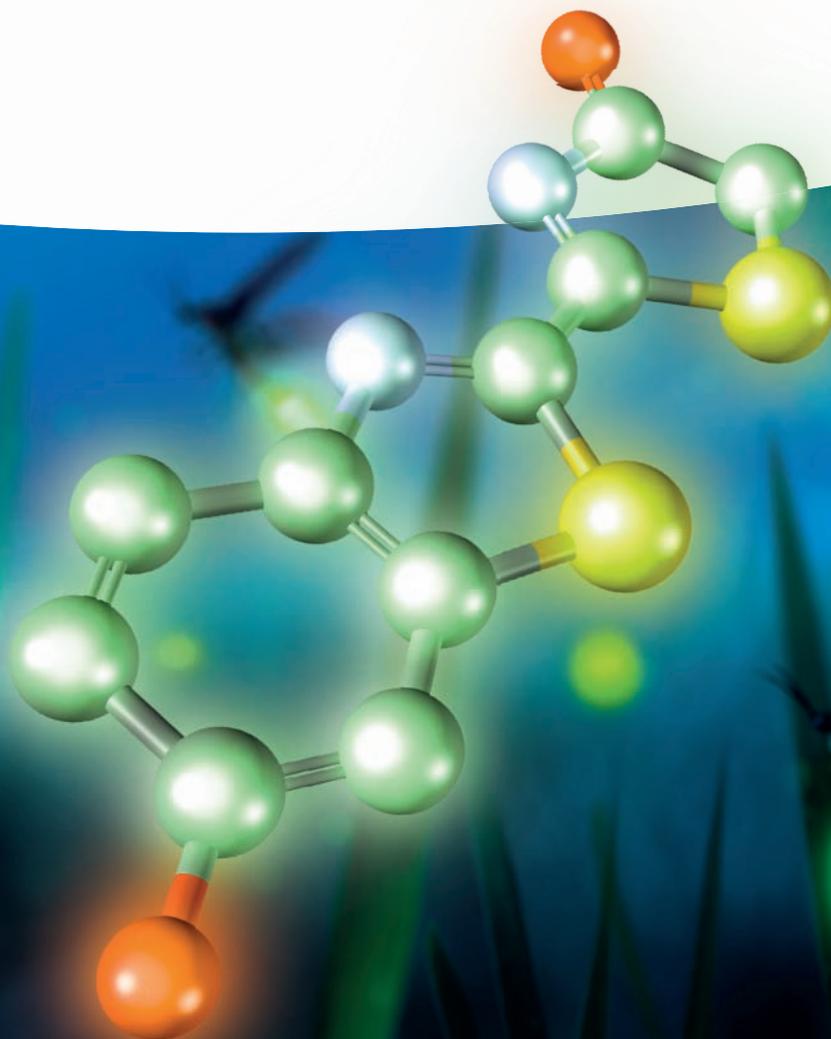


K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore

# Organische Chemie

Übersetzung herausgegeben von Holger Butenschön

Sechste Auflage





*K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore*

**Organische Chemie**

***Beachten Sie bitte auch weitere interessante Titel zu diesem Thema***

Brown, W. H, Poon, T.

**Einführung in die Organische Chemie**

2021

ISBN: 978-3-527-34674-5

Wurm T.

**Chemie für Einsteiger und Durchsteiger**

2019

ISBN: 978-3-527-34586-1

Atkins, P.W., de Paula, J., Smith, D.

**Kurzlehrbuch Physikalische Chemie**

Set aus Lehrbuch und Arbeitsbuch

2020

ISBN: 978-3-527-34394-2

Alle Titel auch in elektronischen Formaten erhältlich.

# Organische Chemie

*K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore*

Übersetzung herausgegeben von Holger Butenschön  
Übersetzt von Kathrin-M. Roy

6. Auflage

#### Titel der Originalausgabe:

ORGANIC CHEMISTRY STRUCTURE AND FUNCTION 8e  
Erschienen im Verlag W. H. Freeman and Company, USA  
Copyright © 2018, 2014, 2011, 2007: W. H. Freeman and Company  
Alle Rechte vorbehalten.

ORGANIC CHEMISTRY STRUCTURE AND FUNCTION 8e  
First published in the United States by W. H. Freeman and Company  
Copyright © 2018, 2014, 2011, 2007 by W. H. Freeman and Company  
All rights reserved.

#### Autoren

**Prof. Dr. K. Peter C. Vollhardt**  
Department of Chemistry  
University of California  
Berkeley, CA 94720-1460  
USA

**Prof. Dr. Neil E. Schore**  
Department of Chemistry  
University of California  
Davis, CA 95616  
USA

#### Übersetzungsherausgeber

**Prof. Dr. Holger Butenschön**  
Leibniz Universität Hannover  
Institut für Organische Chemie  
Schneiderberg 1B  
D-30167 Hannover  
Deutschland

#### Übersetzerin

**Dr. Kathrin-M. Roy**

*An den Voraufgaben haben mitgewirkt:*

Dr. Barbara Elvers  
Dipl.-Chem. Sylvia Feil  
Dr. Arne Lüchow  
Dipl.-Chem. Andrea Kohlmann  
Dipl.-Chem. Robert Pfeifer  
Dr. Kathrin-M. Roy

#### Titelbild

Grafik-Design Schulz

#### Cover credit

Shutterstock 1172936455/Fer Gregory  
(Glowing Firefly on a Grass Field at Night)

#### 6. Auflage

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

#### Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2020 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Print ISBN 978-3-527-34582-3

ePDF ISBN 978-3-527-82112-9

ePub ISBN 978-3-527-82114-3

Umschlaggestaltung Grafik-Design Schulz

Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig, Deutschland

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

# Inhaltsverzeichnis

**Leitfaden für den Benutzer** XI

**Über die Autoren** XVII

**Vorwort des Übersetzungsherausgebers zur sechsten deutschen Auflage** XIX

**Aus Vorworten zu vorhergehenden Auflagen** XXI

**Danksagung der Autoren** XXV

## **Kapitel 1 Struktur und Bindung organischer Moleküle** 1

- 1.1 Das Gebiet der organischen Chemie: Ein Überblick 2
- 1.2 Coulomb-Kräfte: Eine vereinfachte Betrachtung der Bindung 6
- 1.3 Ionische und kovalente Bindungen: Die Oktettregel 8
- 1.4 Elektronenpunktdarstellung von Bindungen: Lewis-Formeln 15
- 1.5 Resonanzformeln 20
- 1.6 Atomorbitale: Eine quantenmechanische Beschreibung der Elektronenhülle um den Atomkern 27
- 1.7 Molekülorbitale und kovalente Bindung 34
- 1.8 Hybridorbitale: Bindungen in komplizierten Molekülen 37
- 1.9 Strukturen und Formeln organischer Moleküle 44

