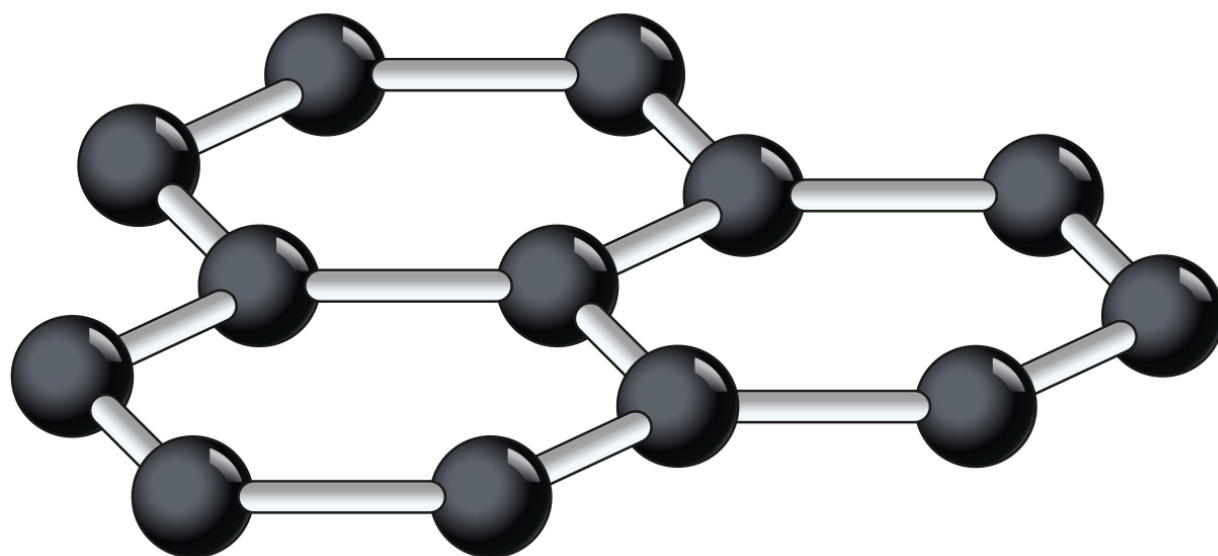


Lautenschläger  
Weber



# TASCHENBUCH DER CHEMIE

Edition  
Harri   
Deutsch 



**Taschenbuch  
der  
Chemie**





Edition  
Harri   
Deutsch 

# Taschenbuch der Chemie

von

Dr. Karl-Heinz Lautenschläger

Prof. Dr. Wolfgang Weber

**23. 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 em. Dr. Wolfgang Weber  
Fakultät für Angewandte Geistes- und Naturwissenschaften  
Technische Hochschule Augsburg  
wolfgang.weber@tha.de

23. Auflage 2025

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5959-8

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

Alle Abbildungen wurden nach Entwürfen der Autoren vom Verlag erstellt.

© 2025 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09212 Limbach-Oberfrohna  
Umschlag: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern  
Umschlagkonzept: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

# Vorwort zur 23. Auflage

Mein sehr geschätzter Coautor Dr. paed. habil. Karl-Heinz Lautenschläger, Dresden, begründete zusammen mit Werner Schröter (†), Leipzig, das Taschenbuch der Chemie (TBC) bereits 1963. Leider verstarb Herr Dr. Lautenschläger nach Fertigstellung der 21. Auflage. Da ich das TBC seit Jahren als Autor begleite, ist es mir eine große Ehre, es in seinem Sinn weiterführen zu dürfen und Ihnen hier eine weitere Neuauflage an die Hand geben zu können.

