

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Grundwissen der organischen Chemie

|          |                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Chemische Bindung in organischen Verbindungen</b>                 | <b>3</b>  |
| 1.1      | Einleitung                                                           | 3         |
| 1.2      | Grundlagen der chemischen Bindung                                    | 3         |
| 1.2.1    | Wellenmechanisches Atommodell des Wasserstoff-Atoms;<br>Atomorbitale | 4         |
| 1.2.2    | Mehrelektronen-Atome                                                 | 6         |
| 1.3      | Die Atombindung (kovalente oder homöopolare Bindung)                 | 7         |
| 1.3.1    | MO-Theorie der kovalenten Bindung                                    | 8         |
| 1.3.2    | Valence-Bond-Theorie der kovalenten Bindung                          | 10        |
| 1.4      | Bindungslängen und Bindungsenergien                                  | 14        |
| <b>2</b> | <b>Allgemeine Grundbegriffe</b>                                      | <b>17</b> |
| 2.1      | Systematik organischer Verbindungen                                  | 17        |
| 2.2      | Nomenklatur                                                          | 17        |
| 2.2.1    | Stammsysteme                                                         | 18        |
| 2.2.2    | Substituierte Systeme                                                | 18        |
| 2.2.3    | Gruppennomenklatur                                                   | 19        |
| 2.3      | Chemische Formelsprache                                              | 21        |
| 2.4      | Isomerie                                                             | 22        |
| 2.5      | Grundbegriffe organisch-chemischer Reaktionen                        | 25        |
| 2.5.1    | Reaktionen zwischen ionischen Substanzen                             | 25        |
| 2.5.2    | Reaktionen von Substanzen mit kovalenter Bindung                     | 25        |
| 2.5.3    | Säuren und Basen, Elektrophile und Nucleophile                       | 27        |
| 2.5.4    | Substituenten-Effekte                                                | 28        |
| 2.5.5    | Zwischenstufen: Carbokationen, Carbanionen, Radikale                 | 31        |
| 2.5.6    | Übergangszustände                                                    | 32        |
| 2.5.7    | Lösemittel-Einflüsse                                                 | 33        |
| 2.5.8    | Hammett-Beziehung                                                    | 34        |

## Teil II Kohlenwasserstoffe

|          |                                                                                                                  |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>3</b> | <b>Gesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkane)</b>                                                                    | 39 |
| 3.1      | Offenkettige Alkane                                                                                              | 39 |
| 3.1.1    | Bau der Moleküle, Konformationen der Alkane                                                                      | 41 |
| 3.1.2    | Vorkommen, Gewinnung und Verwendung der Alkane                                                                   | 43 |
| 3.1.3    | Herstellung von Alkanen                                                                                          | 44 |
| 3.1.4    | Eigenschaften gesättigter Kohlenwasserstoffe                                                                     | 45 |
| 3.2      | Cyclische Alkane                                                                                                 | 45 |
| 3.2.1    | Bau der Moleküle, Konformationen der Cycloalkane                                                                 | 46 |
| 3.2.2    | Herstellung von Cycloalkanen                                                                                     | 51 |
| <b>4</b> | <b>Die radikalische Substitutions-Reaktion (SR)</b>                                                              | 53 |
| 4.1      | Herstellung von Radikalen                                                                                        | 53 |
| 4.2      | Struktur und Stabilität                                                                                          | 54 |
| 4.3      | Ablauf von Radikalreaktionen                                                                                     | 55 |
| 4.4      | Selektivität bei radikalischen Substitutions-Reaktionen                                                          | 56 |
| 4.5      | Beispiele für Radikalreaktionen                                                                                  | 58 |
| 4.5.1    | Umsetzungen von Alkanen                                                                                          | 58 |
| 4.5.2    | Umsetzungen von Alkenen in Allylstellung                                                                         | 60 |
| <b>5</b> | <b>Ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene, Alkine)</b>                                                          | 63 |
| 5.1      | Alkene                                                                                                           | 63 |
| 5.1.1    | Nomenklatur und Struktur                                                                                         | 63 |
| 5.1.2    | Vorkommen und Herstellung von Alkenen                                                                            | 64 |
| 5.1.3    | Verwendung von Alkenen                                                                                           | 66 |
| 5.1.4    | Elektronenstrukturen von Alkenen nach der MO-Theorie                                                             | 69 |
| 5.2      | Alkine                                                                                                           | 72 |
| 5.3      | Biologisch interessante Alkene und Alkine                                                                        | 74 |
| <b>6</b> | <b>Additionen an Alkene und Alkine</b>                                                                           | 77 |
| 6.1      | Elektrophile Additionen                                                                                          | 77 |
| 6.1.1    | Additionen symmetrischer Verbindungen                                                                            | 78 |
| 6.1.2    | Additionen unsymmetrischer Verbindungen<br>(Markownikow-Regel)                                                   | 79 |
| 6.1.3    | Stereospezifische Syn-Additionen                                                                                 | 82 |
| 6.2      | Cycloadditionen                                                                                                  | 84 |
| 6.2.1    | [2+1]-Cycloadditionen                                                                                            | 84 |
| 6.2.2    | [2+2]-Cycloadditionen                                                                                            | 85 |
| 6.2.3    | [3+2]-Cycloadditionen                                                                                            | 85 |
| 6.2.4    | [4+2]-Cycloadditionen                                                                                            | 86 |
| 6.3      | Nucleophile Additionen                                                                                           | 89 |
| 6.3.1    | Nucleophile Additionen von Aminen                                                                                | 89 |
| 6.3.2    | Nucleophile Epoxidierung von $\alpha,\beta$ -ungesättigten<br>Carbonylverbindungen (Scheffer-Weitz-Epoxidierung) | 89 |
| 6.3.3    | Michael-Additionen                                                                                               | 90 |