## **Kapitel 2 Struktur und Reaktivität** 61

- 2.1 Kinetik und Thermodynamik einfacher chemischer Reaktionen 61
- 2.2 Gebogene Pfeile: Elektronenverschiebung zur Beschreibung chemischer Reaktionen 70
- 2.3 Säuren und Basen 74
- 2.4 Funktionelle Gruppen: Zentren der Reaktivität 86
- 2.5 Unverzweigte und verzweigte Alkane 89
- 2.6 Die Nomenklatur der Alkane 91
- 2.7 Struktur und physikalische Eigenschaften der Alkane 98
- 2.8 Rotation um Einfachbindungen: Konformationen 102
- 2.9 Rotation in substituierten Ethanen 106

## **Kapitel 3 Die Reaktionen der Alkane** 121

- 3.1 Die Stärke der Bindungen in Alkanen: Radikale 122
- 3.2 Struktur von Alkylradikalen: Hyperkonjugation 126
- 3.3 Die Umwandlung von Erdöl: Pyrolyse 128
- 3.4 Die Chlorierung von Methan: Der Radikalkettenmechanismus 131
- 3.5 Andere radikalische Halogenierungen von Methan 139
- 3.6 Schlüssel zum Erfolg: Anwenden des „bekannteren“ Mechanismus als Modell für das „Unbekannte“ 142
- 3.7 Die Chlorierung höherer Alkane: Relative Reaktivität und Selektivität 143
- 3.8 Die Selektivität der radikalischen Halogenierung mit Fluor und Brom 147
- 3.9 Synthetische Bedeutung der radikalischen Halogenierung 149
- 3.10 Synthetische Chlorverbindungen und die stratosphärische Ozonschicht 152
- 3.11 Verbrennung und die relativen Stabilitäten der Alkane 155

## **Kapitel 4 Cycloalkane** 167

- 4.1 Namen und physikalische Eigenschaften der Cycloalkane 167
- 4.2 Ringspannung und die Struktur der Cycloalkane 171
- 4.3 Cyclohexan, ein spannungsfreies Cycloalkan 177
- 4.4 Substituierte Cyclohexane 183
- 4.5 Höhere Cycloalkane 189
- 4.6 Polycyclische Alkane 189
- 4.7 Carbocyclische Naturstoffe 192

## **Kapitel 5 Stereoisomere** 211

- 5.1 Chirale Moleküle 213
- 5.2 Optische Aktivität 216
- 5.3 Absolute Konfiguration: Die R-S-Sequenzregeln 221
- 5.4 Fischer-Projektionen 226
- 5.5 Moleküle mit mehreren Chiralitätszentren: Diastereomere 230
- 5.6 meso-Verbindungen 235
- 5.7 Stereochemie in chemischen Reaktionen 237
- 5.8 Racematspaltung: Trennung von Enantiomeren 247

**Kapitel 6 Eigenschaften und Reaktionen der Halogenalkane 263**

- 6.1 Physikalische Eigenschaften der Halogenalkane 263
- 6.2 Nucleophile Substitution 266
- 6.3 Reaktionsmechanismen mit polaren Gruppen: Verschieben von Elektronenpaaren 270
- 6.4 Eine genauere Betrachtung des Mechanismus der nucleophilen Substitution: Die Kinetik 272
- 6.5 Vorderseiten- oder Rückseitenangriff? Die Stereochemie der  $S_N2$ -Reaktion 276
- 6.6 Die Folgen der Inversion bei  $S_N2$ -Reaktionen 279
- 6.7 Struktur und  $S_N2$ -Reaktivität: Die Abgangsgruppe 282
- 6.8 Struktur und  $S_N2$ -Reaktivität: Das Nucleophil 284
- 6.9 Schlüssel zum Erfolg: Unter mehreren mechanistischen Wegen wählen 291
- 6.10 Struktur und  $S_N2$ -Reaktivität: Das Substrat 294
- 6.11 Die  $S_N2$ -Reaktion im Überblick 298

**Kapitel 7 Weitere Reaktionen der Halogenalkane 307**

- 7.1 Solvolyse tertiärer und sekundärer Halogenalkane 307
- 7.2 Unimolekulare nucleophile Substitution 308
- 7.3 Stereochemische Konsequenzen der  $S_N1$ -Reaktion 312
- 7.4 Einflüsse des Lösungsmittels, der Abgangsgruppe und des Nucleophils auf die unimolekulare Substitution 314
- 7.5 Der Einfluss der Alkylgruppen auf die  $S_N1$ -Reaktion: Die Stabilität von Carbenium-Ionen 317
- 7.6 Unimolekulare Eliminierung: E1 321
- 7.7 Bimolekulare Eliminierung: E2 325
- 7.8 Konkurrenz zwischen Substitution und Eliminierung – die Struktur bestimmt die Reaktionsweise 330
- 7.9 Zusammenfassung der Reaktivität von Halogenalkanen 333

**Kapitel 8 Die Hydroxygruppe: Alkohole 347**

- 8.1 Nomenklatur der Alkohole 347
- 8.2 Struktur und physikalische Eigenschaften der Alkohole 349
- 8.3 Alkohole als Säuren und Basen 352
- 8.4 Alkoholsynthese durch nucleophile Substitution 356
- 8.5 Synthese von Alkoholen: Die Oxidations-Reduktions-Beziehung zwischen Alkoholen und Carbonylverbindungen 357

8.6 Metallorganische Verbindungen: Reagenzien mit nucleophilen Kohlenstoffatomen in der Synthese von Alkoholen 366

8.7 Metallorganische Reagenzien in der Alkoholsynthese 370

8.8 Wege zum Ziel: Eine Einführung in die Synthesestrategie 372

**Kapitel 9 Weitere Reaktionen der Alkohole und die Chemie der Ether 399**

- 9.1 Reaktionen von Alkoholen mit Basen: Die Darstellung von Alkoxiden 400
- 9.2 Reaktionen von Alkoholen mit starken Säuren: Alkyloxonium-Ionen in Substitutions- und Eliminierungsreaktionen von Alkoholen 401
- 9.3 Umlagerungen von Carbenium-Ionen 405
- 9.4 Bildung von Estern und Halogenalkanen aus Alkoholen 413
- 9.5 Nomenklatur und physikalische Eigenschaften der Ether 418
- 9.6 Die Williamson-Ethersynthese 422
- 9.7 Ether aus Alkoholen und Mineralsäuren 428
- 9.8 Reaktionen der Ether 430
- 9.9 Reaktionen von Oxacyclopropanen 434
- 9.10 Schwefel-Analoga der Alkohole und Ether 439
- 9.11 Physiologische Eigenschaften und Verwendungszwecke einiger Alkohole und Ether 444

