

# Inhaltsverzeichnis

Leitfaden für den Benutzer XV

Vorwort des Übersetzungsherausgebers zur fünften deutschen Auflage XXI

Aus Vorworten des Übersetzungsherausgebers zu vorhergehenden Auflagen  
XXIII

Danksagung der Autoren XXV

Online-Unterstützung und Zusatzmaterial für Studenten und Dozenten XXVI

- 1 Struktur und Bindung organischer Moleküle 1**
  - 1.1 Das Gebiet der organischen Chemie: Ein Überblick 1
  - 1.2 Coulomb-Kräfte: Eine vereinfachte Betrachtung der Bindung 5
  - 1.3 Ionische und kovalente Bindungen: Die Oktettregel 7
  - 1.4 Elektronen-Punkt-Darstellung von Bindungen: Lewis-Formeln 14
  - 1.5 Resonanzformeln 19
  - 1.6 Atomorbitale: Das quantenmechanische Atommodell 24
  - 1.7 Molekülorbitale und kovalente Bindung 31
  - 1.8 Hybridorbitale: Bindungen in komplizierten Molekülen 34
  - 1.9 Strukturen und Formeln organischer Moleküle 40
    - Verständnisübungen 44
    - Wichtige Konzepte 47
    - Aufgaben 49
    - Gruppenübung 53
- 2 Struktur und Reaktivität: Säuren und Basen, polare und unpolare Moleküle 55**
  - 2.1 Kinetik und Thermodynamik einfacher chemischer Reaktionen 55
  - 2.2 Säuren und Basen; Elektrophile und Nucleophile; gebogene Pfeile zur Beschreibung der Elektronenverschiebung 63
  - 2.3 Funktionelle Gruppen: Zentren der Reaktivität 73
  - 2.4 Unverzweigte und verzweigte Alkane 77
  - 2.5 Die Nomenklatur der Alkane 78
  - 2.6 Struktur und physikalische Eigenschaften der Alkane 84
  - 2.7 Rotation um Einfachbindungen: Konformationen 87
  - 2.8 Rotation in substituierten Ethanen 91
    - Verständnisübungen 96
    - Wichtige Konzepte 99
    - Aufgaben 100
    - Gruppenübung 105

|          |                                                                                      |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3</b> | <b>Die Reaktionen der Alkane</b>                                                     | <b>107</b> |
| 3.1      | Die Stärke der Bindungen in Alkanen: Radikale                                        | 107        |
| 3.2      | Struktur von Alkylradikalen: Hyperkonjugation                                        | 111        |
| 3.3      | Die Umwandlung von Erdöl: Pyrolyse                                                   | 112        |
| 3.4      | Die Chlorierung von Methan: Der Radikalkettenmechanismus                             | 115        |
| 3.5      | Andere radikalische Halogenierungen von Methan                                       | 122        |
| 3.6      | Die Chlorierung höherer Alkane: Relative Reaktivität und Selektivität                | 124        |
| 3.7      | Die Selektivität der radikalischen Halogenierung mit Fluor und Brom                  | 128        |
| 3.8      | Synthetische Bedeutung der radikalischen Halogenierung                               | 129        |
| 3.9      | Synthetische Chlorverbindungen und die stratosphärische Ozonschicht                  | 132        |
| 3.10     | Verbrennung und die relativen Stabilitäten der Alkane                                | 135        |
|          | Verständnisübungen                                                                   | 138        |
|          | Wichtige Konzepte                                                                    | 140        |
|          | Aufgaben                                                                             | 142        |
|          | Gruppenübung                                                                         | 145        |
| <br>     |                                                                                      |            |
| <b>4</b> | <b>Cycloalkane</b>                                                                   | <b>147</b> |
| 4.1      | Namen und physikalische Eigenschaften der Cycloalkane                                | 147        |
| 4.2      | Ringspannung und die Struktur der Cycloalkane                                        | 151        |
| 4.3      | Cyclohexan, ein spannungsfreies Cycloalkan                                           | 156        |
| 4.4      | Substituierte Cyclohexane                                                            | 161        |
| 4.5      | Höhere Cycloalkane                                                                   | 166        |
| 4.6      | Polycyclische Alkane                                                                 | 166        |
| 4.7      | Carbocyclische Naturstoffe                                                           | 169        |
|          | Verständnisübungen                                                                   | 177        |
|          | Wichtige Konzepte                                                                    | 180        |
|          | Aufgaben                                                                             | 181        |
|          | Gruppenübung                                                                         | 187        |
| <br>     |                                                                                      |            |
| <b>5</b> | <b>Stereoisomere</b>                                                                 | <b>189</b> |
| 5.1      | Chirale Moleküle                                                                     | 191        |
| 5.2      | Optische Aktivität                                                                   | 194        |
| 5.3      | Absolute Konfiguration: Die R-S-Sequenzregeln                                        | 198        |
| 5.4      | Fischer-Projektionen                                                                 | 203        |
| 5.5      | Moleküle mit mehreren Chiralitätszentren: Diastereomere                              | 208        |
| 5.6      | meso-Verbindungen                                                                    | 211        |
| 5.7      | Stereochemie in chemischen Reaktionen                                                | 214        |
| 5.8      | Racematspaltung: Trennung von Enantiomeren                                           | 222        |
|          | Verständnisübungen                                                                   | 226        |
|          | Wichtige Konzepte                                                                    | 228        |
|          | Aufgaben                                                                             | 229        |
|          | Gruppenübung                                                                         | 236        |
| <br>     |                                                                                      |            |
| <b>6</b> | <b>Eigenschaften und Reaktionen der Halogenalkane</b>                                | <b>237</b> |
| 6.1      | Physikalische Eigenschaften der Halogenalkane                                        | 237        |
| 6.2      | Nucleophile Substitution                                                             | 240        |
| 6.3      | Reaktionsmechanismen mit polaren Gruppen: Verschieben von Elektronenpaaren           | 243        |
| 6.4      | Eine genauere Betrachtung des Mechanismus der nucleophilen Substitution: Die Kinetik | 245        |
| 6.5      | Vorderseiten- oder Rückseitenangriff?                                                |            |
|          | Die Stereochemie der SN <sub>2</sub> -Reaktion                                       | 249        |
| 6.6      | Die Folgen der Inversion bei SN <sub>2</sub> -Reaktionen                             | 251        |
| 6.7      | Struktur und SN <sub>2</sub> -Reaktivität: Die Abgangsgruppe                         | 254        |
| 6.8      | Struktur und SN <sub>2</sub> -Reaktivität: Die Nucleophilie                          | 256        |
| 6.9      | Struktur und SN <sub>2</sub> -Reaktivität: Das Substrat                              | 263        |
|          | Verständnisübungen                                                                   | 269        |

