

# Organische Chemie





Edition  
Harri   
Deutsch

# Organische Chemie

Ein praxisbezogenes Lehrbuch

von  
Günter Jeromin

**4. 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 lehrt im Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften und Technik an der Fachhochschule Aachen Standort Jülich das Gebiet Organische Chemie.

4. Auflage 2014

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5619-1

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.

© 2014 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,  
42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Druck: Medienhaus Plump GmbH, 53619 Rheinbreitbach

# Vorwort

Schneller als erwartet kann jetzt die vierte Auflage der *Organischen Chemie* präsentiert werden. Dies wurde wieder genutzt, um aktuelle und praxisrelevante chemische Themen neu aufzunehmen. Graphen, Neonicotinoide, Rodentizide der 2. Generation u.a.m. wurden in den Text eingearbeitet.

Die Forschung und Entwicklung in der Organischen Chemie geht rasant weiter. Im Jahre 2012 kamen 63% aller chemischen Patente, die von CAS erfasst wurden, aus Asien. CAS, der Chemical Abstracts Service, ist eine Abteilung der American Chemical Society. Es ist die weltweit wichtigste Institution für die Registrierung, Charakterisierung und Benennung von neuen chemischen Substanzen. Jede neue Substanz erhält eine eigene Registriernummer und ist mit dieser eindeutig identifiziert.

Im Dezember 2012 wurde die 70-millionste chemische Verbindung mit der CAS Registriernummer CAS 1411769-41-9 aufgenommen. Es handelt sich um eine pharmazeutisch wirksame Substanz aus einer südkoreanischen Patentanmeldung, ein komplexes 1-Piperazinacetamid-Derivat. Man findet die Struktur dieser Verbindung auf Seite 330.

Für die gute und freundliche Zusammenarbeit bedanke ich mich beim Verlag Europa-Lehrmittel und dessen Mitarbeitern.

Heidelberg, im September 2014

*Günter E. Jeromin*

## **Leserkontakt**

Autoren und Verlag Europa-Lehrmittel  
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorfer Str. 23  
42781 Haan-Gruiten  
[lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)  
<http://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 $\pi$ -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**

|           |                                     |           |
|-----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>4.</b> | <b>Die Rohstoffe .....</b>          | <b>59</b> |
| 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**

|           |                                                          |           |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.</b> | <b>Alkane .....</b>                                      | <b>71</b> |
| 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. | Dieselskraftstoff 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        |
| <b>6.</b> | <b>Halogenalkane .....</b>                                           | <b>107</b> |
| 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.  | $\alpha$ -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        |
| <b>7.</b> | <b>Alkene .....</b>                                              | <b>151</b> |
| 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        |
| <b>8.</b> | <b>Die Alkine .....</b>                                                          | <b>201</b> |
| 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        |
| <b>9.</b> | <b>Die Aromaten .....</b>                                                        | <b>211</b> |
| 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, Benzpyren .....                                     | 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        |
| <b>10.</b> | <b>Die Alkohole .....</b>                                            | <b>253</b> |
| 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        |
| <b>11.</b> | <b>Die Phenole .....</b>                                               | <b>285</b> |
| 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.    | Phenolether .....                                                      | 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        |
| <b>12.</b> | <b>Die Ether .....</b>                                                 | <b>305</b> |
| 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        |
| <b>13.</b> | <b>Die Amine .....</b>                                                 | <b>317</b> |
| 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        |
| <b>14.</b> | <b>Aldehyde und Ketone .....</b>                                                   | <b>359</b> |
| 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<br>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.    | Hydrogensulfitaddukte .....                                                                           | 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 $\alpha$ -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 $\alpha,\beta$ -ungesättigten Aldehyden und Ketonen .....           | 413        |
| <b>15.</b> | <b>Kohlenhydrate oder Saccharide .....</b>                                                            | <b>415</b> |
| 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        |
| <b>16.</b> | <b>Carbonsäuren und deren Derivate .....</b>               | <b>437</b> |
| 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,<br>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<br>und Carbonsäurechloride .....                              | 495        |
| 16.5.1.3.  | Nitrile .....                                                                                                          | 499        |
| 16.5.2.    | Herstellung von Carbonsäureestern .....                                                                                | 500        |
| 16.5.3.    | Herstellung von Amiden .....                                                                                           | 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<br>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        |
|            | <b>Register .....</b>                                                                                                  | <b>533</b> |

# 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!