**Kapitel 10 NMR-Spektroskopie zur Strukturaufklärung 465**

- 10.1 Physikalische Messmethoden und chemische Nachweise 465
- 10.2 Was ist Spektroskopie? 466
- 10.3 Protonen-Kernresonanz ( $^1\text{H}$ -NMR) 469
- 10.4 Nutzung von NMR-Spektren zur Analyse der Konstitution von Molekülen: Die chemische Verschiebung von Protonen 474
- 10.5 Chemisch äquivalente Wasserstoffatome haben dieselbe chemische Verschiebung 481
- 10.6 Integration von NMR-Signalen 485
- 10.7 Spin-Spin-Kopplung: Der Einfluss nicht äquivalenter benachbarter Wasserstoffatome 489
- 10.8 Kompliziertere Spin-Spin-Kopplungen 498
- 10.9  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie 505

**Kapitel 11 Alkene: Infrarot-Spektroskopie und Massenspektrometrie 531**

- 11.1 Die Nomenklatur der Alkene 532
- 11.2 Struktur und Bindung in Ethen: Die  $\pi$ -Bindung 538
- 11.3 Physikalische Eigenschaften der Alkene 541
- 11.4 NMR-Spektroskopie von Alkenen 542
- 11.5 Katalytische Hydrierung von Alkenen: Die relative Stabilität von Doppelbindungen 549

- 11.6 Darstellung von Alkenen aus Halogenalkanen und Alkylsulfonaten: Anwendung bimolekularer Eliminierungen 552
- 11.7 Darstellung von Alkenen durch Dehydratisierung von Alkoholen 558
- 11.8 Infrarot-Spektroskopie 560
- 11.9 Bestimmung der molaren Masse organischer Verbindungen: Massenspektrometrie 565
- 11.10 Die Fragmentierungsmuster organischer Moleküle 570
- 11.11 Der Grad der Ungesättigkeit: Eine weitere Hilfe zur Identifizierung von Verbindungen 575

### Kapitel 12 Die Reaktionen der Alkene 593

- 12.1 Warum Additionsreaktionen stattfinden können: Thermodynamische Aspekte 593
- 12.2 Die katalytische Hydrierung 595
- 12.3 Der basische und nucleophile Charakter der  $\pi$ -Bindung: Elektrophile Addition von Halogenwasserstoffen 599
- 12.4 Alkoholsynthese durch elektrophile Hydratisierung: Thermodynamische Reaktionskontrolle 605
- 12.5 Elektrophile Addition von Halogenen an Alkene 608
- 12.6 Die Verallgemeinerung der elektrophilen Addition 611
- 12.7 Oxymercurierung-Demercurierung: Eine spezielle elektrophile Addition 615
- 12.8 Hydroborierung-Oxidation: Eine stereospezifische Anti-Markovnikov-Hydratisierung 619
- 12.9 Diazomethan, Carbene und Cyclopropan-Synthesen 623
- 12.10 Synthese von Oxacyclopropanen (Epoxiden): Die Epoxidierung mit Peroxycarbonsäuren 625
- 12.11 Vicinale *syn*-Dihydroxylierung mit Osmiumtetroxid 628
- 12.12 Oxidative Spaltung: Ozonolyse 629
- 12.13 Addition von Radikalen: Bildung von Anti-Markovnikov-Produkten 633
- 12.14 Dimerisierung, Oligomerisierung und Polymerisation von Alkenen 636
- 12.15 Synthese von Polymeren 638
- 12.16 Ethen: Ein wichtiger industrieller Rohstoff 641
- 12.17 Alkene in der Natur: Insekten-Pheromone 644

### Kapitel 13 Alkine 663

- 13.1 Die Nomenklatur der Alkine 664
- 13.2 Eigenschaften und Bindung der Alkine 665
- 13.3 Spektroskopie der Alkine 669
- 13.4 Darstellung von Alkinen durch doppelte Eliminierung 674

- 13.5 Darstellung von Alkinen aus Alkynyl-Anionen 676
- 13.6 Reduktion der Alkine: Die relative Reaktivität der beiden  $\pi$ -Bindungen 678
- 13.7 Elektrophile Additionsreaktionen der Alkine 682
- 13.8 Anti-Markovnikov-Additionen an Dreifachbindungen 687
- 13.9 Die Chemie der Alkenylhalogenide 688
- 13.10 Ethin als industrielles Ausgangsmaterial 690
- 13.11 Alkine in der Natur und in der Medizin 694

### Kapitel 14 Delokalisierte $\pi$ -Systeme und ihre Untersuchung durch UV-VIS-Spektroskopie 711

- 14.1 Überlappung von drei benachbarten *p*-Orbitalen: Elektronendelokalisation im Allylsystem (2-Propenyl-System) 712
- 14.2 Radikalische Halogenierung in Allylstellung 715
- 14.3 Nucleophile Substitution an Allylhalogeniden:  $S_N1$  und  $S_N2$  717
- 14.4 Allylmetall-Reagenzien: Nützliche  $C_3$ -Nucleophile 720
- 14.5 Zwei benachbarte Doppelbindungen: Konjugierte Diene 721
- 14.6 Elektrophiler Angriff auf konjugierte Diene: Kinetische und thermodynamische Reaktionskontrolle 725
- 14.7 Delokalisation über mehr als zwei  $\pi$ -Bindungen: Ausgedehnte Konjugation und Benzol 732
- 14.8 Eine besondere Reaktion konjugierter Diene: Die Diels-Alder-Cycloaddition 734
- 14.9 Elektrocyclische Reaktionen 746
- 14.10 Polymerisation konjugierter Diene: Kautschuk 752
- 14.11 Elektronenspektren: Spektroskopie im ultravioletten und im sichtbaren Bereich 756

