelverbindungen	523
16.4	Selen und Selenverbindungen	524
16.5	Tellur und Tellurverbindungen	526
16.6	Polonium und Poloniumverbindungen	526
<b>17</b>	<b>Elemente der VII. Hauptgruppe (Halogene, Gruppe 17)</b>	<b>527</b>
17.1	Allgemeines	527
17.2	Fluor und Fluorverbindungen	528
17.2.1	Allgemeines	528
17.2.2	Elementares Fluor, $\text{F}_2$	529
17.2.3	Fluorverbindungen	529
17.3	Chlor und Chlorverbindungen	530
17.3.1	Allgemeines	530
17.3.2	Elementares Chlor, $\text{Cl}_2$	531
17.3.3	Chlorwasserstoff und Salzsäure	532
17.3.4	Chloride	533
17.3.5	Sauerstoffsäuren des Chlors und ihre Salze	534
17.3.6	Weitere Chlorverbindungen	535
17.4	Brom und Bromverbindungen	535
17.5	Iod und Iodverbindungen	536
17.6	Astat und Astatverbindungen	537
<b>18</b>	<b>Elemente der VIII. Hauptgruppe (Edelgase, Gruppe 18)</b>	<b>538</b>
<b>19</b>	<b>Die Nebengruppenelemente und ihre Verbindungen</b>	<b>541</b>
19.1	Allgemeines	541
19.2	Oxidationsstufen der Nebengruppenelemente	541
<b>20</b>	<b>Elemente der 1. Nebengruppe (Kupfergruppe, Gruppe 11)</b>	<b>542</b>
20.1	Kupfer und Kupferverbindungen	542
20.1.1	Allgemeines	542
20.1.2	Metallisches Kupfer	543
20.1.3	Kupferverbindungen	544
20.2	Silber und Silberverbindungen	547
20.2.1	Allgemeines	547
20.2.2	Metallisches Silber	547
20.2.3	Silberverbindungen	548
20.3	Gold und Goldverbindungen	550
<b>21</b>	<b>Elemente der 2. Nebengruppe (Zinkgruppe, Gruppe 12)</b>	<b>552</b>
21.1	Zink und Zinkverbindungen	552
21.1.1	Allgemeines	552
21.1.2	Metallisches Zink	553
21.1.3	Zinkverbindungen	554
21.2	Cadmium und Cadmiumverbindungen	555
21.3	Quecksilber und Quecksilberverbindungen	556
21.3.1	Allgemeines	556
21.3.2	Metallisches Quecksilber	556

21.3.3	Quecksilber(I)-verbindungen	557
21.3.4	Quecksilber(II)-verbindungen	557
<b>22</b>	<b>Elemente der 3. Nebengruppe (Scandiumgruppe, Gruppe 3)</b>	<b>559</b>
22.1	Allgemeines	559
22.2	Scandium, Yttrium und Lutetium	560
22.3	Lanthanoide	561
22.4	Actinoide	563
22.4.1	Allgemeines	563
22.4.2	Thorium und Thoriumverbindungen	564
22.4.3	Uran und Uranverbindungen	565
22.4.4	Neptunium und Plutonium	566
22.4.5	Höhere Transurane	567
<b>23</b>	<b>Elemente der 4. Nebengruppe (Titangruppe, Gruppe 4)</b>	<b>569</b>
23.1	Titan und Titanverbindungen	569
23.2	Zirconium, Hafnium und ihre Verbindungen	571
<b>24</b>	<b>Elemente der 5. Nebengruppe (Vanadiumgruppe, Gruppe 5)</b>	<b>572</b>
24.1	Allgemeines	572
24.2	Vanadium und Vanadiumverbindungen	572
24.3	Niob und Niobverbindungen	574
24.4	Tantal und Tantalverbindungen	574
<b>25</b>	<b>Elemente der 6. Nebengruppe (Chromgruppe, Gruppe 6)</b>	<b>576</b>
25.1	Allgemeines	576
25.2	Chrom und Chromverbindungen	577
25.2.1	Allgemeines	577
25.2.2	Metallisches Chrom	577
25.2.3	Chromverbindungen	578
25.3	Molybdän und Molybdänverbindungen	580
25.4	Wolfram und Wolframverbindungen	581
<b>26</b>	<b>Elemente der 7. Nebengruppe (Mangangruppe, Gruppe 7)</b>	<b>583</b>
26.1	Allgemeines	583
26.2	Mangan und Manganverbindungen	583
26.2.1	Allgemeines	583
26.2.2	Metallisches Mangan	584
