

Organische Chemie



Edition
Harri 
Deutsch 

Organische Chemie

Ein praxisbezogenes Lehrbuch

von
Günter Jeromin

5. Auflage

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

Europa-Nr.: 56184

Der Autor

Prof. Dr. rer.nat. Günter Jeromin lehrte im Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften und Technik an der Fachhochschule Aachen Standort Jülich das Gebiet Organische Chemie.

5. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5625-2

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

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,
42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Das praxisorientierte Lehrbuch „Organische Chemie“ erfreut sich anhaltender Beliebtheit, sodass bereits die 5. Auflage vorgelegt werden kann. Das bewährte Format wurde beibehalten, der Inhalt, wo nötig, aktualisiert.

Die Vielzahl der chemischen Substanzen ist unüberschaubar. Der Chemical Abstracts Service (CAS), die weltweit wichtigste Institution für die Registrierung, Charakterisierung und Benennung von neuen chemischen Substanzen, führt aktuell über 177 Millionen organische und anorganische Substanzen auf, die seit den frühen 1800er-Jahren in der Literatur beschrieben wurden – verglichen mit 70 Millionen Ende 2012.

Das Lehrbuch „Organische Chemie“ soll den Studierenden helfen, die wichtigsten dieser unübersehbar vielen organischen Verbindungen und Verbindungsklassen zu verstehen und ihre Bedeutung für das tägliche Leben einzuordnen.

Für die gute und freundliche Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern des Verlags Europa-Lehrmittel möchte ich mich sehr bedanken.

Heidelberg, im Februar 2021

Günter E. Jeromin

Leserkontakt

Autoren und Verlag Europa-Lehrmittel
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Str. 23
42781 Haan-Gruiten
lektorat@europa-lehrmittel.de
www.europa-lehrmittel.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
BINDUNG UND STRUKTUR		
2.	Kohlenstoff, das besondere Element	3
2.1.	Allgemeines	3
2.2.	Die Elektronenhülle des Kohlenstoffs	5
2.3.	Bindungseigenschaften des Kohlenstoffs	9
2.3.1.	Molekülorbitale	9
2.3.2.	Die Oktettregel	12
2.3.3.	Die sp^3 -Hybridisierung	13
2.3.4.	Die sp^2 -Hybridisierung	15
2.3.5.	Die sp -Hybridisierung	17
2.3.6.	Vergleiche zwischen der Einfach-, Doppel- und Dreifachbindung	19
2.4.	Ausgedehnte π -Systeme	21
2.4.1.	Allen (Propadien)	22
2.4.2.	1,3-Butadien	22
2.4.3.	Benzol	25
2.4.4.	Beispiele für aromatische Systeme	28
2.4.4.1.	Carbocyclische Aromaten	28
2.4.4.2.	Heterocyclische Aromaten	29
3.	Strukturen organischer Moleküle	33
3.1.	Die Summenformel	33
3.2.	Die Strukturformel	34
3.2.1.	Konstitutionsformel	34
3.2.2.	Konfigurationsformel	35
3.2.2.1.	Die Keilstrichformel	35
3.2.2.2.	Die Fischer-Projektion	36
3.2.3.	Die Konformationsformel	36
3.2.3.1.	Die Newman-Projektion	37
3.2.3.2.	Die Sägebockformel	37
3.3.	Die Isomerie	38
3.3.1.	Konstitutionsisomerie	38
3.3.2.	Stereoisomerie	39
3.3.2.1.	Geometrische Isomerie	39
3.3.2.2.	Die optische Isomerie	44
3.3.2.3.	Konformationsisomerie	55

ROHSTOFFE

4.	Die Rohstoffe	59
4.1.	Fossile Rohstoffe	59
4.1.1.	Kohlen	59
4.1.2.	Erdöl	60
4.1.3.	Erdgas	61
4.2.	Nachwachsende Rohstoffe	61
4.3.	Veredlung der Rohstoffe	62
4.3.1.	Veredlung der Kohlen	62
4.3.1.1.	Verkokung	62
4.3.1.2.	Kohlevergasung	63
4.3.1.3.	Kohleverflüssigung	64
4.3.2.	Die Veredlung des Erdöls	64
4.3.3.	Veredlung der Erdölfraktionen	66
4.3.3.1.	Veredlung durch Cracken	66
4.3.3.2.	Veredlung durch Reforming	67
4.4.	Erdgas als Rohstoff	68
4.5.	Zusammenfassung	68