### Kapitel 15 Benzol und Aromatizität 781

- 15.1 Die Benennung von Benzolderivaten 783
- 15.2 Struktur und Resonanzenergie von Benzol: Ein erster Blick auf die Aromatizität 786
- 15.3  $\pi$ -Molekülorbitale des Benzols 788
- 15.4 Die spektroskopischen Eigenschaften des Benzolringes 791
- 15.5 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe 800
- 15.6 Andere cyclische Polyene: Die Hückel-Regel 803
- 15.7 Die Hückel-Regel und geladene Moleküle 809
- 15.8 Synthese von Benzolderivaten: Elektrophile aromatische Substitution 812
- 15.9 Die Halogenierung von Benzol erfordert einen Katalysator 814
- 15.10 Nitrierung und Sulfonierung von Benzol 816
- 15.11 Die Friedel-Crafts-Alkylierung 820
- 15.12 Grenzen der Friedel-Crafts-Alkylierung 824
- 15.13 Friedel-Crafts-Acylierung 827

- Kapitel 16 Elektrophiler Angriff auf Benzolderivate** 845
- 16.1 Aktivierung und Desaktivierung des Benzolrings durch Substituenten 846
  - 16.2 Dirigierender induktiver Effekt von Alkylgruppen 849
  - 16.3 Dirigierende Wirkung von Substituenten in Konjugation zum Benzolring 854
  - 16.4 Elektrophiler Angriff auf disubstituierte Benzole 862
  - 16.5 Synthesestrategien für substituierte Benzole 866
  - 16.6 Reaktivität mehrkerniger benzoider Kohlenwasserstoffe 874
  - 16.7 Mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe und Krebs 877
- Kapitel 17 Aldehyde und Ketone** 895
- 17.1 Nomenklatur der Aldehyde und Ketone 896
  - 17.2 Die Struktur der Carbonylgruppe 899
  - 17.3 Spektroskopische Eigenschaften von Aldehyden und Ketonen 900
  - 17.4 Die Darstellung von Aldehyden und Ketonen 907
  - 17.5 Die Reaktivität der Carbonylgruppe: Additionsmechanismen 909
  - 17.6 Die Addition von Wasser zu Hydraten 912
  - 17.7 Die Addition von Alkoholen unter Bildung von Halbacetalen und Acetalen 915
  - 17.8 Acetale als Schutzgruppen 918
  - 17.9 Nucleophile Addition von Ammoniak und seinen Derivaten 923
  - 17.10 Desoxygenierung der Carbonylgruppe 930
  - 17.11 Die Addition von Cyanwasserstoff zu Cyanhydrinen 932
  - 17.12 Addition von Phosphor-Yliden: Die Wittig-Reaktion 933
  - 17.13 Oxidation mit Peroxycarbonsäuren: Die Baeyer-Villiger-Oxidation 937
  - 17.14 Oxidative chemische Nachweise für Aldehyde 938
- Kapitel 18 Enole, Enolate und die Aldolkondensation** 957
- 18.1 Die Acidität von Aldehyden und Ketonen: Enolat-Ionen 958
  - 18.2 Keto-Enol-Gleichgewichte 962
  - 18.3 Halogenierung von Aldehyden und Ketonen 967
  - 18.4 Die Alkylierung von Aldehyden und Ketonen 969
  - 18.5 Angriff von Enolaten auf Carbonylgruppen: Aldolkondensation 972
  - 18.6 Die gekreuzte Aldolkondensation 977
  - 18.7 Konkurrierende Reaktionsweisen und die intramolekulare Aldolkondensation 980
  - 18.8 Eigenschaften  $\alpha,\beta$ -ungesättigter Aldehyde und Ketone 983
  - 18.9 Konjugierte Additionen an  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Aldehyde und Ketone 987
  - 18.10 1,2- und 1,4-Additionen metallorganischer Reagenzien 990
- 18.11 Konjugierte Additionen von Enolat-Ionen: Die Michael-Addition und die Robinson-Anellierung 993
- Kapitel 19 Carbonsäuren** 1015
- 19.1 Die Nomenklatur der Carbonsäuren 1015
  - 19.2 Struktur und physikalische Eigenschaften der Carbonsäuren 1018
  - 19.3 Spektroskopie und Massenspektrometrie von Carbonsäuren 1019
  - 19.4 Acidität und Basizität von Carbonsäuren 1024
  - 19.5 Die Synthese von Carbonsäuren in der Industrie 1027
  - 19.6 Methoden zur Bildung der Carboxygruppe 1028
  - 19.7 Substitution am Carboxy-Kohlenstoffatom: Der Additions-Eliminierungs-Mechanismus 1032
  - 19.8 Carbonsäurederivate: Acylhalogenide und Anhydride 1036
  - 19.9 Carbonsäurederivate: Ester 1040
  - 19.10 Carbonsäurederivate: Amide 1045
  - 19.11 Reduktion von Carbonsäuren mit Lithiumaluminiumhydrid 1047
  - 19.12 Bromierung in Nachbarstellung zur Carboxygruppe: Die Hell-Volhard-Zelinsky-Reaktion 1048
  - 19.13 Die biologische Aktivität von Carbonsäuren 1051
- Kapitel 20 Carbonsäurederivate** 1079
- 20.1 Relative Reaktivitäten, Strukturen und Spektren der Carbonsäurederivate 1079
  - 20.2 Die Chemie der Acylhalogenide 1085
  - 20.3 Die Chemie der Carbonsäureanhydride 1089
  - 20.4 Die Chemie der Ester 1092
  - 20.5 Ester in der Natur: Wachse, Fette, Öle und Lipide 1100
  - 20.6 Amide: Die am wenigsten reaktiven Carbonsäurederivate 1103
  - 20.7 Amidate und ihre Halogenierung: Die Hofmann-Umlagerung 1109
  - 20.8 Eine besondere Klasse von Carbonsäurederivaten: Nitrile 1112
- Kapitel 21 Amine und ihre Derivate** 1135
- 21.1 Nomenklatur der Amine 1135
  - 21.2 Strukturelle und physikalische Eigenschaften der Amine 1139
  - 21.3 Spektroskopie der Aminogruppe 1142
  - 21.4 Acidität und Basizität von Aminen 1146
  - 21.5 Synthese von Aminen durch Alkylierung 1150
  - 21.6 Synthese von Aminen durch reduktive Aminierung 1154
  - 21.7 Synthese von Aminen aus Carbonsäureamiden 1158
  - 21.8 Reaktionen quartärer Ammonium-Salze: Hofmann-Eliminierung 1158
  - 21.9 Mannich-Reaktion: Die Alkylierung von Enolen durch Iminium-Ionen 1160
  - 21.10 Nitrosierung von Aminen 1163