|          |                                                                                     |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4      | Radikalische Additionen . . . . .                                                   | 90         |
| 6.5      | Di-, Oligo- und Polymerisationen, Dominoreaktionen . . . . .                        | 91         |
| <b>7</b> | <b>Aromatische Kohlenwasserstoffe (Arene)</b> . . . . .                             | <b>93</b>  |
| 7.1      | Chemische Bindung in aromatischen Systemen . . . . .                                | 93         |
| 7.2      | Elektronenstrukturen cyclisch-konjugierter Systeme<br>nach der MO-Theorie . . . . . | 95         |
| 7.3      | Beispiele für aromatische Verbindungen; Nomenklatur . . . . .                       | 96         |
| 7.4      | Vorkommen und Herstellung . . . . .                                                 | 98         |
| 7.5      | Eigenschaften und Verwendung . . . . .                                              | 100        |
| 7.6      | Reaktionen aromatischer Verbindungen . . . . .                                      | 102        |
| 7.6.1    | Additionsreaktionen aromatischer Verbindungen . . . . .                             | 102        |
| 7.6.2    | Reaktionen von Alkylbenzolen in der Seitenkette . . . . .                           | 104        |
| <b>8</b> | <b>Die aromatische Substitution <math>S_{Ar}</math></b> . . . . .                   | <b>107</b> |
| 8.1      | Die elektrophile aromatische Substitution ( $S_{E,Ar}$ ) . . . . .                  | 107        |
| 8.1.1    | Allgemeiner Reaktionsmechanismus . . . . .                                          | 107        |
| 8.1.2    | Mehrfachsubstitution . . . . .                                                      | 108        |
| 8.1.3    | Substitutionen an kondensierten Aromaten . . . . .                                  | 113        |
| 8.2      | Beispiele für elektrophile Substitutionsreaktionen . . . . .                        | 114        |
| 8.2.1    | Nitrierung . . . . .                                                                | 114        |
| 8.2.2    | Sulfonierung . . . . .                                                              | 115        |
| 8.2.3    | Halogenierung . . . . .                                                             | 117        |
| 8.2.4    | Alkylierung nach <i>Friedel-Crafts</i> . . . . .                                    | 118        |
| 8.2.5    | Acylierung nach <i>Friedel-Crafts</i> . . . . .                                     | 119        |
| 8.3      | Die nucleophile aromatische Substitution ( $S_{N,Ar}$ ) . . . . .                   | 121        |
| 8.3.1    | Monomolekulare nucleophile Substitution am Aromaten<br>( $S_{N1,Ar}$ ) . . . . .    | 121        |
| 8.3.2    | Bimolekulare nucleophile Substitution am Aromaten<br>( $S_{N2,Ar}$ ) . . . . .      | 121        |

### Teil III Verbindungen mit einfachen funktionellen Gruppen

|           |                                                                                        |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9</b>  | <b>Halogen-Verbindungen</b> . . . . .                                                  | <b>127</b> |
| 9.1       | Chemische Eigenschaften . . . . .                                                      | 127        |
| 9.2       | Verwendung . . . . .                                                                   | 128        |
| 9.3       | Herstellungsmethoden . . . . .                                                         | 129        |
| 9.4       | Biologisch interessante Halogen-Kohlenwasserstoffe . . . . .                           | 131        |
| <b>10</b> | <b>Die nucleophile Substitution (<math>S_N</math>) am gesättigten C-Atom</b> . . . . . | <b>133</b> |
| 10.1      | Der $S_N1$ -Mechanismus . . . . .                                                      | 133        |
| 10.1.1    | Auswirkungen des Reaktionsmechanismus . . . . .                                        | 134        |
| 10.2      | Der $S_N2$ -Mechanismus . . . . .                                                      | 136        |
| 10.3      | $S_N$ -Reaktionen mit Retention . . . . .                                              | 137        |