|          |                                                                                                                             |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|          | Wichtige Konzepte                                                                                                           | 270        |
|          | Aufgaben                                                                                                                    | 271        |
|          | Gruppenübung                                                                                                                | 276        |
| <b>7</b> | <b>Weitere Reaktionen der Halogenalkane</b>                                                                                 | <b>277</b> |
| 7.1      | Solvolyse tertiärer und sekundärer Halogenalkane                                                                            | 277        |
| 7.2      | Unimolekulare nucleophile Substitution                                                                                      | 278        |
| 7.3      | Stereochemische Konsequenzen der SN1-Reaktion                                                                               | 282        |
| 7.4      | Einflüsse des Lösungsmittels, der Abgangsgruppe und des Nucleophils auf die unimolekulare Substitution                      | 284        |
| 7.5      | Der Einfluss der Substratstruktur auf die Geschwindigkeit der SN1-Reaktion: Die Stabilität von Carbenium-Ionen              | 286        |
| 7.6      | Unimolekulare Eliminierung: E1                                                                                              | 290        |
| 7.7      | Bimolekulare Eliminierung: E2                                                                                               | 293        |
| 7.8      | Konkurrenz zwischen Substitution und Eliminierung                                                                           | 297        |
| 7.9      | Zusammenfassung der Reaktivität von Halogenalkanen                                                                          | 300        |
|          | Verständnisübungen                                                                                                          | 303        |
|          | Neue Reaktionen                                                                                                             | 305        |
|          | Wichtige Konzepte                                                                                                           | 306        |
|          | Aufgaben                                                                                                                    | 306        |
|          | Gruppenübung                                                                                                                | 314        |
| <b>8</b> | <b>Die Hydroxygruppe: Alkohole</b>                                                                                          | <b>315</b> |
| 8.1      | Nomenklatur der Alkohole                                                                                                    | 316        |
| 8.2      | Struktur und physikalische Eigenschaften der Alkohole                                                                       | 317        |
| 8.3      | Alkohole als Säuren und Basen                                                                                               | 320        |
| 8.4      | Industrielle Quellen von Alkoholen: Kohlenmonoxid und Ethen                                                                 | 323        |
| 8.5      | Alkoholsynthese durch nucleophile Substitution                                                                              | 324        |
| 8.6      | Synthese von Alkoholen: Die Redox-Beziehung zwischen Alkoholen und Carbonylverbindungen                                     | 326        |
| 8.7      | Metallorganische Verbindungen: Reagentien mit nucleophilen Kohlenstoffatomen in der Synthese von Alkoholen                  | 333        |
| 8.8      | Metallorganische Reagentien in der Alkoholsynthese                                                                          | 337        |
| 8.9      | Komplizierte Alkohole: Eine Einführung in die Synthesestrategie                                                             | 339        |
|          | Verständnisübungen                                                                                                          | 350        |
|          | Neue Reaktionen                                                                                                             | 353        |
|          | Wichtige Konzepte                                                                                                           | 354        |
|          | Aufgaben                                                                                                                    | 355        |
|          | Gruppenübung                                                                                                                | 363        |
| <b>9</b> | <b>Weitere Reaktionen der Alkohole und die Chemie der Ether</b>                                                             | <b>365</b> |
| 9.1      | Reaktionen von Alkoholen mit Basen: Die Darstellung von Alkoxiden                                                           | 366        |
| 9.2      | Reaktionen von Alkoholen mit starken Säuren: Alkyloxonium-Ionen in Substitutions- und Eliminierungsreaktionen von Alkoholen | 367        |
| 9.3      | Umlagerungen von Carbenium-Ionen                                                                                            | 370        |
| 9.4      | Bildung von Ethern und Halogenalkanen aus Alkoholen                                                                         | 376        |
| 9.5      | Nomenklatur und physikalische Eigenschaften von Ethern                                                                      | 380        |
| 9.6      | Die Williamson-Ethersynthese                                                                                                | 384        |
| 9.7      | Ether aus Alkoholen und Mineralsäuren                                                                                       | 389        |
| 9.8      | Reaktionen der Ether                                                                                                        | 391        |
| 9.9      | Reaktionen von Oxacyclopropanen                                                                                             | 394        |
| 9.10     | Schwefelanaloga der Alkohole und Ether                                                                                      | 399        |
| 9.11     | Physiologische Eigenschaften und Verwendungszwecke einiger Alkohole und Ether                                               | 402        |
|          | Verständnisübungen                                                                                                          | 408        |
|          | Neue Reaktionen                                                                                                             | 410        |
|          | Wichtige Konzepte                                                                                                           | 413        |