## Kapitel 22 Chemie der Substituenten am Benzolring 1187

- 22.1 Reaktivität des Phenylmethyl-(Benzyl-)Kohlenstoffatoms: Resonanzstabilisierung der Benzylgruppe 1187
- 22.2 Oxidationen und Reduktionen substituierter Benzole 1193
- 22.3 Namen und Eigenschaften der Phenole 1198
- 22.4 Darstellung von Phenolen: Nucleophile aromatische Substitution 1202
- 22.5 Die Alkoholchemie der Phenole 1214
- 22.6 Elektrophile Substitution an Phenolen 1217
- 22.7 Eine electrocyclische Reaktion des Benzolringes: Die Claisen-Umlagerung 1222
- 22.8 Oxidation von Phenolen: Benzochinone 1225
- 22.9 Oxidations-Reduktions-Prozesse in der Natur 1228
- 22.10 Arendiazonium-Salze 1233
- 22.11 Elektrophile Substitution durch Arendiazonium-Salze: Azokupplung 1237

## Kapitel 23 Esterenolate und die Claisen-Kondensation 1257

- 23.1  $\beta$ -Dicarbonylverbindungen: Claisen-Kondensationen 1258
- 23.2  $\beta$ -Dicarbonylverbindungen als Zwischenstufen in der Synthese 1268
- 23.3 Reaktionen von  $\beta$ -Dicarbonyl-Anionen: Die Michael-Addition 1274
- 23.4 Acyl-Anion-Äquivalente: Synthese von  $\alpha$ -Hydroxyketonen 1277

## Kapitel 24 Kohlenhydrate 1297

- 24.1 Die Namen und Formeln der Kohlenhydrate 1297
- 24.2 Konformationen und cyclische Formen von Zuckern 1302
- 24.3 Anomere einfacher Zucker: Mutarotation der Glucose 1308
- 24.4 Polyfunktionelle Chemie der Zucker: Oxidation zu Carbonsäuren 1310
- 24.5 Oxidative Spaltung von Zuckern 1312
- 24.6 Reduktion von Monosacchariden zu Alditolen 1314
- 24.7 Kondensationsreaktionen von Carbonylgruppen mit Aminderivaten 1315
- 24.8 Bildung von Estern und Ethern: Glycoside 1316
- 24.9 Schrittweiser Auf- und Abbau von Zuckern 1320
- 24.10 Relative Konfiguration der Aldosen: Eine Übung zur Strukturbestimmung 1324
- 24.11 Komplexe Zucker in der Natur: Disaccharide 1327
- 24.12 Polysaccharide und andere Zucker in der Natur 1332

## Kapitel 25 Heterocyclen 1353

- 25.1 Die Nomenklatur der Heterocyclen 1356
- 25.2 Nicht aromatische Heterocyclen 1358
- 25.3 Strukturen und Eigenschaften aromatischer Heterocyclopentadiene 1362
- 25.4 Reaktionen der aromatischen Heterocyclopentadiene 1367
- 25.5 Struktur und Darstellung von Pyridin, einem Azabenzol 1372
- 25.6 Reaktionen des Pyridins 1378
- 25.7 Chinolin und Isochinolin: Die Benzopyridine 1381
- 25.8 Alkaloide: Physiologisch wirksame Heterocyclen in der Natur 1385

## Kapitel 26 Aminosäuren, Peptide und Proteine 1405

- 26.1 Konstitutionen und Eigenschaften der Aminosäuren 1406
- 26.2 Synthese von Aminosäuren: Eine Kombination aus Amin- und Carbonsäurechemie 1413
- 26.3 Synthese enantiomerenreiner Aminosäuren 1416
- 26.4 Peptide und Proteine: Oligomere und Polymere von Aminosäuren 1419
- 26.5 Bestimmung der Primärstruktur von Polypeptiden: Sequenzanalyse 1428
- 26.6 Synthese von Polypeptiden: Eine Herausforderung für die Schutzgruppenchemie 1435
- 26.7 Die Merrifield-Festphasen-Peptid-Synthese 1439
- 26.8 Polypeptide in der Natur: Sauerstofftransport durch die Proteine Myoglobin und Hämoglobin 1441
- 26.9 Die Biosynthese der Proteine: Nucleinsäuren 1443
- 26.10 Protein-Synthese über die RNA 1450
- 26.11 DNA-Sequenzierung und -Synthese: Ecksteine der Gentechnologie 1452

## Glossar 1479

## Lösungen zu den Übungen 1489

## Stichwortverzeichnis 1577



## Leitfaden für den Benutzer

Auch in der sechsten Auflage des Lehrbuchs *Organische Chemie* behalten wir das logische Grundgerüst bei, das dieses Buch kennzeichnet und den Rahmen für ein Verständnis der heutigen organischen Chemie bildet. Gleichzeitig möchten wir die Studierenden noch stärker dabei unterstützen, Reaktionen, Mechanismen und synthetische Analyse sowie deren praktische Anwendungen zu verstehen. Das klassische Grundgerüst des Lehrbuchs betont, dass die Struktur einer organischen Verbindung bestimmt, wie sich das Molekül sowohl hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften als auch in einer chemischen Reaktion verhält. Umfangreiche Überarbeitungen in der sechsten Auflage bauen auf dieser Rahmenstruktur auf und bieten eine verbesserte Methodik, die auf Lehrkompetenz basiert und dazu beiträgt, die Kenntnisse der Lernenden zu vertiefen, Problemlösungskompetenzen zu entwickeln und die organische Chemie in Bio- und Materialwissenschaften anzuwenden. Die wesentlichen Neuerungen der sechsten Auflage sowie die charakteristischen Merkmale des Lehrbuchs werden auf den folgenden Seiten veranschaulicht.

## Gliederung in klassischem Rahmen

- Ein Schwerpunkt im Grundgerüst unseres Lehrbuchs ist, dass die (elektronische und räumliche) Struktur einer organischen Verbindung bestimmt, wie sich dieses Molekül verhält – sowohl in Bezug auf seine physikalischen Eigenschaften als auch in einer chemischen Reaktion. Die Hervorhebung dieses Zusammenhangs in den ersten Kapiteln ermöglicht den Studierenden, ein echtes Verständnis für Reaktionsmechanismen zu entwickeln und fördert das Verstehen gegenüber dem Auswendiglernen.
- **Neu** Kapiteleinführungen **Lernziele** und **Im Überblick** an den Kapitelenden bieten den Studierenden eine Grundstruktur und legen die Ziele des Kapitels fest.