|           |                                                                                                    |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.4      | Das Verhältnis $S_N1/S_N2$ und die Möglichkeiten der Beeinflussung einer $S_N$ -Reaktion . . . . . | 138        |
| 10.4.1    | Konstitution des organischen Restes R . . . . .                                                    | 138        |
| 10.4.2    | Das angreifende Nucleophil . . . . .                                                               | 140        |
| 10.4.3    | Lösemittleffekte . . . . .                                                                         | 141        |
| 10.4.4    | Ambidente Nucleophile . . . . .                                                                    | 141        |
| <b>11</b> | <b>Die Eliminierungs-Reaktionen (E1, E2) . . . . .</b>                                             | <b>143</b> |
| 11.1      | $\alpha$ - oder 1,1-Eliminierung . . . . .                                                         | 144        |
| 11.2      | $\beta$ - oder 1,2-Eliminierung . . . . .                                                          | 144        |
| 11.2.1    | Eliminierung nach einem E1-Mechanismus . . . . .                                                   | 144        |
| 11.2.2    | Eliminierung nach einem E1cB-Mechanismus . . . . .                                                 | 145        |
| 11.2.3    | Eliminierung nach einem E2-Mechanismus . . . . .                                                   | 145        |
| 11.3      | Das Verhältnis von Eliminierung zu Substitution . . . . .                                          | 147        |
| 11.4      | Isomerenbildung bei Eliminierungen . . . . .                                                       | 148        |
| 11.5      | Beispiele für wichtige Eliminierungs-Reaktionen . . . . .                                          | 150        |
| 11.5.1    | <i>anti</i> -Eliminierungen . . . . .                                                              | 150        |
| 11.5.2    | <i>syn</i> -Eliminierungen (thermische Eliminierungen) . . . . .                                   | 150        |
| <b>12</b> | <b>Sauerstoff-Verbindungen . . . . .</b>                                                           | <b>153</b> |
| 12.1      | Alkohole (Alkanole) . . . . .                                                                      | 153        |
| 12.1.1    | Beispiele und Nomenklatur . . . . .                                                                | 153        |
| 12.1.2    | Herstellung von Alkoholen . . . . .                                                                | 155        |
| 12.1.3    | Reaktionen der Alkohole . . . . .                                                                  | 158        |
| 12.2      | Phenole . . . . .                                                                                  | 163        |
| 12.2.1    | Beispiele und Nomenklatur . . . . .                                                                | 163        |
| 12.2.2    | Herstellung von Phenolen . . . . .                                                                 | 163        |
| 12.2.3    | Eigenschaften von Phenolen . . . . .                                                               | 166        |
| 12.2.4    | Reaktionen von Phenolen . . . . .                                                                  | 166        |
| 12.2.5    | Biologisch interessante Phenole . . . . .                                                          | 169        |
| 12.3      | Ether . . . . .                                                                                    | 170        |
| 12.3.1    | Herstellung . . . . .                                                                              | 170        |
| 12.3.2    | Eigenschaften der Ether . . . . .                                                                  | 171        |
| 12.3.3    | Reaktionen der Ether . . . . .                                                                     | 172        |
| <b>13</b> | <b>Schwefel-Verbindungen . . . . .</b>                                                             | <b>175</b> |
| 13.1      | Thiole . . . . .                                                                                   | 175        |
| 13.1.1    | Herstellung . . . . .                                                                              | 176        |
| 13.1.2    | Vorkommen . . . . .                                                                                | 177        |
| 13.1.3    | Reaktionen . . . . .                                                                               | 177        |
| 13.2      | Thioether (Sulfide) . . . . .                                                                      | 178        |
| 13.2.1    | Herstellung . . . . .                                                                              | 178        |
| 13.2.2    | Reaktionen . . . . .                                                                               | 179        |

|                                                                         |                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.3                                                                    | Sulfonsäuren . . . . .                                                                      | 180        |
| 13.3.1                                                                  | Herstellung . . . . .                                                                       | 180        |
| 13.3.2                                                                  | Verwendung von Sulfonsäuren . . . . .                                                       | 180        |
| 13.4                                                                    | Technisch und biologisch wichtige Schwefel-Verbindungen . . . .                             | 181        |
| <b>14</b>                                                               | <b>Stickstoff-Verbindungen . . . . .</b>                                                    | <b>183</b> |
| 14.1                                                                    | Amine . . . . .                                                                             | 183        |
| 14.1.1                                                                  | Nomenklatur . . . . .                                                                       | 183        |
| 14.1.2                                                                  | Herstellung von Aminen . . . . .                                                            | 184        |
| 14.1.3                                                                  | Eigenschaften der Amine . . . . .                                                           | 189        |
| 14.1.4                                                                  | Reaktionen der Amine . . . . .                                                              | 191        |
| 14.1.5                                                                  | Biochemisch wichtige Amine . . . . .                                                        | 194        |
| 14.2                                                                    | Nitroverbindungen . . . . .                                                                 | 196        |
| 14.2.1                                                                  | Nomenklatur und Beispiele . . . . .                                                         | 196        |
| 14.2.2                                                                  | Herstellung . . . . .                                                                       | 196        |
| 14.2.3                                                                  | Eigenschaften und Reaktionen von Nitroverbindungen . . .                                    | 197        |
| 14.2.4                                                                  | Verwendung von Nitroverbindungen . . . . .                                                  | 199        |
| 14.3                                                                    | Azoverbindungen . . . . .                                                                   | 200        |
| 14.3.1                                                                  | Herstellung der Azoverbindungen . . . . .                                                   | 200        |
| 14.4                                                                    | Hydrazoverbindungen . . . . .                                                               | 202        |
| 14.4.1                                                                  | Herstellung der Hydrazoverbindungen . . . . .                                               | 202        |
| 14.4.2                                                                  | Reaktionen der Hydrazoverbindungen . . . . .                                                | 202        |
| 14.5                                                                    | Diazoverbindungen . . . . .                                                                 | 203        |
| 14.5.1                                                                  | Herstellung von Diazo- und Diazoniumverbindungen . . .                                      | 203        |
| 14.5.2                                                                  | Reaktionen von Diazo- und Diazoniumverbindungen . . . .                                     | 204        |
| <b>15</b>                                                               | <b>Element-organische Verbindungen . . . . .</b>                                            | <b>207</b> |
| 15.1                                                                    | Bindung und Reaktivität . . . . .                                                           | 207        |
| 15.2                                                                    | Synthetisch äquivalente Gruppen . . . . .                                                   | 208        |
| 15.3                                                                    | Eigenschaften elementorganischer Verbindungen . . . . .                                     | 209        |
| 15.4                                                                    | Beispiele für elementorganische Verbindungen (angeordnet nach dem Periodensystem) . . . . . | 209        |
| 15.4.1                                                                  | I. Gruppe: Lithium . . . . .                                                                | 209        |
| 15.4.2                                                                  | II. Gruppe: Magnesium . . . . .                                                             | 209        |
| 15.4.3                                                                  | III. Gruppe: Bor, Aluminium . . . . .                                                       | 211        |
| 15.4.4                                                                  | IV. Gruppe: Silicium, Zinn, Blei . . . . .                                                  | 212        |
| 15.4.5                                                                  | V. Gruppe: Phosphor . . . . .                                                               | 214        |
| 15.4.6                                                                  | I. Nebengruppe: Kupfer . . . . .                                                            | 216        |
| 15.4.7                                                                  | II. Nebengruppe: Zink, Cadmium, Quecksilber . . . . .                                       | 217        |
| <br><b>Teil IV Verbindungen mit ungesättigten funktionellen Gruppen</b> |                                                                                             |            |
| <b>16</b>                                                               | <b>Aldehyde, Ketone und Chinone . . . . .</b>                                               | <b>221</b> |
| 16.1                                                                    | Nomenklatur und Beispiele . . . . .                                                         | 221        |