26.2.3	Manganverbindungen	584
26.3	Technetium und Technetiumverbindungen	586
26.4	Rhenium und Rheniumverbindungen	587
<b>27</b>	<b>Elemente der 8. Nebengruppe (Gruppen 8, 9 und 10)</b>	<b>588</b>
27.1	Allgemeines	588
27.2	Eisen und Eisenverbindungen	590
27.2.1	Allgemeines	590
27.2.2	Metallisches Eisen	590
27.2.2.1	Reineisen	590
27.2.2.2	Kohlenstoffhaltiges Eisen	591
27.2.2.3	Stahl	592
27.2.2.4	Rostschutz	594
27.2.3	Eisenmetallurgie	595
27.2.3.1	Übersicht (vereinfacht)	595
27.2.3.2	Erzeugung von Roheisen	595

	27.2.3.3	Glühfrischen (Tempern)	597
	27.2.3.4	Herstellung von Stahl	597
	27.2.4	Eisenverbindungen	599
27.3		Cobalt und Cobaltverbindungen	602
27.4		Nickel und Nickelverbindungen	604
27.5		Leichte Platinmetalle	606
	27.5.1	Ruthenium und Rutheniumverbindungen	606
	27.5.2	Rhodium und Rhodiumverbindungen	607
	27.5.3	Palladium und Palladiumverbindungen	608
27.6		Schwere Platinmetalle	608
	27.6.1	Osmium und Osmiumverbindungen	608
	27.6.2	Iridium und Iridiumverbindungen	609
	27.6.3	Platin und Platinverbindungen	610
<b>28</b>		<b>Nomenklatur anorganischer Verbindungen</b>	<b>612</b>
28.1		Namen der binären Verbindungen	612
28.2		Namen mehratomiger (komplexer) Kationen und Anionen	613
28.3		Namen der Säuren	615
28.4		Namen der Salze	616
<b>Organische Chemie</b>			
<b>29</b>		<b>Theoretische Grundlagen der organischen Chemie</b>	<b>618</b>
29.1		Allgemeines	618
29.2		Isomerie	619
	29.2.1	Strukturisomerie	619
	29.2.2	Stereoisomerie	621
29.3		Reaktionsarten	625
	29.3.1	Substitution (Kurzzeichen S)	625
	29.3.2	Addition (Kurzzeichen A)	626
	29.3.3	Eliminierung (Kurzzeichen E)	628
29.4		Mesomerie (Resonanz)	628
29.5		Substituenteneffekte	631
	29.5.1	Übersicht	631
	29.5.2	Der I-Effekt	631
	29.5.3	Der M-Effekt	633
29.6		Reaktionstypen	634
	29.6.1	Grundlagen	634
	29.6.2	Übersicht über die Reaktionstypen	636
	29.6.3	Radikalische Reaktionen	636
	29.6.4	Nukleophile Reaktionen	637
	29.6.5	Elektrophile Reaktionen	639
29.7		Einteilung der organischen Verbindungen	641
<b>30</b>		<b>Acyclische Kohlenwasserstoffe</b>	<b>643</b>
30.1		Allgemeines	643
30.2		Alkane	643
	30.2.1	Konstitution und allgemeine Eigenschaften	643
	30.2.2	Chemische Eigenschaften der Alkane	644
	30.2.3	Vorkommen und Verwendung der Alkane	645
	30.2.4	Herstellung von Alkanen	646



30.3	Alkene und Alkadiene	647
30.3.1	Herstellung von Alkenen	647
30.3.2	Wichtige Alkene und Alkadiene	647
30.4	Alkine (Acetylene, Acetylenkohlenwasserstoffe)	649
<b>31</b>	<b>Erdöl und Erdgas</b>	<b>653</b>
31.1	Arten und Entstehung	653
31.2	Gewinnung und Verarbeitung	654
31.3	Octanzahl	655
31.4	Cetanzahl	656
31.5	Crackverfahren (Spaltverfahren)	656
31.5.1	Thermisches Cracken	656
31.5.2	Katalytisches Cracken	657
31.6	Katalytisches Reformieren	657
<b>32</b>	<b>Kohle</b>	<b>659</b>
32.1	Arten und Entstehung der Kohle	659
32.2	Veredlung der Kohle	660
32.2.1	Brikettierung	660
32.2.2	Entgasung von Kohle (Trockendestillation, Zersetzungsdestillation)	660
32.2.3	Vergasung von Kohle	661