VERBINDUNG UND REAKTION

5.	Alkane	71
5.1.	Definition, allgemeine Eigenschaften und Gewinnung	71
5.2.	Nomenklatur der Alkane	73
5.2.1.	n-Alkane	73
5.2.2.	Verzweigte Alkane	74
5.2.3.	Cycloalkane	78
5.2.3.1.	Monocyclische Alkane	78
5.2.3.2.	Bi- und polycyclische Alkane	79
5.3.	Die wichtigsten Alkane	83
5.3.1.	Methan	83
5.3.2.	Ethan	84
5.3.3.	Propan, n-Butan, Isobutan	84
5.3.4.	Cyclopropan, Cyclobutan	85
5.3.5.	n-Pentan, Isopentan, Neopentan	86
5.3.6.	Cyclopentan	86
5.3.7.	n-Hexan, n-Heptan	86
5.3.8.	Cyclohexan	87
5.3.9.	Isooctan	87
5.3.10.	Makrocyclische Ringe	88
5.3.11.	Adamantan	89
5.3.12.	Wichtige Kohlenwasserstoffgemische	89
5.3.12.1.	Naphtha	89
5.3.12.2.	Petrolether	89

5.3.13.	Kraftstoffe und Heizöl	90
5.3.13.1.	Autobenzin	90
5.3.13.2.	Flugzeugkraftstoffe	90
5.3.13.3.	Dieselmotorkraftstoff und Heizöl	90
5.3.13.4.	Paraffine und Vaseline	91
5.3.13.5.	Bitumen	91
5.4.	Die wichtigsten Reaktionen der Alkane	92
5.4.1.	Die Verbrennung	92
5.4.2.	Herstellung von Synthesegas	92
5.4.3.	Herstellung von Ruß	93
5.4.4.	Reaktionen bei Crack-Prozessen	93
5.4.5.	Radikalische Substitutionsreaktionen (S_R)	95
5.4.5.1.	Die radikalische Chlorierung	97
5.4.5.2.	Sulfochlorierung	99
5.4.5.3.	Sulfoxidation	101
5.4.5.4.	Nitrierung von Alkanen	102
5.4.5.5.	Paraffin-Oxidation	103
6.	Halogenalkane	107
6.1.	Definition	107
6.2.	Nomenklatur der Halogenalkane	107
6.3.	Die wichtigsten Halogenalkane	109
6.3.1.	Chlormethan	109
6.3.2.	Brommethan, Iodmethan	109
6.3.3.	Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan	110
6.3.4.	Chlorethan	110
6.3.5.	1,2-Dichlorethan, 1,2-Dibromethan	111
6.3.6.	1,1,1-Trichlorethan, 1,1,2-Trichlorethan	111
6.3.7.	Lindan	112
6.3.8.	FCKW, HFCKW, HFKW und Halone	114
6.3.8.1.	Nomenklatur der FCKW, HFKW, HFCKW und Halone	116
6.3.8.2.	Die wichtigsten FCKW's, HFKW's, Halone und Hydrofluorether	117
6.3.8.3.	Halothan	118
6.3.8.4.	Herstellung der FCKW	118
6.4.	Die wichtigsten Reaktionen der Halogenalkane	119
6.4.1.	Die nucleophile Substitution	120
6.4.1.1.	Die S_N1 -Reaktion	121
6.4.1.2.	Die S_N2 -Reaktion	124
6.4.1.3.	Die Walden-Umkehr	130
6.4.1.4.	Die intramolekulare S_N2 -Reaktion und Nachbargruppeneffekte	131
6.4.1.5.	S_N1 - oder S_N2 -Reaktion?	133
6.4.2.	Eliminierungsreaktionen der Halogenalkane	133
6.4.2.1.	Die E1-Eliminierung	134
6.4.2.2.	Die E2-Eliminierung	134
6.4.2.3.	Saizew- und Hofmann-Orientierungen bei E1- und E2-Reaktionen	137
6.4.2.4.	Die Hofmann-Eliminierung	138