|           |                                                                                    |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 16.2      | Herstellung von Aldehyden und Ketonen . . . . .                                    | 222        |
| 16.2.1    | Oxidation von Alkoholen . . . . .                                                  | 222        |
| 16.2.2    | Oxidation aktivierter C–H-Bindungen . . . . .                                      | 224        |
| 16.2.3    | Reduktion von Carbonsäurederivaten . . . . .                                       | 225        |
| 16.2.4    | Umsetzung von Carbonsäurederivaten<br>mit metallorganischen Verbindungen . . . . . | 226        |
| 16.2.5    | <i>Friedel-Crafts</i> -Acylierungen . . . . .                                      | 227        |
| 16.2.6    | Oxidative Spaltungsreaktionen . . . . .                                            | 228        |
| 16.3      | Spezielle Carbonylverbindungen . . . . .                                           | 228        |
| 16.3.1    | $\alpha$ -Hydroxycarbonylverbindungen . . . . .                                    | 228        |
| 16.3.2    | $\beta$ -Hydroxycarbonylverbindungen . . . . .                                     | 230        |
| 16.3.3    | 1,2-Dicarbonylverbindungen . . . . .                                               | 231        |
| 16.3.4    | 1,3-Dicarbonylverbindungen . . . . .                                               | 232        |
| 16.3.5    | 1,4-Dicarbonylverbindungen . . . . .                                               | 233        |
| 16.3.6    | 1,5-Dicarbonylverbindungen . . . . .                                               | 234        |
| 16.3.7    | $\alpha$ -Halogencarbonylverbindungen . . . . .                                    | 234        |
| 16.3.8    | $\alpha,\beta$ -Ungesättigte (vinyloge) Aldehyde und Ketone . . . . .              | 235        |
| 16.4      | Eigenschaften und Verwendung . . . . .                                             | 236        |
| 16.5      | Redoxreaktionen von Carbonylverbindungen . . . . .                                 | 237        |
| 16.5.1    | Reduktion zu Alkoholen . . . . .                                                   | 237        |
| 16.5.2    | Reduktion zu Kohlenwasserstoffen . . . . .                                         | 238        |
| 16.5.3    | Oxidationsreaktionen . . . . .                                                     | 239        |
| 16.5.4    | Redoxverhalten der Chinone . . . . .                                               | 240        |
| <b>17</b> | <b>Reaktionen von Aldehyden und Ketonen . . . . .</b>                              | <b>245</b> |
| 17.1      | Additionen von Hetero-Nucleophilen . . . . .                                       | 246        |
| 17.1.1    | Addition von „Hydrid“ . . . . .                                                    | 246        |
| 17.1.2    | Reaktion mit <i>O</i> -Nucleophilen . . . . .                                      | 248        |
| 17.1.3    | Reaktion mit <i>N</i> -Nucleophilen . . . . .                                      | 250        |
| 17.1.4    | Reaktion mit <i>S</i> -Nucleophilen . . . . .                                      | 253        |
| 17.2      | Additionen von Kohlenstoff-Nucleophilen . . . . .                                  | 254        |
| 17.2.1    | Umsetzungen mit Blausäure bzw. Cyanid . . . . .                                    | 254        |
| 17.2.2    | Umsetzungen mit <i>Grignard</i> -Reagenzien . . . . .                              | 256        |
| 17.2.3    | Umsetzungen mit Acetyliden . . . . .                                               | 256        |
| 17.2.4    | Umsetzungen mit Phosphor-Yliden . . . . .                                          | 256        |
| 17.3      | Additionen von Carbonylverbindungen . . . . .                                      | 257        |
| 17.3.1    | Bildung und Eigenschaften von Carbanionen . . . . .                                | 257        |
| 17.3.2    | Aldol-Reaktion . . . . .                                                           | 258        |
| 17.3.3    | <i>Mannich</i> -Reaktion . . . . .                                                 | 261        |
| 17.3.4    | <i>Perkin</i> -Reaktion . . . . .                                                  | 262        |
| 17.3.5    | <i>Erlenmeyer</i> Azlactonsynthese . . . . .                                       | 262        |
| 17.3.6    | <i>Knoevenagel</i> -Reaktion . . . . .                                             | 263        |
| 17.3.7    | <i>Darzens</i> Glycidester-Synthese . . . . .                                      | 264        |
| 17.3.8    | <i>Michael</i> -Reaktion . . . . .                                                 | 264        |
| 17.3.9    | <i>Robinson</i> -Anellierung . . . . .                                             | 265        |