## Die Chemie entwickelt sich rasant weiter

- Nahezu „das ganze Periodensystem“ wird für High-Tech-Produkte verwendet, nicht mehr nur einige häufige, bekannte Elemente.
- Der Klimawandel bedingt das Umsteigen von fossilen auf erneuerbare Energien. Dazu sind aber leistungsfähige Speichermedien nötig, die die Elektrochemie bereitstellt.
- Elektromobilität steht und fällt mit potenten Akkusystemen – auch hier ist die Elektrochemie gefordert.
- Die Rohstoffbasis der organischen Chemie verlagert sich von fossilen auf nachwachsende Rohstoffe und damit auf neue Plattformchemikalien und Verfahren.
- Katalysatoren verhelfen zu immer effizienteren und energiesparenderen Synthesen.
- Die Materialwissenschaften und die Biochemie boomen!
- 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 Bedeutung der Chemie innerhalb der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) Rechnung. Aufgabe des TBC ist es hierbei, Leserinnen und Lesern einen pädagogisch fundierten Leitfaden der allgemeinen, anorganischen und organischen Chemie an die Hand zu geben. Das TBC erklärt die wichtigen Grundlagen verständlich und trotzdem sehr exakt. Und es schlägt die Brücke zu interessanten Anwendungen.

Die 23. Auflage wurde wieder gründlich auf den aktuellen Stand gebracht und in ihrer Darstellung moderner. So ist z. B. den Lanthanoiden – deren zunehmender Bedeutung und Verwendung in Technik und Medizin entsprechend – ein ausführliches Kapitel gewidmet. Weitere ▲ Beispiele erleichtern das Verständnis. Zur besseren und schnelleren Übersicht verwenden wir seit der 22. Auflage Blau als zweite Farbe in Text und Abbildungen. Detailspekte lassen sich leicht „googlen“, aber nur mit einem fundierten Grundwissen kann man sie richtig einordnen, verstehen und anwenden!

Das TBC baut jeden Sachverhalt stufenweise in die Tiefe auf – vom einfachen Einstieg bis zu ausführlicheren, komplexen Aspekten. Damit lässt sich selbst entscheiden, wie tief man in ein Thema einsteigen will. Das TBC wächst sozusagen mit dem Wissen der Leserinnen und Leser mit! Viele Querverweise und Beispiele erleichtern es, einen Aspekt schnell und dennoch ausführlich zu erfassen.

Es eignet sich daher

- für Schülerinnen und Schülern an Gymnasien und berufsbildenden Einrichtungen,
- für Studierende an Hochschulen und Universitäten mit Chemie als Grundlagenfach,
- als Handbuch für Berufstätige und
- als Leitfaden für Dozenten.

## Danksagungen

Für Beiträge, Anregungen, fachlichen Input und wertvolle Diskussionen danke ich sehr herzlich: Dr. Karl-Heinz Ehrhardt (†), Rehling; Prof. Dr. Henning Hoeppe, Augsburg; Prof. Dr. Günter E. Jeromin, Aachen; Dr. Thomas Kast, Stuttgart (Übernahme des hier verwendeten Periodensystems in den RÖMPP); Prof. Dr. Friedhelm Kober, Darmstadt; Prof. Dr. Holger Kohlmann, Leipzig; Prof. Dr. Ulrich E. Steiner, Konstanz (Elektrochemie); Prof. Dr. Peter Tautzenberger, Augsburg (Kennzeichnung der Stähle und NE-Metalle) und Prof. Dr. Dirk Volkmer, Augsburg.

Das TBC lebt u. a. von Rückkopplungen der Leserinnen und Leser – ich freue mich daher sehr über Zuschriften und bedanke mich herzlich dafür!

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

Augsburg, 2025

Wolfgang Weber

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

Autor und Verlag Europa-Lehrmittel  
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselderger Str. 23  
42781 Haan-Gruiten  
lektorat@europa-lehrmittel.de  
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	78
3.5.4	p-Orbitale – p-Elektronen	79

3.5.5	d-Orbitale und f-Orbitale . . . . .	83
3.5.6	Hauptenergieniveaus – Nebenenergieniveaus . . . . .	84
<b>4</b>	<b>Periodensystem der Elemente . . . . .</b>	<b>87</b>
4.1	Gesetz der Periodizität . . . . .	87
4.2	Aufbau des Periodensystems . . . . .	87
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 – Einflüsse 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	Einflüsse 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 <sub>S</sub> -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 . . . . .	295
8.5.4	BORN-HABERScher Kreisprozess . . . . .	297
8.6	Thermodynamische Reaktionstriebkraft 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, Gruppe 1)</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, Gruppe 2)</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, $\text{Al}_2\text{O}_3$	457
13.3.4	Aluminiumhydroxid, $\text{Al(OH)}_3$	458
13.3.5	Aluminiumsulfat und Alaun	458
13.3.6	Sonstige Aluminiumverbindungen	458
13.4	Gallium, Indium, Thallium und ihre Verbindungen	459
<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	Modifikationen	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	472
14.2.8	Derivate der Kohlensäure	472
14.2.9	Cyan und Cyanverbindungen	473
14.3	Silicium und Siliciumverbindungen	475
14.3.1	Allgemeines	475
14.3.2	Elementares Silicium	475