6.4.2.5.	α -Eliminierungen	139
6.4.3.	Metall- und elementorganische Verbindungen	140
6.4.3.1.	Organische Verbindungen der Alkalimetalle	140
6.4.3.2.	Grignard-Verbindungen	142
6.4.3.3.	Aluminiumorganische Verbindungen	143
6.4.3.4.	Siliziumorganische Verbindungen	144
6.4.3.5.	Bleiorganische Verbindungen	145
6.4.3.6.	Zinnorganische Verbindungen	146
6.4.3.7.	Phosphororganische Verbindungen	147
6.4.3.8.	Arsenorganische Verbindungen	148
6.4.3.9.	Quecksilberorganische Verbindungen	148
6.4.3.10.	Cadmiumorganische Verbindungen	149
7.	Alkene	151
7.1.	Die Nomenklatur der Alkene	151
7.2.	Die wichtigsten Alkene	153
7.2.1.	Ethen	153
7.2.2.	Propen	154
7.2.3.	1-Buten, trans-2-Buten, cis-2-Buten, Isobuten	154
7.2.4.	1,3-Butadien	155
7.2.5.	Isopren	155
7.2.6.	Die Terpene	157
7.2.7.	Cyclopentadien	160
7.2.8.	Cyclododeca-1,5,9-trien	162
7.2.9.	Chlorethen	162
7.2.10.	Tri- und Tetrachlorethen	162
7.2.11.	Tetrafluorethen	162
7.2.12.	2-Chlor-1,3-butadien	163
7.2.13.	Höhere Olefine	163
7.2.13.1.	Oligomerisierung von Ethen – die Alfene	163
7.2.13.2.	Höhere Olefine aus Paraffinen	164
7.3.	Die wichtigsten Reaktionen der Alkene	164
7.3.1.	Polymerisationsreaktionen-Polyreaktionen	164
7.3.1.1.	Polyethylen	168
7.3.1.2.	Polypropylen	170
7.3.1.3.	Polyvinylchlorid	171
7.3.1.4.	Polytetrafluorethen	172
7.3.1.5.	Polymerisation von konjugierten Dienen	172
7.3.1.6.	Recycling von Kunststoffen	174
7.3.2.	Additionsreaktionen der Alkene	175
7.3.2.1.	Addition von Halogen an die Doppelbindung	178
7.3.2.2.	Addition von Halogenwasserstoffsäuren an die Doppelbindung	179
7.3.2.3.	Addition von Hypohalogeniten an die Doppelbindung	181
7.3.2.4.	Addition von Schwefelsäure	182
7.3.2.5.	Addition von Wasser an die Doppelbindung (Hydratisierung)	183
7.3.2.6.	Addition von Alkoholen an die Doppelbindung	184
7.3.2.7.	Die Hydrierung = Addition von Wasserstoff	185

7.3.2.8.	Hydroborierung	188
7.3.3.	Oxidationsreaktionen der Alkene	189
7.3.3.1.	Epoxidation (Epoxidierung)	189
7.3.3.2.	Herstellung von vicinalen cis-Diolen	191
7.3.3.3.	Ozonolyse (Ozonisierung)	192
7.3.3.4.	Gezielte Oxidation von Alkenen mit Luft oder Sauerstoff	193
7.3.4.	Bromierung in Allylstellung	195
7.3.5.	Die Oxosynthese (Hydroformylierung)	196
7.3.6.	Metathesereaktion	197
7.3.7.	Diels-Alder-Reaktion	197
8.	Die Alkine	201
8.1.	Die Nomenklatur der Alkine	201
8.2.	Das wichtigste Alkin: Acetylen (Ethin)	202
8.3.	Die wichtigsten Reaktionen der Alkine	204
8.3.1.	Ethinylierungsreaktion	204
8.3.2.	Additionsreaktionen	205
8.3.3.	Hydrierung der Dreifachbindung	208
8.3.4.	Oligo- und Polymerisierungsreaktionen von Ethin	209
9.	Die Aromaten	211
9.1.	Nomenklatur der Aromaten	211
9.1.1.	Nomenklatur von Benzolderivaten	211
9.1.2.	Nomenklatur von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen	214
9.1.2.1.	Die wichtigsten annelierten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe	214
9.1.2.2.	Die wichtigsten aromatischen Ringsequenzen	215
9.2.	Die wichtigsten aromatischen Kohlenwasserstoffe	215
9.2.1.	Benzol	215
9.2.2.	Toluol	216
9.2.3.	Die Xylole	216
9.2.4.	Ethylbenzol	216
9.2.5.	Cumol	217
9.2.6.	Biphenyl	217
9.2.7.	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	218
9.2.7.1.	Naphthalin	218
9.2.7.2.	Anthracen	218
9.2.7.3.	Phenanthren, Fluoren, Pyren, Benzopyren	219
9.2.8.	Die wichtigsten heterocyclischen Aromaten	219
9.2.8.1.	Pyrrol	219
9.2.8.2.	Pyridin	220
9.2.8.3.	Pyrimidin	222
9.2.8.4.	1,3,5-Triazin	222
9.2.8.5.	Indol	224
9.2.8.6.	Chinolin	225
9.2.8.7.	Purin	225
9.3.	Die wichtigsten Reaktionen der Aromaten	226
9.3.1.	Die elektrophile aromatische Substitution S_E	226