|           |                                                                                                                   |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|           | Aufgaben                                                                                                          | 414        |
|           | Gruppenübung                                                                                                      | 422        |
| <b>10</b> | <b>NMR-Spektroskopie zur Strukturaufklärung</b>                                                                   | <b>425</b> |
| 10.1      | Physikalische Messmethoden und chemische Nachweise                                                                | 425        |
| 10.2      | Was ist Spektroskopie?                                                                                            | 426        |
| 10.3      | Protonen-Kernresonanz ( $^1\text{H}$ -NMR)                                                                        | 429        |
| 10.4      | Anwendung der NMR-Spektren zur Analyse der Konstitution von Molekülen:<br>Die chemische Verschiebung von Protonen | 434        |
| 10.5      | Chemisch äquivalente Wasserstoffatome haben dieselbe chemische<br>Verschiebung                                    | 439        |
| 10.6      | Integration                                                                                                       | 445        |
| 10.7      | Spin-Spin-Kopplung: Die Wirkung nichtäquivalenter benachbarter<br>Wasserstoffatome                                | 447        |
| 10.8      | Kompliziertere Spin-Spin-Kopplungen                                                                               | 455        |
| 10.9      | $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie                                                                                | 463        |
|           | Verständnisübungen                                                                                                | 475        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                                                 | 478        |
|           | Aufgaben                                                                                                          | 479        |
|           | Gruppenübung                                                                                                      | 488        |
| <b>11</b> | <b>Alkene; Infrarot-Spektroskopie und Massenspektrometrie</b>                                                     | <b>489</b> |
| 11.1      | Die Nomenklatur der Alkene                                                                                        | 490        |
| 11.2      | Struktur und Bindung in Ethen: Die $\pi$ -Bindung                                                                 | 493        |
| 11.3      | Physikalische Eigenschaften der Alkene                                                                            | 496        |
| 11.4      | NMR-Spektroskopie von Alkenen                                                                                     | 497        |
| 11.5      | Katalytische Hydrierung von Alkenen: Die relative Stabilität von<br>Doppelbindungen                               | 504        |
| 11.6      | Darstellung von Alkenen aus Halogenalkanen und Alkylsulfonaten:<br>Anwendung bimolekularer Eliminierungen         | 506        |
| 11.7      | Darstellung von Alkenen durch Dehydratisierung von Alkoholen                                                      | 511        |
| 11.8      | Infrarot-Spektroskopie                                                                                            | 513        |
| 11.9      | Bestimmung der molaren Masse organischer Verbindungen:<br>Massenspektrometrie                                     | 518        |
| 11.10     | Die Fragmentierungsmuster organischer Moleküle                                                                    | 524        |
| 11.11     | Der Grad der Ungesättigtheit: Eine weitere Hilfe zur Identifizierung von<br>Verbindungen                          | 528        |
|           | Verständnisübungen                                                                                                | 532        |
|           | Neue Reaktionen                                                                                                   | 534        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                                                 | 535        |
|           | Aufgaben                                                                                                          | 536        |
|           | Gruppenübung                                                                                                      | 546        |
| <b>12</b> | <b>Die Reaktionen der Alkene</b>                                                                                  | <b>547</b> |
| 12.1      | Warum Additionsreaktionen stattfinden können: Thermodynamische<br>Aspekte                                         | 547        |
| 12.2      | Die katalytische Hydrierung                                                                                       | 549        |
| 12.3      | Der nucleophile Charakter der $\pi$ -Bindung: Elektrophile Addition von<br>Halogenwasserstoffen                   | 553        |
| 12.4      | Alkoholsynthese durch elektrophile Hydratisierung:<br>Thermodynamische Reaktionskontrolle                         | 557        |
| 12.5      | Elektrophile Addition von Halogenen an Alkene                                                                     | 559        |
| 12.6      | Die Verallgemeinerung der elektrophilen Addition                                                                  | 562        |
| 12.7      | Oxymercuration-Demercuration: Eine spezielle elektrophile Addition                                                | 566        |
| 12.8      | Hydroborierung-Oxidation:<br>Eine stereospezifische anti-Markovnikov-Hydratisierung                               | 570        |
| 12.9      | Diazomethan, Carbene und Cyclopropan-Synthesen                                                                    | 573        |