14.3.3	Siliciumdioxid, SiO <sub>2</sub> . . . . .	476
14.3.4	Kieselsäuren und Silicate . . . . .	476
14.3.5	Natürliche Silicate . . . . .	478
14.3.6	Künstliche Silicate . . . . .	480
14.3.7	Weitere Siliciumverbindungen . . . . .	482
14.4	Germanium und Germaniumverbindungen . . . . .	483
14.5	Zinn und Zinnverbindungen . . . . .	483
14.5.1	Allgemeines . . . . .	483
14.5.2	Elementares Zinn . . . . .	484
14.5.3	Zinnverbindungen . . . . .	485
14.6	Blei und Bleiverbindungen . . . . .	485
14.6.1	Allgemeines . . . . .	485
14.6.2	Metallisches Blei . . . . .	486
14.6.3	Bleiverbindungen . . . . .	487
<b>15</b>	<b>Elemente der V. Hauptgruppe (Stickstoffgruppe, Pentele, Gruppe 15)</b> . . . . .	<b>489</b>
15.1	Allgemeines . . . . .	489
15.2	Stickstoff und Stickstoffverbindungen . . . . .	490
15.2.1	Allgemeines . . . . .	490
15.2.2	Elementarer Stickstoff . . . . .	490
15.2.3	Ammoniak, NH <sub>3</sub> . . . . .	491
15.2.4	Ammoniumverbindungen . . . . .	494
15.2.5	Oxide des Stickstoffs . . . . .	495
15.2.6	Salpetersäure und Nitrate . . . . .	496
15.2.7	Kalkstickstoff . . . . .	499
15.2.8	Weitere Stickstoffverbindungen . . . . .	499
15.2.9	Stickstoffdüngemittel . . . . .	500
15.3	Phosphor und Phosphorverbindungen . . . . .	502
15.3.1	Allgemeines . . . . .	502
15.3.2	Elementarer Phosphor . . . . .	502
15.3.3	Phosphorsäuren und Phosphate . . . . .	504
15.3.4	Phosphordüngemittel . . . . .	506
15.3.5	Weitere Phosphorverbindungen . . . . .	507
15.4	Arsen und Arsenverbindungen . . . . .	508
15.5	Antimon und Antimonverbindungen . . . . .	508
15.6	Bismut und Bismutverbindungen . . . . .	510
<b>16</b>	<b>Elemente der VI. Hauptgruppe (Chalkogene, Gruppe 16)</b> . . . . .	<b>511</b>
16.1	Allgemeines . . . . .	511
16.2	Sauerstoff und Sauerstoffverbindungen . . . . .	512
16.2.1	Allgemeines . . . . .	512
16.2.2	Disauerstoff (Gewöhnlicher Sauerstoff) . . . . .	512
16.2.3	Trisauerstoff (Ozon), O <sub>3</sub> . . . . .	514
16.2.4	Oxide und Hydroxide . . . . .	515
16.2.5	Peroxide . . . . .	516
16.3	Schwefel und Schwefelverbindungen . . . . .	516
16.3.1	Allgemeines . . . . .	516
16.3.2	Elementarer Schwefel . . . . .	517
16.3.3	Schwefelwasserstoff, Sulfan, H <sub>2</sub> S . . . . .	518
16.3.4	Schwefeldioxid, SO <sub>2</sub> . . . . .	520
16.3.5	Schweflige Säure und Sulfite . . . . .	521