9.3.1.1.	Herstellung von Ethylbenzol	228
9.3.1.2.	Die Nitrierung	229
9.3.1.3.	Die Sulfonierung	230
9.3.1.4.	Die Friedel-Crafts-Acylierung	231
9.3.1.5.	Die Friedel-Crafts-Alkylierung	233
9.3.2.	Die Elektrophile aromatische Zweitsubstitution	234
9.3.3.	Die elektrophile aromatische Drittsubstitution	242
9.3.4.	Reaktionen am Naphthalin	243
9.3.5.	Die nucleophile aromatische Substitution (S_N2Ar)	245
9.3.6.	Arine	248
9.3.7.	Reaktionen am Pyridin	249
9.3.8.	Reaktionen von Trichlortriazin	250
9.3.9.	Reaktionen in der Seitenkette von Aromaten	251
10.	Die Alkohole	253
10.1.	Nomenklatur der Alkohole	254
10.2.	Die wichtigsten Alkohole	258
10.2.1.	Methanol	258
10.2.2.	Ethanol	259
10.2.3.	1-Propanol	259
10.2.4.	1-Butanol, 2-Butanol, 2-Methyl-1-propanol, 2-Methyl-2-propanol	260
10.2.5.	1-Pentanol, 2-Methyl-1-butanol, 3-Methyl-1-butanol	261
10.2.6.	2-Ethylhexanol	261
10.2.7.	Fettalkohole	261
10.2.8.	Alfole	264
10.2.9.	Guerbet-Alkohole	265
10.2.10.	Mehrwertige Alkohole	265
10.2.10.1.	1,2-Ethandiol	265
10.2.10.2.	Propylenglykol	266
10.2.10.3.	1,4-Butandiol	267
10.2.10.4.	Glycerin	267
10.2.10.5.	2,2-Bis(hydroxymethyl)butanol	268
10.2.10.6.	2,2-Bis(hydroxymethyl)-1,3-propandiol	268
10.2.10.7.	D-Sorbit	269
10.2.10.8.	D-Mannit	269
10.3.	Die wichtigsten Reaktionen der Alkohole	269
10.3.1.	Eliminierungsreaktionen	269
10.3.2.	Substitutionsreaktionen	272
10.3.2.1.	Herstellung von Alkylhalogeniden	272
10.3.2.2.	Etherbildung	274
10.3.3.	Carbonsäureesterbildung	275
10.3.4.	Ester Anorganischer Säuren	275
10.3.5.	Oxidationsreaktionen der Alkohole	278
10.3.5.1.	Oxidationen von Alkoholen mit Luft	280
10.3.5.2.	Oxidationen von Alkoholen mit Chromaten	280
10.3.5.3.	Oxidationen von Alkoholen mit Salpetersäure	281

10.3.5.4.	Biotechnologische Oxidation von Glycerin	282
10.3.5.5.	Glykolspaltung	282
11.	Die Phenole	285
11.1.	Nomenklatur der Phenole	285
11.2.	Die wichtigsten Phenole	287
11.2.1.	Phenol	287
11.2.2.	Kresole	290
11.2.3.	Hydrochinon	290
11.2.4.	Resorcin	291
11.2.5.	1-Naphthol, 2-Naphthol	291
11.2.6.	Anthrahydrochinon und Anthrachinon	292
11.3.	Die wichtigsten Reaktionen der Phenole	294
11.3.1.	Phenoether	294
11.3.2.	Phenylester	294
11.3.3.	Chlorierung von Phenol	295
11.3.4.	Reaktionen von Phenol mit Formaldehyd	298
11.3.5.	Reaktionen von Phenol mit Aceton – Bisphenol A	301
11.3.6.	Reaktionen von Phenol und 2-Naphthol mit Kohlendioxid	302
11.3.7.	Phenol als Ausgangsstoff für die Nylonherstellung	304
11.3.8.	Phenol für die Anilinsynthese	304
11.3.9.	Propofol aus Phenol	304
12.	Die Ether	305
12.1.	Definition und allgemeine Eigenschaften	305
12.2.	Nomenklatur der Ether	306
12.3.	Die wichtigsten Ether	308
12.3.1.	Dimethylether	308
12.3.2.	Diethylether	308
12.3.3.	tert-Butylmethylether, Methyl-tert-butylether	308
12.3.4.	Monoether und Diether des Ethylenglykols bzw. der Polyethylenglykole .	309
12.3.5.	Ethylenoxid	309
12.3.6.	Propylenoxid	310
12.3.7.	Tetrahydrofuran	310
12.3.8.	1,4-Dioxan	311
12.3.9.	Kronenether (crown ether)	311
12.4.	Die wichtigsten Reaktionen der Ether	312
12.4.1.	Saure Spaltung der Ether	312
12.4.2.	Bildung von Komplexen und Oxoniumsalzen	312
12.4.3.	Peroxidbildung	313
12.4.4.	Reaktionen der Epoxide	314
13.	Die Amine	317
13.1.	Definition, allgemeine Eigenschaften und Darstellungsmethoden	317
13.2.	Nomenklatur der Amine	318
13.3.	Die wichtigsten Amine	323
13.3.1.	Methylamin, Dimethylamin, Trimethylamin	323
13.3.2.	Ethylamin, Diethylamin, Triethylamin	324