|           |                                                            |     |
|-----------|------------------------------------------------------------|-----|
| <b>18</b> | <b>Carbonsäuren</b>                                        | 267 |
| 18.1      | Nomenklatur und Beispiele                                  | 267 |
| 18.2      | Herstellung von Carbonsäuren                               | 268 |
| 18.3      | Eigenschaften von Carbonsäuren                             | 269 |
| 18.3.1    | Substituenteneinflüsse auf die Säurestärke                 | 270 |
| 18.4      | Reaktionen von Carbonsäuren                                | 272 |
| 18.4.1    | Reduktion                                                  | 272 |
| 18.4.2    | Abbau unter CO <sub>2</sub> -Abspaltung (Decarboxylierung) | 272 |
| 18.4.3    | Bildung von Derivaten (s. Kap. 19)                         | 272 |
| 18.5      | Spezielle Carbonsäuren                                     | 272 |
| 18.5.1    | Dicarbonsäuren                                             | 272 |
| 18.5.2    | Hydroxycarbonsäuren                                        | 276 |
| 18.5.3    | Oxocarbonsäuren                                            | 280 |
| 18.5.4    | Halogencarbonsäuren                                        | 283 |
| <b>19</b> | <b>Derivate der Carbonsäuren</b>                           | 287 |
| 19.1      | Reaktionen von Carbonsäurederivaten                        | 288 |
| 19.1.1    | Hydrolyse von Carbonsäurederivaten zu Carbonsäuren         | 289 |
| 19.1.2    | Umsetzung von Carbonsäurederivaten mit Aminen              | 289 |
| 19.1.3    | Umsetzung mit Alkoholen zu Carbonsäureestern               | 290 |
| 19.2      | Herstellung und Eigenschaften von Carbonsäurederivaten     | 291 |
| 19.2.1    | Carbonsäureanhydride                                       | 291 |
| 19.2.2    | Carbonsäurehalogenide                                      | 293 |
| 19.2.3    | Carbonsäureamide                                           | 293 |
| 19.2.4    | Carbonsäureester                                           | 295 |
| 19.2.5    | Lactone                                                    | 298 |
| 19.2.6    | Spezielle Carbonsäurederivate                              | 300 |
| <b>20</b> | <b>Reaktionen von Carbonsäurederivaten</b>                 | 301 |
| 20.1      | Reaktionen an der Carbonylgruppe                           | 301 |
| 20.1.1    | Reaktionen von Carbonsäureestern                           | 301 |
| 20.1.2    | Reaktionen von Carbonsäurehalogeniden und -anhydriden      | 304 |
| 20.1.3    | Reaktionen von Carbonsäureamiden                           | 305 |
| 20.1.4    | Reaktionen von Nitrilen                                    | 306 |
| 20.2      | Reaktionen in $\alpha$ -Stellung zur Carbonylgruppe        | 308 |
| 20.2.1    | Reaktionen von Carbonsäureestern                           | 308 |
| 20.2.2    | Reaktionen von 1,3-Dicarbonylverbindungen                  | 313 |
| 20.2.3    | Reaktionen von Carbonsäurehalogeniden und -anhydriden      | 317 |
| 20.2.4    | Reaktionen von Carbonsäurenitrilen                         | 319 |
| <b>21</b> | <b>Kohlensäure und ihre Derivate</b>                       | 321 |
| 21.1      | Beispiele und Nomenklatur                                  | 321 |
| 21.2      | Herstellung von Kohlensäurederivaten                       | 322 |
| 21.3      | Harnstoff und Derivate                                     | 323 |
| 21.3.1    | Synthese von Harnstoff                                     | 323 |
| 21.3.2    | Eigenschaften und Nachweis                                 | 323 |