16.3.6	Schwefeltrioxid, $\text{SO}_3$	521
16.3.7	Schwefelsäure, $\text{H}_2\text{SO}_4$	521
16.3.8	Sulfate	524
16.3.9	Weitere Schwefelverbindungen	524
16.4	Selen und Selenverbindungen	525
16.5	Tellur und Tellurverbindungen	527
16.6	Polonium und Poloniumverbindungen	527
<b>17</b>	<b>Elemente der VII. Hauptgruppe (Halogene, Gruppe 17)</b>	<b>528</b>
17.1	Allgemeines	528
17.2	Fluor und Fluorverbindungen	529
17.2.1	Allgemeines	529
17.2.2	Elementares Fluor, $\text{F}_2$	530
17.2.3	Fluorverbindungen	530
17.3	Chlor und Chlorverbindungen	531
17.3.1	Allgemeines	531
17.3.2	Elementares Chlor, $\text{Cl}_2$	532
17.3.3	Chlorwasserstoff und Salzsäure	533
17.3.4	Chloride	534
17.3.5	Sauerstoffsäuren des Chlors und ihre Salze	535
17.3.6	Weitere Chlorverbindungen	536
17.4	Brom und Bromverbindungen	536
17.5	Iod und Iodverbindungen	537
17.6	Astat und Astatverbindungen	538
<b>18</b>	<b>Elemente der VIII. Hauptgruppe (Edelgase, Gruppe 18)</b>	<b>539</b>
<b>19</b>	<b>Die Nebengruppenelemente und ihre Verbindungen</b>	<b>542</b>
19.1	Allgemeines	542
19.2	Oxidationsstufen der Nebengruppenelemente	542
<b>20</b>	<b>Elemente der 1. Nebengruppe (Kupfergruppe, Gruppe 11)</b>	<b>543</b>
20.1	Kupfer und Kupferverbindungen	543
20.1.1	Allgemeines	543
20.1.2	Metallisches Kupfer	544
20.1.3	Kupferverbindungen	545
20.2	Silber und Silberverbindungen	548
20.2.1	Allgemeines	548
20.2.2	Metallisches Silber	548
20.2.3	Silberverbindungen	549
20.3	Gold und Goldverbindungen	551
<b>21</b>	<b>Elemente der 2. Nebengruppe (Zinkgruppe, Gruppe 12)</b>	<b>553</b>
21.1	Zink und Zinkverbindungen	553
21.1.1	Allgemeines	553
21.1.2	Metallisches Zink	554
21.1.3	Zinkverbindungen	555
21.2	Cadmium und Cadmiumverbindungen	556
21.3	Quecksilber und Quecksilberverbindungen	557
21.3.1	Allgemeines	557
21.3.2	Metallisches Quecksilber	557
21.3.3	Quecksilber(I)-verbindungen	558
21.3.4	Quecksilber(II)-verbindungen	558

<b>22</b>	<b>Elemente der 3. Nebengruppe (Scandiumgruppe, Gruppe 3)</b>	<b>560</b>
22.1	Allgemeines	560
22.2	Scandium, Yttrium, Lutetium und Lawrencium	561
<b>23</b>	<b>Lanthanoide</b>	<b>563</b>
<b>24</b>	<b>Actinoide</b>	<b>568</b>
24.1	Allgemeines	568
24.2	Thorium und Thoriumverbindungen	569
24.3	Uran und Uranverbindungen	570
24.4	Neptunium	571
24.5	Plutonium	572
24.6	Höhere Transurane	572
<b>25</b>	<b>Elemente der 4. Nebengruppe (Titangruppe, Gruppe 4)</b>	<b>575</b>
25.1	Titan und Titanverbindungen	575
25.2	Zirconium, Hafnium und ihre Verbindungen	577
<b>26</b>	<b>Elemente der 5. Nebengruppe (Vanadiumgruppe, Gruppe 5)</b>	<b>578</b>
26.1	Allgemeines	578
26.2	Vanadium und Vanadiumverbindungen	578
26.3	Niob und Niobverbindungen	580
26.4	Tantal und Tantalverbindungen	580
<b>27</b>	<b>Elemente der 6. Nebengruppe (Chromgruppe, Gruppe 6)</b>	<b>582</b>
27.1	Allgemeines	582
27.2	Chrom und Chromverbindungen	583
27.2.1	Allgemeines	583
27.2.2	Metallisches Chrom	583
27.2.3	Chromverbindungen	584
27.3	Molybdän und Molybdänverbindungen	586
27.4	Wolfram und Wolframverbindungen	587
<b>28</b>	<b>Elemente der 7. Nebengruppe (Mangangruppe, Gruppe 7)</b>	<b>589</b>
28.1	Allgemeines	589
28.2	Mangan und Manganverbindungen	589
28.2.1	Allgemeines	589
28.2.2	Metallisches Mangan	590
28.2.3	Manganverbindungen	590
28.3	Technetium und Technetiumverbindungen	592
28.4	Rhenium und Rheniumverbindungen	593
<b>29</b>	<b>Elemente der 8. Nebengruppe (Gruppen 8, 9 und 10)</b>	<b>594</b>
29.1	Allgemeines	594
29.2	Eisen und Eisenverbindungen	596
29.2.1	Allgemeines	596
29.2.2	Metallisches Eisen	596
29.2.2.1	Reineisen	596
29.2.2.2	Kohlenstoffhaltiges Eisen	597
29.2.2.3	Stahl	598
29.2.2.4	Rostschutz	600
29.2.3	Eisenmetallurgie	601
29.2.3.1	Übersicht (vereinfacht)	601
29.2.3.2	Erzeugung von Roheisen	601