32.2.4	Katalytische Hydrierung von Kohleprodukten	662
<b>33</b>	<b>Acyclische Sauerstoffverbindungen</b>	<b>663</b>
33.1	Acyclische Alkohole	663
33.1.1	Darstellungsmethoden für Alkanole	664
33.1.2	Eigenschaften von Alkanolen	664
33.1.3	Einwertige Alkanole	665
33.1.4	Mehrwertige Alkanole	667
33.2	Acyclische Ether	669
33.3	Acyclische Aldehyde	670
33.3.1	Allgemeines	670
33.3.2	Einzelne Aldehyde	673
33.4	Acyclische Ketone	674
33.4.1	Allgemeines	674
33.4.2	Einzelne Ketone	674
33.5	Acyclische Carbonsäuren und Hydroxycarbonsäuren	675
33.5.1	Allgemeines	675
33.5.2	Alkanmonosäuren (gesättigte acyclische Monocarbonsäuren, Fettsäuren)	676
33.5.3	Alkenmonosäuren (ungesättigte acyclische Monocarbonsäuren)	678
33.5.4	Alkandisäuren (acyclische Dicarbonsäuren)	680
33.5.5	Hydroxyalkansäuren (gesättigte acyclische Hydroxycarbonsäuren)	681
<b>34</b>	<b>Acyclische Halogenverbindungen</b>	<b>683</b>
34.1	Halogenalkane (Alkylhalogenide)	683
34.2	Wichtige Halogenalkane und -alkene	685
34.3	Alkanoylhalogenide (Acylhalogenide, Carbonsäurehalogenide)	686
<b>35</b>	<b>Acyclische Ester</b>	<b>688</b>
35.1	Allgemeines	688
35.2	Ester der Schwefelsäure (Alkylsulfate)	688
35.3	Ester der Salpetersäure (Alkylnitrate)	689
35.4	Ester der Borsäure (Alkylborate)	690

35.5	Ester der Phosphorsäure (Alkylphosphate)	690
35.6	Ester acyclischer Carbonsäuren (Alkylcarboxylate)	690
<b>36</b>	<b>Acyclische Stickstoffverbindungen</b>	<b>692</b>
36.1	Amine	692
36.2	Aminosäuren	693
36.3	Säureamide	695
36.4	Säureureide (Acylcarbamid, Acylharnstoff, Ureide)	695
36.5	Carbaminsäureester (Urethane)	696
36.6	Alkannitrile (Alkancarbonitrile, Alkylcyanide) und Alkanisonitrile (Alkancarboisonitrile)	697
36.7	Nitroalkane	697
<b>37</b>	<b>Acyclische Schwefelverbindungen</b>	<b>699</b>
37.1	Alkanthiole (Thioalkohole, Mercaptane)	699
37.2	Alkansulfonsäuren (Alkylsulfonsäuren)	699
<b>38</b>	<b>Kohlenhydrate</b>	<b>701</b>
38.1	Allgemeines	701
38.2	Monosaccharide	701
38.2.1	Pentosen	702
38.2.2	Hexosen	702
38.3	Disaccharide	705
38.4	Polysaccharide	707
<b>39</b>	<b>Carbocyclische Verbindungen</b>	<b>709</b>
39.1	Allgemeines	709
39.2	Alicyclische Verbindungen	709
39.3	Aromatische Verbindungen	711
39.3.1	Allgemeines	711
39.3.2	Aromatische Kohlenwasserstoffe (Arene)	714
39.3.3	Aromatische Halogenkohlenwasserstoffe (Halogenarene)	721
39.3.4	Phenole	722
39.3.5	Aromatische Alkohole, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren	729
39.3.6	Aromatische Sulfonsäuren (Arensulfonsäuren)	732
39.3.7	Aromatische Nitroverbindungen (Nitroarene)	733
39.3.8	Aromatische Amine	736
39.3.9	Diazoniumsalze	739
<b>40</b>	<b>Heterocyclische Verbindungen</b>	<b>741</b>
40.1	Einfache heterocyclische Verbindungen	741
40.2	Alkaloide	748
<b>41</b>	<b>Biochemisch wichtige Stoffgruppen</b>	<b>753</b>
41.1	Eiweißstoffe (Eiweiße, Eiweißkörper)	753
41.1.1	Allgemeines	753
41.1.2	Eiweiß-Aminosäuren	754
41.1.3	Wichtige Proteine	756
41.1.4	Wichtige Proteide	756
41.2	Lipide	757
41.3	Nucleinsäuren	760
41.4	Vitamine	762