- 12.10 Oxacyclopropan-Synthese: Die Epoxidation mit Peroxycarbonsäuren 575
- 12.11 Vicinale syn-Dihydroxylierung mit Osmiumtetroxid 577
- 12.12 Oxidative Spaltung: Ozonolyse 580
- 12.13 Addition von Radikalen: Bildung von anti-Markovnikov-Produkten 583
- 12.14 Dimerisierung, Oligomerisierung und Polymerisation von Alkenen 585
- 12.15 Synthese von Polymeren 587
- 12.16 Ethen: Ein wichtiger industrieller Rohstoff 590
- 12.17 Alkene in der Natur: Insekten-Pheromone 591
  - Verständnisübungen 595
  - Neue Reaktionen 598
  - Wichtige Konzepte 600
  - Aufgaben 601
  - Gruppenübung 612
  
- 13 Alkine 613**
  - 13.1 Die Nomenklatur der Alkine 613
  - 13.2 Eigenschaften und Bindung der Alkine 614
  - 13.3 Spektroskopie der Alkine 618
  - 13.4 Darstellung von Alkinen durch doppelte Eliminierung 623
  - 13.5 Darstellung von Alkinen aus Alkynyl-Anionen 625
  - 13.6 Reduktion der Alkine: Die relative Reaktivität der beiden  $\pi$ -Bindungen 626
  - 13.7 Elektrophile Additionsreaktionen der Alkine 630
  - 13.8 Anti-Markovnikov-Additionen an Dreifachbindungen 633
  - 13.9 Die Chemie der Alkenylhalogenide 635
  - 13.10 Ethin als industrielles Ausgangsmaterial 638
  - 13.11 Natürlich vorkommende und physiologisch aktive Alkine 640
    - Verständnisübungen 643
    - Neue Reaktionen 645
    - Wichtige Konzepte 647
    - Aufgaben 647
    - Gruppenübung 655
  