29.2.3.3	Glühfrischen (Tempern)	603
29.2.3.4	Herstellung von Stahl	603
29.2.4	Eisenverbindungen	605
29.3	Cobalt und Cobaltverbindungen	608
29.4	Nickel und Nickelverbindungen	610
29.5	Leichte Platinmetalle	613
29.5.1	Ruthenium und Rutheniumverbindungen	613
29.5.2	Rhodium und Rhodiumverbindungen	613
29.5.3	Palladium und Palladiumverbindungen	614
29.6	Schwere Platinmetalle	615
29.6.1	Osmium und Osmiumverbindungen	615
29.6.2	Iridium und Iridiumverbindungen	616
29.6.3	Platin und Platinverbindungen	616
<b>30</b>	<b>Nomenklatur anorganischer Verbindungen</b>	<b>619</b>
30.1	Namen der binären Verbindungen	619
30.2	Namen mehratomiger (komplexer) Kationen und Anionen	620
30.3	Namen der Säuren	622
30.4	Namen der Salze	623
<b>Organische Chemie</b>		
<b>31</b>	<b>Theoretische Grundlagen der organischen Chemie</b>	<b>626</b>
31.1	Allgemeines	626
31.2	Isomerie	627
31.2.1	Strukturisomerie	627
31.2.2	Stereoisomerie	629
31.3	Reaktionsarten	633
31.3.1	Substitution (Kurzzeichen S)	633
31.3.2	Addition (Kurzzeichen A)	634
31.3.3	Eliminierung (Kurzzeichen E)	636
31.4	Mesomerie (Resonanz)	636
31.5	Substituenteneffekte	639
31.5.1	Übersicht	639
31.5.2	Der I-Effekt	639
31.5.3	Der M-Effekt	641
31.6	Reaktionstypen	642
31.6.1	Grundlagen	642
31.6.2	Übersicht über die Reaktionstypen	644
31.6.3	Radikalische Reaktionen	644
31.6.4	Nukleophile Reaktionen	645
31.6.5	Elektrophile Reaktionen	647
31.7	Einteilung der organischen Verbindungen	649
<b>32</b>	<b>Acyclische Kohlenwasserstoffe</b>	<b>651</b>
32.1	Allgemeines	651
32.2	Alkane	651
32.2.1	Konstitution und allgemeine Eigenschaften	651
32.2.2	Chemische Eigenschaften der Alkane	652
32.2.3	Vorkommen und Verwendung der Alkane	653
32.2.4	Herstellung von Alkanen	654