### Lernziele

- Regeln zur Benennung acyclischer Alkane erweitern und auf cyclische Alkane anwenden
- Strukturelle und thermodynamische Unterschiede zwischen *cis*- und *trans*-Isomeren substituierter Cycloalkane beschreiben
- Auswirkung der Ringspannung auf die Verbrennungswärmen der Cycloalkane erörtern
- Verschiedene Konformationen von Cyclohexan und seinen substituierten Derivaten analysieren
- Ihr Wissen von monocyclischen auf multicyclische Alkangerüste wie Steroide übertragen

### Im Überblick

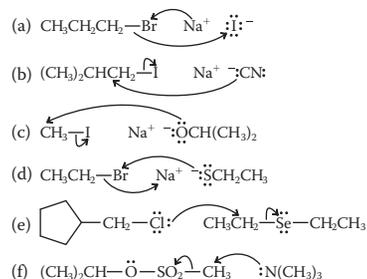
In diesem Kapitel haben wir unser Wissen über organische Strukturen und Funktionen um cyclische und polycyclische Gerüste erweitert. Insbesondere haben wir einmal mehr gesehen, wie wichtig die Dreidimensionalität für die Erklärung und Vorhersage des Verhaltens organischer Moleküle ist. Im Einzelnen sind wir auf Folgendes eingegangen:

- Die Benennung von Cycloalkanen nach den IUPAC-Regeln (Abschn. 4.1).
- Die Existenz von *cis*- und *trans*-Isomeren als Form der Stereoisomerie (Abschn. 4.1).
- Das Phänomen der Ringspannung in kleineren Cycloalkanen, die anhand ihrer Verbrennungswärmen quantifiziert wird (Abschn. 4.2).
- Die Erweiterung der Grundlagen der inhärenten konformativen Beweglichkeit von C–C-Bindungen (Abschn. 2.8 und 2.9) auf Cycloalkane, speziell die Konformere von Cyclohexan und seine substituierten Derivate (Abschn. 4.3 und 4.4).
- Die mögliche strukturelle Vielfalt multicyclischer Kohlenstoffgerüste, von denen viele in der Natur vorkommen, z. B. Terpene und Steroide (Kap. 4.6 und 4.7).

Wir werden im Verlauf des Buches auf die in diesem Kapitel gelernten Lektionen zurückgreifen, denn sie sind die Grundlage für das Verständnis so unterschiedlicher Gebiete wie Stereoisomerie in acyclischen Verbindungen, relative Stabilität und Reaktivität, Spektroskopie und biologische Wirksamkeit.

- Elektronenschiebende, gebogene Pfeile werden in den ersten Abschnitten eingeführt und danach im ganzen Buch immer wieder verwendet, sodass Studierende die Bewegung von Elektronen und Atomen nachvollziehen können.

**6.42** Die hier gezeigten elektronenschiebenden Pfeilschemata entsprechen den Reaktionen in Übung 6.41. Geben Sie an, in welchen die gebogenen Pfeile richtig verwendet sind und in welchen nicht. Zeichnen Sie richtige Pfeile für die Schemata, in denen sie falsch sind.



### Zur Orientierung – Verwendung der Darstellung mit gebogenen Pfeilen

#### Regel 1

Gebogene Pfeile kennzeichnen die Bewegung von Elektronenpaaren.

#### Regel 2

Elektronen bewegen sich von einem relativ elektronenreicheren Atom zu einem elektronenärmeren Atom.

#### Regel 3

Nach Beendigung des Vorgangs ändert sich die Ladung des Atoms am Ausgangspunkt des Pfeils um +1; umgekehrt ändert sich die Ladung am Endpunkt des Pfeils um –1.

#### Regel 4

Sind die wandernden Elektronen ein freies Elektronenpaar, dann zeichnen Sie den Ausgangspunkt des Pfeils in die Mitte des freien Elektronenpaars.

#### Regel 5

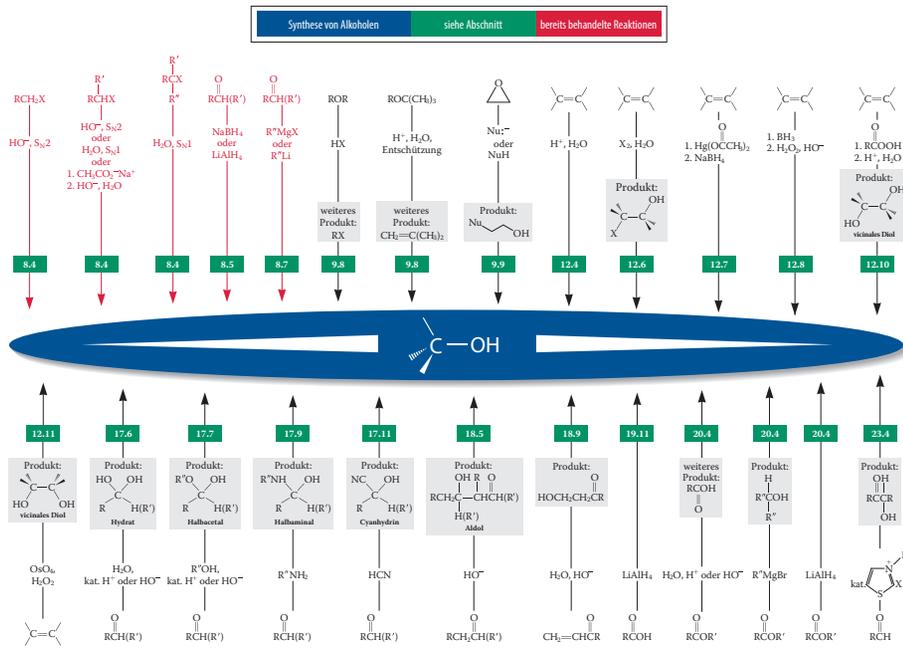
Gehört das wandernde Elektronenpaar zu einer Bindung, dann zeichnen Sie den gebogenen Pfeil ausgehend von der Bindungsmittelpunkt zu dem elektronegativeren Atom als Endpunkt.

#### Regel 6

Wenn ein Elektronenpaar ein Bindungselektronenpaar am aufnehmenden Atom ersetzt, z. B. in der nucleophilen Substitution, dann werden zwei aufeinanderfolgende Pfeile gezeichnet. Die Spitze des ersten Pfeils zeigt dabei auf das Ende des zweiten Pfeils, und beide Pfeile folgen nacheinander.