- 14 Delokalisierte  $\pi$ -Systeme und ihre Untersuchung durch UV-VIS-Spektroskopie 657**
  - 14.1 Überlappung von drei benachbarten p-Orbitalen: Elektronendelokalisation im Allylsystem (2-Propenyl-System) 657
  - 14.2 Radikalische Halogenierung in Allylstellung 661
  - 14.3 Nucleophile Substitution an Allylhalogeniden: SN1 und SN2 663
  - 14.4 Allylmetall-Reagentien: Nützliche C3-Nucleophile 665
  - 14.5 Zwei benachbarte Doppelbindungen: Konjugierte Diene 665
  - 14.6 Elektrophiler Angriff auf konjugierte Diene: Kinetische und thermodynamische Reaktionskontrolle 669
  - 14.7 Delokalisation über mehr als zwei  $\pi$ -Bindungen: Ausgedehnte Konjugation und Benzol 674
  - 14.8 Eine besondere Reaktion konjugierter Diene: Die Diels-Alder-Cycloaddition 677
  - 14.9 Elektrocyclische Reaktionen 689
  - 14.10 Polymerisation konjugierter Diene: Kautschuk 697
  - 14.11 Elektronenspektren: Spektroskopie im ultravioletten und im sichtbaren Bereich 701
    - Verständnisübungen 708
    - Neue Reaktionen 711
    - Wichtige Konzepte 713
    - Aufgaben 714
    - Gruppenübung 720
    - Zwischenspiel 721

|           |                                                                                |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>15</b> | <b>Benzol und Aromatizität</b>                                                 | <b>727</b> |
| 15.1      | Die systematische Benennung von Benzolderivaten                                | 729        |
| 15.2      | Struktur und Resonanzenergie von Benzol: Ein erster Blick auf die Aromatizität | 731        |
| 15.3      | $\pi$ -Molekülorbitale des Benzols                                             | 733        |
| 15.4      | Die spektroskopischen Eigenschaften des Benzolrings                            | 736        |
| 15.5      | Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe                                   | 742        |
| 15.6      | Andere cyclische Polyene: Die Hückel-Regel                                     | 748        |
| 15.7      | Die Hückel-Regel und geladene Moleküle                                         | 754        |
| 15.8      | Synthese von Benzolderivaten: Elektrophile aromatische Substitution            | 757        |
| 15.9      | Die Halogenierung von Benzol erfordert einen Katalysator                       | 759        |
| 15.10     | Nitrierung und Sulfonierung von Benzol                                         | 760        |
| 15.11     | Die Friedel-Crafts-Alkylierung                                                 | 763        |
| 15.12     | Grenzen der Friedel-Crafts-Alkylierung                                         | 767        |
| 15.13     | Friedel-Crafts-Acylierung (-Alkanoylierung)                                    | 769        |
|           | Verständnisübungen                                                             | 774        |
|           | Neue Reaktionen                                                                | 777        |
|           | Wichtige Konzepte                                                              | 778        |
|           | Aufgaben                                                                       | 780        |
|           | Gruppenübung                                                                   | 786        |
| <b>16</b> | <b>Elektrophiler Angriff auf Benzolderivate</b>                                | <b>787</b> |
| 16.1      | Aktivierung und Desaktivierung des Benzolrings durch Substituenten             | 787        |
| 16.2      | Dirigierender induktiver Effekt von Alkylgruppen                               | 790        |
| 16.3      | Dirigierende Wirkung von Substituenten, die in Resonanz zum Benzolring treten  | 794        |
| 16.4      | Elektrophiler Angriff auf disubstituierte Benzole                              | 802        |
| 16.5      | Synthesestrategien für substituierte Benzole                                   | 805        |
| 16.6      | Reaktivität mehrkerniger benzoider Kohlenwasserstoffe                          | 811        |
| 16.7      | Mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe und Krebs                           | 815        |
|           | Verständnisübungen                                                             | 818        |
|           | Neue Reaktionen                                                                | 821        |
|           | Wichtige Konzepte                                                              | 822        |
|           | Aufgaben                                                                       | 823        |
|           | Gruppenübung                                                                   | 830        |
| <b>17</b> | <b>Aldehyde und Ketone: Die Carbonylgruppe</b>                                 | <b>831</b> |
| 17.1      | Nomenklatur der Aldehyde und Ketone                                            | 831        |
| 17.2      | Die Struktur der Carbonylgruppe                                                | 834        |
| 17.3      | Spektroskopische Eigenschaften von Aldehyden und Ketonen                       | 836        |
| 17.4      | Die Darstellung von Aldehyden und Ketonen                                      | 841        |
| 17.5      | Die Reaktivität der Carbonylgruppe: Additionsmechanismen                       | 844        |
| 17.6      | Die Addition von Wasser zu Hydraten                                            | 847        |
| 17.7      | Die Addition von Alkoholen zu Halbacetalen und Acetalen                        | 849        |
| 17.8      | Acetale als Schutzgruppen                                                      | 851        |
| 17.9      | Nucleophile Addition von Ammoniak und seinen Derivaten                         | 855        |
| 17.10     | Desoxygenierung der Carbonylgruppe                                             | 860        |
| 17.11     | Die Addition von Cyanwasserstoff zu Cyanhydrinen                               | 861        |
| 17.12     | Die Addition von Phosphor-Yliden: Die Wittig-Reaktion                          | 862        |
| 17.13     | Die Oxidation mit Peroxycarbonsäuren: Die Baeyer-Villiger-Oxidation            | 865        |
| 17.14     | Oxidative chemische Nachweise für Aldehyde                                     | 867        |
|           | Verständnisübungen                                                             | 868        |
|           | Neue Reaktionen                                                                | 870        |
|           | Wichtige Konzepte                                                              | 873        |
|           | Aufgaben                                                                       | 873        |
|           | Gruppenübung                                                                   | 884        |