32.3	Alkene und Alkadiene . . . . .	655
32.3.1	Herstellung von Alkenen . . . . .	655
32.3.2	Wichtige Alkene und Alkadiene . . . . .	655
32.4	Alkine (Acetylene) . . . . .	657
<b>33</b>	<b>Erdöl und Erdgas . . . . .</b>	<b>661</b>
33.1	Arten und Entstehung . . . . .	661
33.2	Gewinnung und Verarbeitung . . . . .	662
33.3	Octanzahl . . . . .	663
33.4	Cetanzahl . . . . .	664
33.5	Crackverfahren (Spaltverfahren) . . . . .	664
33.5.1	Thermisches Cracken . . . . .	664
33.5.2	Katalytisches Cracken . . . . .	665
33.6	Katalytisches Reformieren . . . . .	665
<b>34</b>	<b>Kohle . . . . .</b>	<b>667</b>
34.1	Arten und Entstehung der Kohle . . . . .	667
34.2	Veredlung der Kohle . . . . .	668
34.2.1	Brikettierung . . . . .	668
34.2.2	Entgasung von Kohle (Trockendestillation, Zersetzungsdestillation) . . . . .	668
34.2.3	Vergasung von Kohle . . . . .	669
34.2.4	Katalytische Hydrierung von Kohleprodukten . . . . .	670
<b>35</b>	<b>Acyclische Sauerstoffverbindungen . . . . .</b>	<b>671</b>
35.1	Acyclische Alkohole . . . . .	671
35.1.1	Darstellungsmethoden für Alkanole . . . . .	672
35.1.2	Eigenschaften von Alkanolen . . . . .	672
35.1.3	Einwertige Alkanole . . . . .	673
35.1.4	Mehrwertige Alkanole . . . . .	675
35.2	Acyclische Ether . . . . .	677
35.3	Acyclische Aldehyde . . . . .	678
35.3.1	Allgemeines . . . . .	678
35.3.2	Einzelne Aldehyde . . . . .	681
35.4	Acyclische Ketone . . . . .	682
35.4.1	Allgemeines . . . . .	682
35.4.2	Einzelne Ketone . . . . .	682
35.5	Acyclische Carbonsäuren und Hydroxycarbonsäuren . . . . .	683
35.5.1	Allgemeines . . . . .	683
35.5.2	Alkanmonosäuren (gesättigte acyclische Monocarbonsäuren, Fettsäuren) . . . . .	684
35.5.3	Alkenmonosäuren (ungesättigte acyclische Monocarbonsäuren) . . . . .	686
35.5.4	Alkandisäuren (acyclische Dicarbonsäuren) . . . . .	688
35.5.5	Hydroxyalkansäuren (gesättigte acyclische Hydroxycarbonsäuren) . . . . .	689
<b>36</b>	<b>Acyclische Halogenverbindungen . . . . .</b>	<b>691</b>
36.1	Halogenalkane (Alkylhalogenide) . . . . .	691
36.2	Wichtige Halogenalkane und -alkene . . . . .	693
36.3	Alkanoylhalogenide (Acylhalogenide, Carbonsäurehalogenide) . . . . .	694
<b>37</b>	<b>Acyclische Ester . . . . .</b>	<b>696</b>
37.1	Allgemeines . . . . .	696
37.2	Ester der Schwefelsäure (Alkylsulfate) . . . . .	696
37.3	Ester der Salpetersäure (Alkylnitrate) . . . . .	697
37.4	Ester der Borsäure (Alkylborate) . . . . .	698