13.3.3.	Diisopropylamin	325
13.3.4.	Cyclohexylamin	325
13.3.5.	Fettamine	326
13.3.6.	Ethanolamine 2-Aminoethanol, 2,2'-Iminodiethanol, 2,2',2''-Nitrilotriethanol	326
13.3.7.	Wichtige cyclische Amine	327
13.3.7.1.	Morpholin	327
13.3.7.2.	Aziridin	327
13.3.7.3.	Pyrrolidin	328
13.3.7.4.	Piperidin	329
13.3.7.5.	Piperazin	329
13.3.8.	Wichtige Diamine	330
13.3.8.1.	Ethylendiamin	330
13.3.8.2.	Hexamethyldiamin	331
13.3.8.3.	Isophorondiamin	331
13.3.8.4.	3-(N,N-Dimethylamino)propanamin	332
13.3.8.5.	Hexamethylentetramin	332
13.3.9.	Die wichtigsten aromatischen Amine	332
13.3.9.1.	Anilin	332
13.3.9.2.	o-Phenylendiamin, p-Phenylendiamin	334
13.3.9.3.	m-Phenylendiamin	335
13.3.9.4.	2,4-Toluyldiamin, 2,6-Toluyldiamin	335
13.3.9.5.	1-Naphthylamin	336
13.3.9.6.	Diphenylamin	336
13.4.	Die wichtigsten Reaktionen der Amine	337
13.4.1.	Säure-Base-Reaktionen	337
13.4.2.	Alkylierungsreaktionen	337
13.4.3.	Reaktionen mit Aldehyden und Ketonen	339
13.4.3.1.	Primäre Amine	339
13.4.3.2.	Sekundäre Amine	341
13.4.4.	Reaktionen von Aminen mit Carbonsäuren und Derivaten	342
13.4.5.	Reaktionen mit Phosgen	343
13.4.6.	Reaktionen mit Salpetriger Säure (Nitrosierung)	345
13.4.7.	Oxidation von tert-Aminen	357
14.	Aldehyde und Ketone	359
14.1.	Definition, allgemeine Eigenschaften und Darstellungsmethoden	359
14.2.	Nomenklatur der Aldehyde und Ketone	360
14.3.	Die wichtigsten Aldehyde	364
14.3.1.	Formaldehyd	364
14.3.2.	Acetaldehyd	366
14.3.3.	Propionaldehyd	367
14.3.4.	Butyraldehyd	367
14.3.5.	Acrolein	368
14.3.6.	Crotonaldehyd	369
14.3.7.	Glutardialdehyd	370
14.3.8.	Benzaldehyd	370
14.3.9.	Vanillin	371