|           |                                                                                            |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>18</b> | <b>Enole, Enolate und die Aldolkondensation</b>                                            | <b>885</b> |
| 18.1      | Die Acidität von Aldehyden und Ketonen: Enolat-Ionen                                       | 886        |
| 18.2      | Keto-Enol-Gleichgewichte                                                                   | 887        |
| 18.3      | Halogenierung von Aldehyden und Ketonen                                                    | 891        |
| 18.4      | Die Alkylierung von Aldehyden und Ketonen                                                  | 892        |
| 18.5      | Angriff von Enolaten auf Carbonylgruppen: Aldolkondensation                                | 895        |
| 18.6      | Die gekreuzte Aldolkondensation                                                            | 899        |
| 18.7      | Die intramolekulare Aldolkondensation                                                      | 902        |
| 18.8      | Eigenschaften $\alpha$ ,-ungesättigter Aldehyde und Ketone                                 | 905        |
| 18.9      | Konjugierte Additionen an $\alpha$ ,-ungesättigte Aldehyde und Ketone                      | 907        |
| 18.10     | 1,2- und 1,4-Additionen metallorganischer Reagentien                                       | 910        |
| 18.11     | Konjugierte Additionen von Enolat-Ionen: Die Michael-Addition und die Robinson-Anellierung | 912        |
|           | Verständnisübungen                                                                         | 917        |
|           | Neue Reaktionen                                                                            | 919        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                          | 922        |
|           | Aufgaben                                                                                   | 923        |
|           | Gruppenübung                                                                               | 931        |
| <b>19</b> | <b>Carbonsäuren</b>                                                                        | <b>933</b> |
| 19.1      | Die Nomenklatur der Carbonsäuren                                                           | 933        |
| 19.2      | Struktur und physikalische Eigenschaften der Carbonsäuren                                  | 936        |
| 19.3      | NMR- und IR-Spektroskopie von Carbonsäuren                                                 | 937        |
| 19.4      | Acidität und Basizität von Carbonsäuren                                                    | 942        |
| 19.5      | Die Synthese von Carbonsäuren in der Industrie                                             | 944        |
| 19.6      | Methoden zur Erzeugung der Carboxygruppe                                                   | 945        |
| 19.7      | Substitution am Carboxy-Kohlenstoffatom:<br>Der Additions-Eliminierungs-Mechanismus        | 948        |
| 19.8      | Carbonsäurederivate: Acylhalogenide und Anhydride                                          | 952        |
| 19.9      | Carbonsäurederivate: Ester                                                                 | 955        |
| 19.10     | Carbonsäurederivate: Amide                                                                 | 959        |
| 19.11     | Reduktion von Carbonsäuren mit Lithiumaluminiumhydrid                                      | 961        |
| 19.12     | Bromierung in Nachbarstellung zur Carboxygruppe:<br>Die Hell-Volhard-Zelinsky-Reaktion     | 962        |
| 19.13     | Die Biologische Aktivität von Carbonsäuren                                                 | 963        |
|           | Verständnisübungen                                                                         | 971        |
|           | Neue Reaktionen                                                                            | 974        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                          | 977        |
|           | Aufgaben                                                                                   | 977        |
|           | Gruppenübung                                                                               | 990        |
| <b>20</b> | <b>Carbonsäurederivate</b>                                                                 | <b>991</b> |
| 20.1      | Relative Reaktivitäten, Strukturen und Spektren der Carbonsäurederivate                    | 991        |
| 20.2      | Die Chemie der Acylhalogenide                                                              | 997        |
| 20.3      | Die Chemie der Carbonsäureanhydride                                                        | 1001       |
| 20.4      | Die Chemie der Ester                                                                       | 1002       |
| 20.5      | Ester in der Natur: Wachse, Fette, Öle und Lipide                                          | 1009       |
| 20.6      | Amide: Die am wenigsten reaktiven Carbonsäurederivate                                      | 1012       |
| 20.7      | Amidate und ihre Halogenierung: Die Hofmann-Umlagerung                                     | 1018       |
| 20.8      | Eine besondere Klasse von Carbonsäurederivaten: Nitrile                                    | 1022       |
|           | Verständnisübungen                                                                         | 1027       |
|           | Neue Reaktionen                                                                            | 1030       |
|           | Wichtige Konzepte                                                                          | 1034       |
|           | Aufgaben                                                                                   | 1034       |
|           | Gruppenübung                                                                               | 1041       |