|           |                                                        |            |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------|
| 21.3.3    | Verwendung von Harnstoff                               | 324        |
| 21.3.4    | Synthesen mit Harnstoff                                | 325        |
| 21.3.5    | Derivate des Harnstoffs                                | 326        |
| 21.4      | Cyansäure und Derivate                                 | 327        |
| 21.5      | Schwefel-analoge Verbindungen der Kohlensäure          | 329        |
| <b>22</b> | <b>Heterocyclen</b>                                    | <b>331</b> |
| 22.1      | Nomenklatur                                            | 331        |
| 22.2      | Heteroaliphaten                                        | 332        |
| 22.3      | Heteroaromaten                                         | 334        |
| 22.3.1    | Fünfgliedrige Ringe                                    | 334        |
| 22.3.2    | Sechsgliedrige Ringe                                   | 338        |
| 22.3.3    | Tautomerie der Heteroaromaten                          | 340        |
| 22.4      | Retrosynthese von Heterocyclen                         | 341        |
| 22.5      | Synthesen von Heterocyclen über Dicarbonylverbindungen | 342        |
| 22.6      | Weitere Synthesen für heterocyclische Fünfringe        | 343        |
| 22.7      | Weitere Synthesen für heterocyclische Sechsringe       | 345        |
| 22.7.1    | Pyridin-Synthese nach <i>Hantzsch</i>                  | 345        |
| 22.7.2    | Chinoline                                              | 346        |
| 22.7.3    | Indole                                                 | 347        |
| <b>23</b> | <b>Wichtige Reaktionsmechanismen im Überblick</b>      | <b>349</b> |
| 23.1      | Reaktive Zwischenstufen                                | 349        |
| 23.1.1    | Carbeniumionen                                         | 349        |
| 23.1.2    | Carbanionen                                            | 351        |
| 23.1.3    | Carbene                                                | 352        |
| 23.1.4    | Radikale                                               | 354        |
| 23.2      | Reaktionstypen                                         | 355        |
| 23.2.1    | Additions-Reaktionen                                   | 355        |
| 23.2.2    | Eliminierungs-Reaktionen                               | 356        |
| 23.2.3    | Substitutions-Reaktionen                               | 357        |
| 23.2.4    | Radikal-Reaktionen                                     | 360        |
| 23.2.5    | Umlagerungen                                           | 361        |
| 23.2.6    | Redox-Reaktionen                                       | 362        |
| 23.2.7    | Heterolytische Fragmentierung                          | 362        |
| 23.2.8    | Phasentransfer-Katalyse und Kronenether                | 363        |
| <b>24</b> | <b>Orbital-Symmetrie und Mehrzentrenreaktionen</b>     | <b>367</b> |
| 24.1      | Chemische Bindung und Orbital-Symmetrie                | 367        |
| 24.2      | Elektrocyclische Reaktionen                            | 369        |
| 24.3      | Cycloadditionen                                        | 371        |
| 24.3.1    | <i>Diels-Alder</i> -Reaktion                           | 371        |
| 24.3.2    | [ $2\pi+2\pi$ ]-Cycloadditionen                        | 373        |
| 24.3.3    | Antarafaciale und suprafaciale Reaktionen              | 374        |



|           |                                                                |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------|------------|
| 24.4      | Sigmatrope Reaktionen . . . . .                                | 374        |
| 24.4.1    | Wasserstoffverschiebungen . . . . .                            | 376        |
| 24.4.2    | Kohlenstoffverschiebungen . . . . .                            | 377        |
| <b>25</b> | <b>Stereochemie . . . . .</b>                                  | <b>379</b> |
| 25.1      | Stereoisomere . . . . .                                        | 379        |
| 25.2      | Molekülchiralität . . . . .                                    | 381        |
| 25.2.1    | Prochiralität . . . . .                                        | 384        |
| 25.3      | Schreibweisen und Nomenklatur der Stereochemie . . . . .       | 386        |
| 25.3.1    | D,L-Nomenklatur . . . . .                                      | 387        |
| 25.3.2    | R,S-Nomenklatur ( <i>Cahn-Ingold-Prelog-System</i> ) . . . . . | 387        |
| 25.4      | Beispiele zur Stereochemie . . . . .                           | 389        |
| 25.4.1    | Verbindungen mit mehreren chiralen C-Atomen . . . . .          | 389        |
| 25.4.2    | Verbindungen mit gleichen Chiralitätszentren . . . . .         | 390        |
| 25.4.3    | Chirale Verbindungen ohne chirale C-Atome . . . . .            | 391        |
| 25.5      | Herstellung optisch aktiver Verbindungen . . . . .             | 392        |
| 25.5.1    | Trennung von Racematen (Racematspaltung) . . . . .             | 392        |
| 25.5.2    | Stereochemischer Verlauf von chemischen Reaktionen . . . . .   | 394        |
| 25.5.3    | Asymmetrische Synthese . . . . .                               | 396        |
| <b>26</b> | <b>Photochemie . . . . .</b>                                   | <b>399</b> |
| 26.1      | Multiplizität <i>M</i> von elektronischen Zuständen . . . . .  | 399        |
| 26.2      | <i>Jablonski</i> -Diagramm . . . . .                           | 400        |
| 26.3      | Beispiele für photochemische Reaktionen . . . . .              | 402        |