37.5	Ester der Phosphorsäure (Alkylphosphate) . . . . .	698
37.6	Ester acyclischer Carbonsäuren (Alkylcarboxylate) . . . . .	698
<b>38</b>	<b>Acyclische Stickstoffverbindungen</b> . . . . .	<b>700</b>
38.1	Amine . . . . .	700
38.2	Aminosäuren . . . . .	701
38.3	Säureamide . . . . .	703
38.4	Säureureide (Acylcarbamid, Acylharnstoff, Ureide) . . . . .	703
38.5	Carbaminsäureester (Urethane) . . . . .	704
38.6	Alkannitrile (Alkancarbonitrile, Alkylcyanide) und Alkanisonitrile (Alkancarboisonitrile) . . .	705
38.7	Nitroalkane . . . . .	705
<b>39</b>	<b>Acyclische Schwefelverbindungen</b> . . . . .	<b>707</b>
39.1	Alkanthiole (Thioalkohole, Mercaptane) . . . . .	707
39.2	Alkansulfonsäuren (Alkylsulfonsäuren) . . . . .	707
<b>40</b>	<b>Kohlenhydrate</b> . . . . .	<b>709</b>
40.1	Allgemeines . . . . .	709
40.2	Monosaccharide . . . . .	709
40.2.1	Pentosen . . . . .	710
40.2.2	Hexosen . . . . .	710
40.3	Disaccharide . . . . .	713
40.4	Polysaccharide . . . . .	715
<b>41</b>	<b>Carbocyclische Verbindungen</b> . . . . .	<b>717</b>
41.1	Allgemeines . . . . .	717
41.2	Alicyclische Verbindungen . . . . .	717
41.3	Aromatische Verbindungen . . . . .	719
41.3.1	Allgemeines . . . . .	719
41.3.2	Aromatische Kohlenwasserstoffe (Arene) . . . . .	722
41.3.3	Aromatische Halogenkohlenwasserstoffe (Halogenarene) . . . . .	729
41.3.4	Phenole . . . . .	730
41.3.5	Aromatische Alkohole, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren . . . . .	737
41.3.6	Aromatische Sulfonsäuren (Arensulfonsäuren) . . . . .	741
41.3.7	Aromatische Nitroverbindungen (Nitroarene) . . . . .	742
41.3.8	Aromatische Amine . . . . .	745
41.3.9	Diazoniumsalze . . . . .	748
<b>42</b>	<b>Heterocyclische Verbindungen</b> . . . . .	<b>750</b>
42.1	Einfache heterocyclische Verbindungen . . . . .	750
42.2	Alkaloide . . . . .	757
<b>43</b>	<b>Biochemisch wichtige Stoffgruppen</b> . . . . .	<b>763</b>
43.1	Eiweißstoffe (Eiweiße, Eiweißkörper) . . . . .	763
43.1.1	Allgemeines . . . . .	763
43.1.2	Eiweiß-Aminosäuren . . . . .	764
43.1.3	Wichtige Proteine . . . . .	766
43.1.4	Wichtige Proteide . . . . .	766
43.2	Lipide . . . . .	767
43.3	Nucleinsäuren . . . . .	770
43.4	Vitamine . . . . .	772
43.4.1	Allgemeines . . . . .	772
43.4.2	Einzelne Vitamine . . . . .	772

43.5	Hormone	777
43.5.1	Allgemeines	777
43.5.2	Einige spezielle Hormone	777
43.6	Enzyme	780
43.7	Steroide	780
43.8	Antibiotika	782
<b>44</b>	<b>Sondergebiete der organischen Chemie</b>	<b>784</b>
44.1	Organische Farbstoffe	784
44.1.1	Allgemeines	784
44.1.2	Wichtige chemische Farbstoffklassen	785
44.1.3	Wichtige färbetechnische Farbstoffklassen	795
44.2	Terpene	795
44.3	Tenside (grenzflächenaktive Stoffe)	798
44.4	Pestizide	802
44.4.1	Allgemeines	802
44.4.2	Insektizide	802
<b>45</b>	<b>Makromolekulare organisch-chemische Werkstoffe</b>	<b>804</b>
45.1	Kunststoffe	804
45.1.1	Allgemeines	804
45.1.2	Polyreaktionen	804
45.1.3	Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere	806
45.2	Vollsynthetische Kunststoffe	807
45.2.1	Polyethen	807
45.2.2	Polypropen	808
45.2.3	Polystyrol (Polystyren)	809
45.2.4	Polyvinylchlorid	809
45.2.5	Phenoplaste	810
45.2.6	Polyester	811
45.2.7	Polyepoxide (Epoxidharze)	812
45.2.8	Polyamide	813
45.2.9	Aminoplaste	814
45.2.10	Polyurethane	815
45.2.11	Sonstige vollsynthetische Kunststoffe	816
45.3	Kunststoffe als Umwandlungsprodukte hochmolekularer Naturstoffe	818
45.4	Elastomere	820
45.4.1	Allgemeines	820
45.4.2	Naturkautschuk	820
45.4.3	Synthesekautschuk (Butadien-Mischpolymerisate)	821
45.4.4	Weitere Elastomere	821
45.5	Chemiefaserstoffe	822
45.5.1	Allgemeines	822
45.5.2	Polyamidfaserstoffe	824
45.5.3	Polyacrylnitrilfaserstoffe	825
45.5.4	Polyesterfaserstoffe	826
45.5.5	Sonstige vollsynthetische Faserstoffe	826
45.5.6	Regeneratcellulosefaserstoffe	827
45.5.7	Celluloseacetatfaserstoff (Acetatfaserstoff)	828
45.6	Silicone	828