|           |                                                                                                    |             |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>21</b> | <b>Amine und ihre Derivate</b>                                                                     | <b>1043</b> |
| 21.1      | Nomenklatur der Amine                                                                              | 1043        |
| 21.2      | Strukturelle und physikalische Eigenschaften der Amine                                             | 1045        |
| 21.3      | Spektroskopie der Aminogruppe                                                                      | 1049        |
| 21.4      | Acidität und Basizität von Aminen                                                                  | 1053        |
| 21.5      | Synthese von Aminen durch Alkylierung                                                              | 1057        |
| 21.6      | Synthese von Aminen durch reduktive Aminierung                                                     | 1060        |
| 21.7      | Synthese von Aminen aus Carbonsäurederivaten                                                       | 1063        |
| 21.8      | Reaktionen quartärer Ammoniumsalze: Hofmann-Eliminierung                                           | 1064        |
| 21.9      | Mannich-Reaktion: Die Alkylierung von Enolen durch Iminium-Ionen                                   | 1065        |
|           | Nitrosierung von Aminen                                                                            | 1068        |
|           | Verständnisübungen                                                                                 | 1076        |
|           | Neue Reaktionen                                                                                    | 1079        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                                  | 1081        |
|           | Aufgaben                                                                                           | 1081        |
|           | Gruppenübung                                                                                       | 1091        |
| <b>22</b> | <b>Chemie der Substituenten am Benzolring</b>                                                      | <b>1093</b> |
| 22.1      | Reaktivität des Phenylmethyl-(Benzyl-)Kohlenstoffatoms:<br>Resonanzstabilisierung der Benzylgruppe | 1093        |
| 22.2      | Oxidationen und Reduktionen in Benzylstellung                                                      | 1098        |
| 22.3      | Namen und Eigenschaften der Phenole                                                                | 1101        |
| 22.4      | Darstellung von Phenolen: Nucleophile aromatische Substitution                                     | 1104        |
| 22.5      | Die Alkoholchemie der Phenole                                                                      | 1116        |
| 22.6      | Elektrophile Substitution an Phenolen                                                              | 1118        |
| 22.7      | Eine elektrocyclische Reaktion des Benzolringes:<br>Die Claisen-Umlagerung                         | 1123        |
| 22.8      | Oxidation der Phenole: Cyclohexandiendione (Benzochinone)                                          | 1126        |
| 22.9      | Oxidations-Reduktions-Prozesse in der Natur                                                        | 1129        |
| 22.10     | Arendiazoniumsalze                                                                                 | 1133        |
| 22.11     | Elektrophile Substitution durch Arendiazoniumsalze: Azokupplung                                    | 1138        |
|           | Verständnisübungen                                                                                 | 1140        |
|           | Neue Reaktionen                                                                                    | 1142        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                                  | 1147        |
|           | Aufgaben                                                                                           | 1147        |
|           | Gruppenübung                                                                                       | 1155        |
| <b>23</b> | <b>Esterenolate und die Claisen-Kondensation</b>                                                   | <b>1157</b> |
| 23.1      | $\beta$ -Dicarbonylverbindungen: Die Claisen-Kondensation                                          | 1157        |
| 23.2      | $\beta$ -Dicarbonylverbindungen als Zwischenstufen in der Synthese                                 | 1166        |
| 23.3      | Reaktionen von $\beta$ -Dicarbonyl-Anionen: Die Michael-Addition                                   | 1171        |
| 23.4      | Acylanion-Äquivalente: Synthese von $\alpha$ -Hydroxyketonen                                       | 1174        |
|           | Verständnisübungen                                                                                 | 1181        |
|           | Neue Reaktionen                                                                                    | 1184        |
|           | Wichtige Konzepte                                                                                  | 1186        |
|           | Aufgaben                                                                                           | 1186        |
|           | Gruppenübung                                                                                       | 1192        |
| <b>24</b> | <b>Kohlenhydrate</b>                                                                               | <b>1193</b> |
| 24.1      | Die Namen und Formeln der Kohlenhydrate                                                            | 1193        |
| 24.2      | Konformationen und cyclische Formen von Zuckern                                                    | 1198        |
| 24.3      | Anomere einfacher Zucker: Mutarotation der Glucose                                                 | 1202        |
| 24.4      | Polyfunktionelle Chemie der Zucker: Oxidation zu Carbonsäuren                                      | 1204        |
| 24.5      | Oxidative Spaltung von Zuckern                                                                     | 1206        |
| 24.6      | Reduktion von Monosacchariden zu Alditolen                                                         | 1208        |
| 24.7      | Kondensationsreaktionen von Carbonylgruppen mit Aminderivaten                                      | 1208        |
| 24.8      | Bildung von Estern und Ethern: Glycoside                                                           | 1209        |