14.4.	Die wichtigsten Ketone	374
14.4.1.	Aceton	374
14.4.2.	Isobutylmethylketon	374
14.4.3.	Ethylmethylketon	374
14.4.4.	Isophoron	375
14.4.5.	Cyclohexanon	375
14.5.	Die wichtigsten Reaktionen der Aldehyde und Ketone	376
14.5.1.	Die Keto-Enol-Tautomerie	376
14.5.2.	Hydratbildung	378
14.5.3.	Acetal- bzw. Ketalbildung	378
14.5.4.	Reaktionen der Aldehyde und Ketone mit Ammoniak und anderen Stickstoffbasen außer den Aminen	380
14.5.4.1.	Formaldehyd mit Ammoniak	380
14.5.4.2.	Acetaldehyd mit Ammoniak	381
14.5.4.3.	Aldehyde und Ketone mit Hydroxylamin	382
14.5.4.4.	Reaktionen mit Hydrazin und Phenylhydrazinen	383
14.5.4.5.	Reaktionen mit Semicarbazid	384
14.5.5.	Hydrogensulfataddukte	384
14.5.6.	Cyanhydrine	385
14.5.7.	Strecker-Aminosäuresynthese	387
14.5.8.	Addition von Acetylen an Aldehyde und Ketone	389
14.5.9.	Reaktionen mit CH-aciden Verbindungen	390
14.5.9.1.	Die Aldolreaktion	390
14.5.9.2.	Die Knoevenagel-Reaktion	394
14.5.9.3.	Perkin-Synthese	395
14.5.9.4.	Reaktionen mit Nitroverbindungen	396
14.5.10.	Reaktionen mit Aryl- oder Alkylolithiumverbindungen	397
14.5.11.	Wittig-Reaktion	397
14.5.12.	Reaktionen mit Aromaten	399
14.5.13.	Halogenierung am α -C-Atom von Aldehyden und Ketonen	402
14.5.14.	Reduktionsreaktionen der Aldehyde und Ketone	404
14.5.14.1.	Reduktion mit Hydriden	404
14.5.14.2.	Reduktion mit Wasserstoff	405
14.5.14.3.	Reduktion mit Metallen	406
14.5.14.4.	Meerwein-Ponndorf-Verley-Reduktion	406
14.5.14.5.	Die Tistschenko-Reaktion	408
14.5.14.6.	Wolff-Kishner-Reduktion	409
14.5.14.7.	Enzymatische Reduktionen	409
14.5.15.	Oxidationsreaktionen der Aldehyde und Ketone	410
14.5.15.1.	Luft/Sauerstoffoxidationen	410
14.5.15.2.	Andere Oxidationsmittel	411
14.5.16.	Besonderheiten bei Reaktionen mit α,β -ungesättigten Aldehyden und Ketonen	413
15.	Kohlenhydrate oder Saccharide	415
15.1.	Definition	415
15.2.	Allgemeine Eigenschaften	415
15.3.	Nomenklatur der Kohlenhydrate	415

15.4.	Die wichtigsten Saccharide	418
15.4.1.	D-Ribose und 2-Desoxy-D-ribose	418
15.4.2.	Glucose	420
15.4.3.	Fructose	420
15.4.4.	Saccharose	421
15.4.5.	Lactose	421
15.4.6.	Cyclodextrine	421
15.4.7.	Polysaccharide	422
15.4.7.1.	Cellulose	422
15.4.7.2.	Hemicellulosen	422
15.4.7.3.	Stärke	423
15.4.7.4.	Glycogen	424
15.4.7.5.	Chitin	424
15.4.7.6.	Inulin	424
15.5.	Die wichtigsten Reaktionen der Saccharide	425
15.5.1.	Acetalbildung	425
15.5.2.	Hydrazon-Bildung	427
15.5.3.	Reduktions- und Oxidationsreaktionen	429
15.5.4.	Veretherung	430
15.5.5.	Veresterung	431
15.5.6.	Kupferseide	433
15.5.7.	Mercerisieren	433
15.5.8.	Maillard-Reaktion	433
15.6.	Süßstoffe und Zuckeraustauschstoffe	434
15.6.1.	Süßstoffe	434
15.6.2.	Zuckeraustauschstoffe	435
16.	Carbonsäuren und deren Derivate	437
16.1.	Definition	437
16.2.	Nomenklatur der Carbonsäuren und Carbonsäurederivate	437
16.2.1.	Nomenklatur der Carbonsäuren	437
16.2.2.	Nomenklatur der Ester	441
16.2.3.	Nomenklatur der Amide	443
16.2.4.	Nomenklatur der Nitrile	444
16.2.5.	Nomenklatur der Anhydride	445
16.2.6.	Nomenklatur der Säurehalogenide	445
16.3.	Allgemeine Eigenschaften	446
16.3.1.	Eigenschaften der Carbonsäuren	446
16.3.2.	Eigenschaften der Carbonsäureester	447
16.3.3.	Eigenschaften der Carbonsäureamide	448
16.3.4.	Eigenschaften der Nitrile	448
16.3.5.	Eigenschaften der Carbonsäureanhydride	449
16.3.6.	Eigenschaften der Carbonsäurehalogenide	449
16.4.	Die wichtigsten Carbonsäuren und Carbonsäurederivate	450
16.4.1.	Die wichtigsten Carbonsäuren	450
16.4.1.1.	Ameisensäure	450
16.4.1.2.	Essigsäure	450