## Teil V Chemie von Naturstoffen und Biochemie

|           |                                               |            |
|-----------|-----------------------------------------------|------------|
| <b>27</b> | <b>Chemie und Biochemie . . . . .</b>         | <b>407</b> |
| 27.1      | Einführung und Überblick . . . . .            | 407        |
| 27.2      | Biokatalysatoren . . . . .                    | 410        |
| 27.3      | Stoffwechselvorgänge . . . . .                | 413        |
| <b>28</b> | <b>Kohlenhydrate . . . . .</b>                | <b>415</b> |
| 28.1      | Monosaccharide . . . . .                      | 415        |
| 28.1.1    | Struktur und Stereochemie . . . . .           | 415        |
| 28.1.2    | Reaktionen und Eigenschaften . . . . .        | 419        |
| 28.1.3    | Synthese von Zuckern . . . . .                | 423        |
| 28.2      | Disaccharide . . . . .                        | 424        |
| 28.2.1    | Allgemeines . . . . .                         | 424        |
| 28.2.2    | Beispiele für Disaccharide . . . . .          | 425        |
| 28.3      | Oligo- und Polysaccharide (Glycane) . . . . . | 426        |
| 28.3.1    | Makromoleküle aus Glucose . . . . .           | 426        |
| 28.3.2    | Makromoleküle mit Aminosuktern . . . . .      | 429        |

|           |                                                  |     |
|-----------|--------------------------------------------------|-----|
| <b>29</b> | <b>Aminosäuren, Peptide und Proteine</b>         | 433 |
| 29.1      | Aminosäuren                                      | 433 |
| 29.1.1    | Einteilung und Struktur                          | 433 |
| 29.1.2    | Aminosäuren als Ampholyte                        | 435 |
| 29.1.3    | Gewinnung und Synthesen von Aminosäuren          | 437 |
| 29.1.4    | Reaktionen von Aminosäuren                       | 440 |
| 29.2      | Peptide                                          | 441 |
| 29.2.1    | Hydrolyse von Peptiden                           | 442 |
| 29.2.2    | Peptid-Synthesen                                 | 444 |
| 29.2.3    | Biologisch wichtige Peptide                      | 449 |
| 29.3      | Proteine                                         | 451 |
| 29.3.1    | Struktur der Proteine                            | 451 |
| 29.3.2    | Beispiele und Einteilung der Proteine            | 454 |
| 29.3.3    | Eigenschaften der Proteine                       | 455 |
| <b>30</b> | <b>Lipide</b>                                    | 457 |
| 30.1      | Überblick über die Lipid-Gruppe                  | 457 |
| 30.2      | Fettsäuren und Fette                             | 458 |
| 30.3      | Komplexe Lipide                                  | 460 |
| 30.3.1    | Phospholipide                                    | 460 |
| 30.3.2    | Glycolipide                                      | 461 |
| 30.3.3    | Biochemische Bedeutung komplexer Lipide          | 462 |
| 30.4      | Wachse                                           | 462 |
| <b>31</b> | <b>Nucleotide und Nucleinsäuren</b>              | 465 |
| 31.1      | Nucleotide                                       | 465 |
| 31.1.1    | Energiespeicherung mit Phosphorsäureverbindungen | 466 |
| 31.1.2    | Nucleotide in Nucleinsäuren                      | 468 |
| 31.2      | Nucleinsäuren                                    | 469 |
| 31.2.1    | Aufbau der DNA                                   | 471 |
| 31.2.2    | Aufbau der RNA                                   | 472 |
| <b>32</b> | <b>Terpene und Carotinoide</b>                   | 475 |
| 32.1      | Biogenese von Terpenen                           | 475 |
| 32.2      | Beispiele für Terpene                            | 477 |
| <b>33</b> | <b>Steroide</b>                                  | 481 |
| 33.1      | Biosynthese der Steroide                         | 481 |
| 33.2      | Beispiele für Steroide                           | 483 |
| 33.2.1    | Sterine                                          | 483 |
| 33.2.2    | Gallensäuren                                     | 483 |
| 33.2.3    | Steroid-Hormone                                  | 484 |
| 33.2.4    | Corticoide                                       | 486 |
| 33.2.5    | Herzaktive Steroide                              | 487 |
| 33.2.6    | Sapogenine und Steroid-Alkaloide                 | 487 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| <b>34 Alkaloide</b>                                         | 489 |
| 34.1 Pyrrolidin- und Piperidin-Alkaloide                    | 490 |
| 34.2 Pyridin-Alkaloide                                      | 491 |
| 34.3 Tropan-Alkaloide                                       | 491 |
| 34.4 Pyrrolizidin-, Indolizidin- und Chinolizidin-Alkaloide | 493 |
| 34.5 Indol-Alkaloide                                        | 494 |
| 34.5.1 Substituierte Indole                                 | 495 |
| 34.5.2 Carbazol-Alkaloide                                   | 495 |
| 34.5.3 Carbolin-Alkaloide                                   | 496 |
| 34.5.4 Ergolin-Alkaloide                                    | 497 |
| 34.6 Isochinolin-Alkaloide                                  | 498 |
| 34.7 Chinolin-Alkaloide                                     | 500 |
| 34.8 Weitere Alkaloide                                      | 501 |
| <b>35 Natürliche Farbstoffe</b>                             | 503 |