|           |                                                                                                                                                         |                                              |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 24.9      | Stufenweiser Auf- und Abbau von Zuckern                                                                                                                 | 1212                                         |
| 24.10     | Relative Konfiguration der Aldosen:<br>Eine Übung zur Strukturbestimmung                                                                                | 1216                                         |
| 24.11     | Komplexe Zucker in der Natur: Disaccharide                                                                                                              | 1219                                         |
| 24.12     | Polysaccharide und andere Zucker in der Natur<br>Verständnisübungen<br>Neue Reaktionen<br>Wichtige Konzepte<br>Aufgaben<br>Gruppenübung                 | 1224<br>1233<br>1236<br>1238<br>1239<br>1245 |
| <b>25</b> | <b>Heterocyclen</b>                                                                                                                                     | <b>1247</b>                                  |
| 25.1      | Die Nomenklatur der Heterocyclen                                                                                                                        | 1249                                         |
| 25.2      | Nichtaromatische Heterocyclen                                                                                                                           | 1251                                         |
| 25.3      | Strukturen und Eigenschaften aromatischer Heterocyclopentadiene                                                                                         | 1255                                         |
| 25.4      | Reaktionen der aromatischen Heterocyclopentadiene                                                                                                       | 1258                                         |
| 25.5      | Struktur und Darstellung von Pyridin, einem Azabenzol                                                                                                   | 1262                                         |
| 25.6      | Reaktionen des Pyridins                                                                                                                                 | 1267                                         |
| 25.7      | Chinolin und Isochinolin: Die Benzopyridine                                                                                                             | 1271                                         |
| 25.8      | Alkaloide: Physiologisch wirksame Heterocyclen in der Natur<br>Verständnisübungen<br>Neue Reaktionen<br>Wichtige Konzepte<br>Aufgaben<br>Gruppenübung   | 1274<br>1279<br>1283<br>1284<br>1285<br>1294 |
| <b>26</b> | <b>Aminosäuren, Peptide und Proteine</b>                                                                                                                | <b>1297</b>                                  |
| 26.1      | Konstitutionen und Eigenschaften der Aminosäuren                                                                                                        | 1297                                         |
| 26.2      | Synthese von Aminosäuren: Eine Kombination aus<br>Amin- und Carbonsäurechemie                                                                           | 1303                                         |
| 26.3      | Synthese enantiomerenreiner Aminosäuren                                                                                                                 | 1306                                         |
| 26.4      | Peptide und Proteine: Oligomere und Polymere von Aminosäuren                                                                                            | 1309                                         |
| 26.5      | Bestimmung der Primärstruktur von Polypeptiden: Sequenzanalyse                                                                                          | 1317                                         |
| 26.6      | Synthese von Polypeptiden: Eine Herausforderung für die<br>Schutzgruppenchemie                                                                          | 1323                                         |
| 26.7      | Die Merrifield-Festphasen-Peptidsynthese                                                                                                                | 1326                                         |
| 26.8      | Polypeptide in der Natur: Sauerstofftransport durch die Proteine Myoglobin<br>und Hämoglobin                                                            | 1328                                         |
| 26.9      | Die Biosynthese der Proteine: Nucleinsäuren                                                                                                             | 1330                                         |
| 26.10     | Proteinsynthese über die RNA                                                                                                                            | 1336                                         |
| 26.11     | DNA-Sequenzierung und -Synthese: Ecksteine der Gentechnologie<br>Verständnisübungen<br>Neue Reaktionen<br>Wichtige Konzepte<br>Aufgaben<br>Gruppenübung | 1338<br>1352<br>1355<br>1357<br>1358<br>1363 |

**Lösungen zu den Übungen** 1365

**Bildnachweis** 1423

**Sachregister** 1427