16.4.1.3.	Propionsäure, Buttersäure	451
16.4.1.4.	Kochsäuren	451
16.4.1.5.	Fettsäuren	452
16.4.1.6.	Benzoessäure	453
16.4.1.7.	Acrylsäure	454
16.4.1.8.	Sorbinsäure	454
16.4.1.9.	Oxalsäure	455
16.4.1.10.	Malonsäure	456
16.4.1.11.	Adipinsäure	456
16.4.1.12.	Phthalsäure	457
16.4.1.13.	Milchsäure	458
16.4.1.14.	Äpfelsäure	458
16.4.1.15.	Citronensäure	459
16.4.1.16.	Ascorbinsäure	460
16.4.1.17.	Salicylsäure, p-Hydroxybenzoessäure	461
16.4.1.18.	Weitere Hydroxysäuren	462
16.4.1.19.	2-Arylpropionsäuren	463
16.4.1.20.	Aminosäuren	464
16.4.2.	Die wichtigsten Carbonsäureester	470
16.4.2.1.	Essigsäureethylester	470
16.4.2.2.	Acrylsäuremethylester, Acrylsäureethylester, Acrylsäure-n-butylester	471
16.4.2.3.	Methacrylsäuremethylester	472
16.4.2.4.	Essigsäurevinylester, Laurinsäurevinylester, Adipinsäurevinylester	472
16.4.2.5.	Malonsäurediethylester	474
16.4.2.6.	Di-(2-ethylhexyl)phthalat	474
16.4.2.7.	Polyester	475
16.4.2.8.	Polyhydroxybutyrat	478
16.4.2.9.	Poly- ϵ -caprolacton	478
16.4.2.10.	Polymilchsäure	479
16.4.3.	Die wichtigsten Carbonsäureamide	479
16.4.3.1.	Amide der Ameisensäure: Formamid, N-Methylformamid, N,N-Dimethylformamid	479
16.4.3.2.	Acrylamid	480
16.4.3.3.	Paracetamol	480
16.4.3.4.	Polyamide (PA)	481
16.4.3.5.	2-Pyrrolidon	483
16.4.3.6.	ϵ -Caprolactam	484
16.4.3.7.	Succinimid	485
16.4.3.8.	Phthalimid	486
16.4.4.	Die wichtigsten Carbonsäurenitrile	487
16.4.4.1.	Acetonitril	487
16.4.4.2.	Adipinsäuredinitril	487
16.4.4.3.	Acrylnitril	488
16.4.5.	Die wichtigsten Anhydride	489
16.4.5.1.	Essigsäureanhydrid	489
16.4.5.2.	Phthalsäureanhydrid	490

16.4.5.3.	Maleinsäureanhydrid	491
16.4.6.	Die wichtigsten Säurechloride	492
16.4.6.1.	Acetylchlorid	492
16.4.6.2.	Benzoylchlorid	493
16.5.	Die wichtigsten Reaktionen der Carbonsäuren und Carbonsäurederivate ..	494
16.5.1.	Reaktionen mit Wasser, Säuren und Basen	494
16.5.1.1.	Carbonsäuren	494
16.5.1.2.	Carbonsäureester, Carbonsäureamide, Carbonsäureanhydride und Carbonsäurechloride	495
16.5.1.3.	Nitrile	499
16.5.2.	Herstellung von Carbonsäureestern	500
16.5.3.	Herstellung von Amidinen	501
16.5.3.1.	Carbonsäureamide	501
16.5.3.2.	Kohlensäureamide	502
16.5.4.	Herstellung von Carbonsäurehalogeniden	507
16.5.5.	Herstellung der Carbonsäureanhydride	509
16.5.6.	Herstellung der Carbonsäurenitrile	510
16.5.7.	Malonestersynthesen	510
16.5.8.	Acetessigestersynthesen	512
16.5.9.	Die Ketonspaltung, die Säurespaltung und die Esterspaltung	513
16.5.10.	Esterkondensationen	515
16.5.10.1.	Die Claisen-Kondensation	516
16.5.10.2.	Dieckmann-Esterkondensation	517
16.5.10.3.	Gemischte Esterkondensation	518
16.5.10.4.	Acyloinkondensation	519
16.5.11.	Darzens Glycidestersynthese	520
16.5.12.	Hofmann-Abbau von Säureamiden	521
16.5.13.	Die Reformatzki-Reaktion	523
16.5.14.	Reaktionen von Carbonsäuren und Carbonsäurederivaten mit Grignard- und anderen metallorganischen Verbindungen	523
16.5.14.1.	Grignard-Verbindungen	523
16.5.14.2.	Reaktion mit cadmiumorganischen Verbindungen	525
16.5.15.	Reduktion von Carbonsäuren und Carbonsäurederivate	526
16.5.15.1.	Reduktionen mit Wasserstoff (katalytische Hydrierung)	527
16.5.15.2.	Reduktion mit unedlen Metallen	528
16.5.15.3.	Reduktion mit komplexen Hydriden	529
	Register	533

1. Einleitung

Die Organische Chemie ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Kohlenstoff hat die herausragende Eigenschaft, stabile Bindungen mit sich selbst, aber auch mit anderen Elementen wie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor u.a.m. einzugehen. Er ist in der Lage, in seinen Verbindungen kettenförmige, verzweigte oder ringförmige Strukturen zu bilden. Diese Kombinationsmöglichkeiten von Kohlenstoff mit sich und anderen Elementen führen zu einer unerschöpflichen Anzahl von Verbindungen mit den verschiedenartigsten Eigenschaften.