41.4.1	Allgemeines	762
41.4.2	Einzelne Vitamine	762

41.5	Hormone	767
41.5.1	Allgemeines	767
41.5.2	Einige spezielle Hormone	767
41.6	Enzyme	770
41.7	Steroide	770
41.8	Antibiotika	772
<b>42</b>	<b>Sondergebiete der organischen Chemie</b>	<b>774</b>
42.1	Organische Farbstoffe	774
42.1.1	Allgemeines	774
42.1.2	Wichtige chemische Farbstoffklassen	775
42.1.3	Wichtige färbetechnische Farbstoffklassen	784
42.2	Terpene	785
42.3	Tenside (grenzflächenaktive Stoffe)	788
42.4	Pestizide	791
42.4.1	Allgemeines	791
42.4.2	Insektizide	792
<b>43</b>	<b>Makromolekulare organisch-chemische Werkstoffe</b>	<b>794</b>
43.1	Kunststoffe	794
43.1.1	Allgemeines	794
43.1.2	Polyreaktionen	794
43.1.3	Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere	796
43.2	Vollsynthetische Kunststoffe	797
43.2.1	Polyethen	797
43.2.2	Polypropen	798
43.2.3	Polystyrol (Polystyren)	799
43.2.4	Polyvinylchlorid	799
43.2.5	Phenoplaste	800
43.2.6	Polyester	801
43.2.7	Polyepoxide (Epoxidharze)	802
43.2.8	Polyamide	803
43.2.9	Aminoplaste	804
43.2.10	Polyurethane	805
43.2.11	Sonstige vollsynthetische Kunststoffe	806
43.3	Kunststoffe als Umwandlungsprodukte hochmolekularer Naturstoffe	808
43.4	Elastomere	810
43.4.1	Allgemeines	810
43.4.2	Naturkautschuk	810
43.4.3	Synthesekautschuk (Butadien-Mischpolymerisate)	811
43.4.4	Weitere Elastomere	811
43.5	Chemiefaserstoffe	812
43.5.1	Allgemeines	812
43.5.2	Polyamidfaserstoffe	814
43.5.3	Polyacrylnitrilfaserstoffe	815
43.5.4	Polyesterfaserstoffe	816
43.5.5	Sonstige vollsynthetische Faserstoffe	816
43.5.6	Regeneratcellulosefaserstoffe	817
43.5.7	Celluloseacetatfaserstoff (Acetatfaserstoff)	818
43.6	Silicone	818

<b>44</b>	<b>Nomenklatur organischer Verbindungen</b>	<b>820</b>
44.1	Allgemeines	820
44.2	Stammverbindungen	821
44.3	Ungesättigte Verbindungen	822
44.4	Reste (Radikale)	824
44.5	Verzweigt-kettige Verbindungen	826
44.6	Verbindungen mit Funktionen	830
44.7	Kennzeichnung optisch-aktiver Verbindungen	835
44.7.1	Allgemeines	835
44.7.2	Das D/L-System	835
44.7.3	Das R/S-System	839
<b>Anhang</b>		
<b>Tafelanhang</b>		<b>848</b>
<b>Tafel 1</b>	Alphabetisches Verzeichnis der Elementsymbole	848
<b>Tafel 2</b>	Elektronenbesetzung der Elemente	850
<b>Tafel 3</b>	Verzeichnis der Elemente (nach der Ordnungszahl)	852
<b>Tafel 4</b>	Relative Atommassen der Elemente, die als Reinelemente oder als natürliches Isotopengemisch auftreten	855
<b>Tafel 5</b>	Kunststoffe – Kennbuchstaben und Kurzzeichen (DIN EN ISO 1043-1)	857
	1. Homopolymere, Polykondensations- und Polyadditionsprodukte (Auswahl)	857
	2. Copolymere	858
	3. Kennbuchstaben für besondere Eigenschaften	858
<b>Tafel 6</b>	Internationale Gefahrstoffkennzeichnung	859
<b>Tafel 7</b>	Verzeichnis der Formelzeichen für physikalisch-chemische Größen	864
<b>Tafel 8</b>	Internationales Einheitensystem (SI)	868
<b>Tafel 9</b>	Griechisches Alphabet	869
<b>Sachwortverzeichnis Begriffe</b>		<b>870</b>
<b>Sachwortverzeichnis Stoffe</b>		<b>888</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>919</b>