## Teil VI Angewandte Chemie

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| <b>36 Organische Grundstoffchemie</b>     | 509 |
| 36.1 Erdöl                                | 509 |
| 36.1.1 Vorkommen und Gewinnung            | 509 |
| 36.1.2 Erdölprodukte                      | 510 |
| 36.1.3 Verfahren der Erdölveredelung      | 510 |
| 36.2 Erdgas                               | 513 |
| 36.3 Kohle                                | 513 |
| 36.3.1 Vorkommen und Gewinnung            | 513 |
| 36.3.2 Kohleveredelung                    | 513 |
| 36.4 Acetylen-Chemie                      | 514 |
| 36.5 Oxo-Synthese (Hydroformylierung)     | 515 |
| 36.6 Wichtige organische Chemikalien      | 516 |
| <b>37 Kunststoffe</b>                     | 521 |
| 37.1 Herstellung                          | 521 |
| 37.1.1 Reaktionstypen                     | 521 |
| 37.1.2 Polymerisation                     | 522 |
| 37.1.3 Polykondensation                   | 524 |
| 37.1.4 Polyaddition                       | 525 |
| 37.1.5 Metathese-Reaktion                 | 525 |
| 37.2 Polymer-Technologie                  | 526 |
| 37.2.1 Durchführung von Polymerisationen  | 526 |
| 37.2.2 Verarbeitung von Kunststoffen      | 527 |
| 37.3 Charakterisierung von Makromolekülen | 527 |

|           |                                                                        |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| 37.4      | Strukturen von Makromolekülen . . . . .                                | 529        |
| 37.4.1    | Polymere aus gleichen Monomeren . . . . .                              | 529        |
| 37.4.2    | Polymere mit verschiedenen Monomeren . . . . .                         | 530        |
| 37.4.3    | Polymere mit Chiralitätszentren . . . . .                              | 531        |
| 37.5      | Reaktionen an Polymeren . . . . .                                      | 532        |
| 37.5.1    | Abbaureaktionen . . . . .                                              | 532        |
| 37.5.2    | Aufbaureaktionen . . . . .                                             | 532        |
| 37.5.3    | Polymeranaloge Reaktionen . . . . .                                    | 532        |
| 37.6      | Gebrauchseigenschaften von Polymeren . . . . .                         | 533        |
| 37.7      | Beispiele zu den einzelnen Kunststoffarten . . . . .                   | 535        |
| 37.7.1    | Bekannte Polymerisate . . . . .                                        | 535        |
| 37.7.2    | Bekannte Polykondensate . . . . .                                      | 536        |
| 37.7.3    | Bekannte Polyaddukte . . . . .                                         | 537        |
| 37.7.4    | Halbsynthetische Kunststoffe . . . . .                                 | 538        |
| <b>38</b> | <b>Farbstoffe . . . . .</b>                                            | <b>539</b> |
| 38.1      | Theorie der Farbe und Konstitution der Farbmittel . . . . .            | 539        |
| 38.2      | Einteilung der Farbstoffe nach dem Färbeverfahren . . . . .            | 541        |
| 38.3      | Einteilung der Farbstoffe nach den Chromophoren . . . . .              | 543        |
| <b>39</b> | <b>Chemie im Alltag . . . . .</b>                                      | <b>547</b> |
| 39.1      | Medikamente . . . . .                                                  | 547        |
| 39.1.1    | Antibiotika . . . . .                                                  | 548        |
| 39.1.2    | Antivirale Arzneistoffe . . . . .                                      | 550        |
| 39.1.3    | Antitumor-Arzneistoffe . . . . .                                       | 551        |
| 39.1.4    | Blutdrucksenkende Arzneistoffe . . . . .                               | 551        |
| 39.1.5    | Cholesterinsenkende Arzneistoffe . . . . .                             | 553        |
| 39.1.6    | Entzündungshemmer . . . . .                                            | 554        |
| 39.1.7    | Potenzmittel . . . . .                                                 | 554        |
| 39.1.8    | Psychopharmaka . . . . .                                               | 554        |
| 39.2      | Tenside . . . . .                                                      | 556        |
| 39.3      | Biozide . . . . .                                                      | 558        |
| 39.3.1    | Insektizide . . . . .                                                  | 558        |
| 39.3.2    | Fungizide . . . . .                                                    | 559        |
| 39.3.3    | Herbizide . . . . .                                                    | 559        |
| 39.3.4    | Vorratsschutz . . . . .                                                | 560        |
| 39.3.5    | Neuere Entwicklungen . . . . .                                         | 560        |
| 39.3.6    | Natürlich vorkommende Insektizide . . . . .                            | 562        |
|           | <b>Nobelpreise für Chemie . . . . .</b>                                | <b>563</b> |
|           | <b>Methodenregister . . . . .</b>                                      | <b>573</b> |
|           | <b>Literaturnachweis und Literaturauswahl an Lehrbüchern . . . . .</b> | <b>591</b> |
|           | <b>Sachverzeichnis . . . . .</b>                                       | <b>593</b> |