Organische Substanzen waren schon im Altertum bekannt, wie Ethylalkohol und Essigsäure. Bereits im 4. Jahrhundert n. Chr. wurde in Indien Zucker aus Zuckerrohr gewonnen.

Die genauere Untersuchung solcher Substanzen, die von pflanzlichen und auch tierischen Organismen gebildet werden, begann aber erst im 17. Jahrhundert.

Beispielsweise wurde 1670 in Ameisen (formica) die Ameisensäure gefunden. Bis Mitte des 18. Jahrhunderts kamen noch viele Stoffe hinzu wie die Zitronensäure, Milchsäure, Glycerin, Oxalsäure u.a., die vorwiegend von dem schwedischen Apotheker Carl W. Scheele (1742-1786) isoliert wurden.

Trotzdem man bereits eine Vielzahl organischer Substanzen kannte, gelang deren genaue Bestimmung erst mit Hilfe der Elementaranalyse, die von dem französischen Chemiker Antoine L. Lavoisier (1743-1794) entwickelt wurde. Beispielsweise konnte Harnstoff, der aus dem Urin von Tieren und Menschen bereits 1773 isoliert wurde, erst 1799 genau charakterisiert werden.

Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts glaubte man, dass organische Substanzen nur in pflanzlichen und tierischen Organismen aufgebaut werden könnten. 1828 konnte aber Friedrich Wöhler (dt. Chemiker, 1800-1882) zeigen, dass man Harnstoff auch aus einem anorganischen Stoff, dem Ammoniumcyanat synthetisieren kann. Da Harnstoff bis dahin als eine typische, nur von lebenden Tieren herstellbare Substanz angesehen wurde, war diese These widerlegt. Der Weg für die Synthese anderer organischer Substanzen war frei.

Die Entwicklung der Organischen Chemie nahm also den folgenden Verlauf: Zunächst hatte man aus pflanzlichen oder tierischen Organismen Substanzen isoliert, diese wurden dann analysiert und schließlich aus anderen Stoffen synthetisiert. Die Voraussetzungen für eine rasante Entwicklung der organischen Chemie waren damit geschaffen.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich die Chemische Industrie. 1865 wurde beispielsweise die BASF (Badische Anilin- und Sodafabrik) gegründet. Ihre ersten Produkte waren Farbstoffe für die Textilindustrie. Dazu gehörte Alizarin, ein roter Farbstoff, der bis dahin aus einer natürlichen Quelle, der Krappwurzel gewonnen wurde. Nachdem seine Bestandteile analysiert waren, konnte bald darauf 1869 eine industrielle Synthese entwickelt werden. Das naturidentische Syntheseprodukt hat das natürliche Produkt verdrängt. Der Farbstoff konnte in großen Mengen und preiswert für jedermann zugänglich hergestellt werden.

Doch nicht immer gelang die Strukturaufklärung und Synthese eines Stoffes so einfach. Indigo, der "König der Farbstoffe", ein kostbarer blauer pflanzlicher Farbstoff (aus *Indigofera tinctoria* oder dem heimischen *Isatis tinctoria*), hat sich achtzehn Jahre lang seiner Strukturaufklärung widersetzt (1865 bis 1883 durch Adolf v. Baeyer), und es dauerte weitere vierzehn Jahre, bis eine wirtschaftliche industrielle Synthese 1897 zur Vermarktung dieses Farbstoffes, mit dem auch heute noch die "Blue Jeans" gefärbt sind, geführt hat.

Farbstoffe sind immer noch ein wesentlicher Bestandteil organisch-chemischer Produktion. Hinzugekommen sind aber noch Kunststoffe, Pflanzenschutzmittel, Arzneimittel, Aromastoffe und vieles mehr. Die chemische Forschung und Entwicklung ist ständig auf der Suche, alte Produkte zu verbessern und neue Produkte mit besseren Eigenschaften zu finden.

Am 14. Februar 1991 wurde die 10millionste chemische Verbindung registriert. Etwa 7 Millionen davon sind organisch-chemischer Natur. Wöchentlich kommen etwa 7000 bis 14000 neue Substanzen weltweit hinzu. Die Chemie des Kohlenstoffs macht es möglich!