## Schwerpunkt Reaktionsmechanismen

- **Zwischenspiel: Zusammenfassung organischer Reaktionsmechanismen** (nach Kapitel 14). Die Übersicht über die wichtigen Mechanismen, die die meisten organischen Reaktionen steuern, fördert das Verständnis gegenüber dem Auswendiglernen.
- **Reaktionsübersichten** bieten auf einer Seite einen Überblick über die Reaktivität jeder wichtigen funktionellen Gruppe. **Synthesetafeln** geben die möglichen Ursprünge einer Funktionalität an, d. h. die funktionellen Gruppen der Vorstufen. **Reaktionstafeln** zeigen, wie jede funktionelle Gruppe reagiert. Abschnittsnummern verweisen auf zugehörige Besprechungen im Lehrbuch.

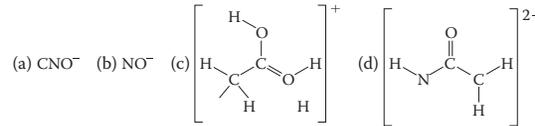


## Problemlösungskompetenz und Strategie

- Anhand von Aufgaben innerhalb des Textes können Studierende die Anwendung eines neuen Stoffs üben, sie werden durch die Lösungen geleitet und lernen, grundlegende, häufig auftretende Arten von Fragen zu erkennen.

### Übung 1.11 Versuchen Sie es selbst

Zeichnen Sie die Resonanzformeln der folgenden Moleküle. Geben Sie, sofern möglich, in jedem Fall die Formel mit der größeren Beteiligung am Resonanzhybrid an.

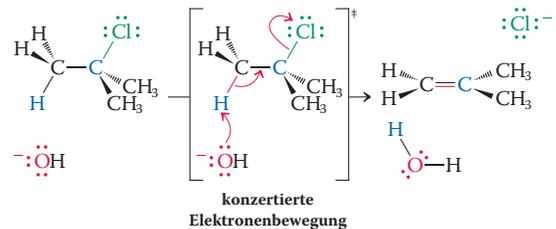


- Neu Regeln** bieten eine Blaupause der Schritte, die Studierenden hilft, Konzepte anzuwenden und ihren Lösungsansatz für eine Aufgabe zu ordnen. Ein Beispiel: **IUPAC-Regeln zur Benennung unverzweigter Alkane** (Abschnitt 2.6).
- Neu** Zahlreiche Randeinträge „**Erinnern Sie sich**“ machen auf häufige Fallstricke aufmerksam, die vor allem beim Formulieren von Mechanismen auftreten.

### Der E2-Reaktionsmechanismus

#### Erinnern Sie sich

Bei einer konzertierten Reaktion erfolgen mehrere Bindungsänderungen gleichzeitig oder „gemeinsam“ (s. die  $\text{S}_{\text{N}}2$ -Reaktion, Abschn. 6.4).



- Aufgaben am Kapitelende haben unterschiedliche Schwierigkeitsgrade und enthalten vielfältige praktische Anwendungen:
- Verständnisübungen** enthalten ausgearbeitete Schritt-für-Schritt-Lösungen zu Aufgaben, die mehrere Konzepte aus dem jeweiligen Kapitel oder aus mehreren Kapiteln umfassen.
- Gruppenübungen** fördern Diskussion und gemeinsames Lernen von Studierenden.

### Wirklich?



Das längste künstlich hergestellte lineare Alkan,  $\text{C}_{390}\text{H}_{782}$ , wurde als Molekülmodell für Polyethylen (Polyethylen) synthetisiert. Es kristallisiert als auseinandergezogene Kette, beginnt aber an seinem Schmelzpunkt (132 °C), sich rasch aufzufalten (s. Abbildung), was zum Teil auf intramolekulare London-Anziehungskräfte zurückzuführen ist. [Quelle: Peter Vollhardt.]

## Praktische Anwendungen und Visualisierung

- In jedem Kapitel werden **biologische, medizinische und industrielle Anwendungen** der organischen Chemie besprochen, viele davon sind neu in dieser Auflage.
- Wirklich?** Diese Randeinträge behandeln ungewöhnliche und überraschende Aspekte zu Konzepten der organischen Chemie und sollen zur Beschäftigung mit dem Thema anregen.
- Exkurse:** Die Kästen beschreiben reale Chemie, die Chemiker in der Praxis durchführen. Grundlegende Sachverhalte in mehr als 70 Einträgen geben eine Einführung in Wirkstoffdesign, Absorption, Stoffwechsel, Wirkungsweise und medizinische Terminologie.
- Neu** Viele Potenzialenergiendiagramme wurden ergänzt, um das visuelle Verständnis der Reaktionsenergetik zu verbessern.

## Neue und aktualisierte Themen

Wie bei allen Neuauflagen wurde jedes Kapitel sorgfältig durchgesehen, überarbeitet und ergänzt.

- **Neu** Relevante Teile der IUPAC-Empfehlungen von 2013 zur Benennung organischer Verbindungen wurden übernommen.
- Bei cyclischen Kohlenwasserstoffen bildet nun der Ring den Stamm – ungeachtet der Länge eines Alkylsubstituenten (ungesättigt oder nicht).
- Bei acyclischen ungesättigten Kohlenwasserstoffen definiert die längste Kette – unabhängig von vorhandenen Doppel- oder Dreifachbindungen und ihrer Stellung das Grundgerüst.
- Thioether werden als Alkylthioalkane bezeichnet – analog zu Alkoxyalkanen anstelle von Ethern.
- **Neu Mehr als 220 neue Übungen innerhalb der Kapitel** sollen Studierenden helfen, beim Lernen von neuem Stoff neue Konzepte zu üben und anzuwenden.
- **Neu** Einträge, Aktualisierungen und Verbesserungen sind unter anderem:
  - erweiterte und verbesserte Besprechung der Säure-Base-Chemie (Kapitel 2),
  - verbesserte Darstellung der Faktoren, die die Bindungsstärken bestimmen (Kapitel 2, 3, 6, 11 und 20),
  - verbesserte Darstellung des Austrittsvermögens von Abgangsgruppen (Kapitel 6),
  - viele neue Beispiele für Reaktionen und erweiterte Darstellung von Mechanismen (Kapitel 6–26),
  - aktualisierte Besprechung der Ozonschicht (Kapitel 3),
  - verbesserte und erweiterte Diskussion der Substitutions- und Eliminierungsreaktionen von Alkyloxonium-Ionen (Kapitel 9),
  - aktualisierter Mechanismus der Wittig-Reaktion (Kapitel 17),
  - erweiterte Besprechung von Enolaten (Kapitel 18),
  - erweiterte mechanistische Betrachtung von Carbonsäurederivaten (Kapitel 19 und 20),
  - erweiterte Besprechung der Aminsynthese (Kapitel 21),
  - erweiterte mechanistische Betrachtung der Nitrosierung (Kapitel 21),
  - erweiterte Besprechung von Oxidationen und Reduktionen substituierter Benzole: die Birch-Reduktion (Kapitel 22),
  - vollständig überarbeitete und aktualisierte Liste der zehn meistverkauften Medikamentenwirkstoffe (Kapitel 25),
  - überarbeitete und erweiterte Besprechung heteroaromatischer Verbindungen (Kapitel 25).

## Weitere Quellen

Arbeitsbuch Organische Chemie  
 Von Neil E. Schore, University of California, Davis  
 ISBN: 978-3-527-345830

Dieses unentbehrliche Arbeitsbuch vom Koautor des Lehrbuchs *Organische Chemie* enthält die Lösungen zu den Aufgaben am Kapitelende, anhand derer Studierende den Lösungsweg nachvollziehen können.



## Über die Autoren



**K. Peter C. Vollhardt** wurde in Madrid geboren, wuchs in Buenos Aires und München auf, studierte an der Universität München, promovierte bei Professor Peter Garratt am University College, London und war Postdoktorand bei Professor Bob Bergman (damals) am California Institute of Technology. 1974 wechselte er nach Berkeley, wo er an der Entwicklung von Organocobaltreagenzien für die organische Synthese, der Herstellung theoretisch interessanter Kohlenwasserstoffe, dem Aufbau neuartiger Übergangsmetallkomplexe als potenzielle Katalysatoren und dem Finden eines Parkplatzes arbeitete. Zu seinen Auszeichnungen und Ehrungen gehören ein Stipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes, die Adolf-Windaus-Medaille, der Humboldt-Forschungspreis, der ACS Award in Organometallic Chemistry, der Otto-Bayer-Preis, der A. C. Cope Scholar Award, der Preis der Japanischen Gesellschaft zur Wissenschaftsförderung, die Medaille der Universität Aix-Marseille und die Ehrendoktorwürde der Universität Tor Vergata, Rom. Er ist Herausgeber der Zeitschrift *Synlett*. Von seinen mehr als 350 Publikationen schätzt er das vorliegende, in 13 Sprachen übersetzte Lehrbuch *Organische Chemie* besonders. Peter ist mit der französischen Künstlerin Marie-José Sat verheiratet, sie haben drei Kinder, Maïa (geb. 1982, Peters Stieftochter), Paloma (geb. 1994) und Julien (geb. 1997).

**Neil E. Schore** wurde 1948 in Newark, New Jersey geboren. Nach dem Besuch staatlicher Schulen in der Bronx, New York, und in Ridgefield, New Jersey, erhielt er 1969 von der University of Pennsylvania seinen B.A. in Chemie mit Auszeichnung. Er ging zurück nach New York, wo er bei dem inzwischen verstorbenen Professor Nicholas J. Turro an der Columbia University im Rahmen seiner Dissertation photochemische und photophysikalische Prozesse organischer Verbindungen untersuchte. Er traf Peter Vollhardt erstmals, als beide in den 1970er Jahren als Postdoktoranden bei Professor Robert Bergman am CalTech arbeiteten. Seit seinem Wechsel an die Fakultät der U.C. Davis hat er für etwa 20 000 Studierende mit Chemie im Nebenfach organische Chemie gelehrt, sieben Lehrauszeichnungen erhalten, mehr als 100 Arbeiten zu verschiedenen Gebieten der organischen Chemie veröffentlicht und mehrere Hundert lokale Jugendfußballspiele als Schiedsrichter geleitet. Er hat außerdem Auslandsstudienprogramme für Chemiestudenten in Taiwan und Großbritannien auf den Weg gebracht und ist Adjunct Professor im International Summer Campus Program der Korea University. Neil ist mit Carrie Erickson verheiratet, sie ist Mikrobiologin an der U.C. Davis School of Veterinary Medicine. Sie haben zwei Kinder, Michael (geb. 1981) und Stefanie (geb. 1983), beide haben für dieses Buch Versuche durchgeführt. Dafür ist Enkelsohn Roman (geb. 2016) bisher noch etwas zu jung.



## Vorwort des Übersetzungsherausgebers zur sechsten deutschen Auflage

Mit der vorliegenden sechsten deutschen Auflage des Lehrbuches von K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore halten Sie ein Werk in den Händen, welches im deutschen Sprachraum seit über 30 Jahren die Ausbildung von Chemikerinnen und Chemikern in organischer Chemie prägt. Daneben findet das Buch rege Anwendung in der Ausbildung von Chemielehrerinnen und Chemielehrern sowie in den benachbarten Bereichen der Biologie, der Medizin, der Physik, den Materialwissenschaften und vielen mehr.

Nach der Einführung des Lehrbuches in Deutschland im Jahr 1988 und den nachfolgenden Auflagen in den Jahren 1995, 2000, 2005 und 2011 war es an der Zeit für eine Neuauflage. Die jetzt erschienene sechste deutsche Auflage ist eine Übersetzung der 2018 erschienenen achten amerikanischen Auflage und trägt damit der Tatsache Rechnung, dass die Zeitabstände für Neuauflagen in den USA kürzer sind als im deutschen Sprachraum.

Wozu immer neue Auflagen? Die organische Chemie ist eine dynamische Wissenschaft, die sich auf der Basis ihrer Grundlagen immer weiterentwickelt. Das gilt nicht nur für ihre wissenschaftlichen Inhalte, sondern auch für den didaktischen Anspruch eines Lehrbuches. So sind jetzt am Anfang eines jeden Kapitels dessen Lernziele klar formuliert. Übersichtliche Zusammenfassungen an den Enden der einzelnen Abschnitte sowie die Rubrik *Im Überblick* am jeweiligen Kapitelende helfen den Studierenden bei der Einordnung der Inhalte in den Gesamtkontext der organischen Chemie. Großer Wert wird nach wie vor auf die beispielhaft ausgearbeiteten Verständnisübungen gelegt, die den Leserinnen und Lesern systematisch zeigen, wie man durch klar durchdachtes Vorgehen zur Lösung eines Problems gelangt. Dabei wird immer wieder deutlich, wie wichtig die Kenntnis der Mechanismen der jeweiligen Reaktionen ist. Der Erkenntnisgewinn der Leserinnen und Leser wird durch unterschiedlichste Exkurse in den Kontext zur Praxis gesetzt, beispielsweise anhand von Sachverhalten aus der aktuellen medizinischen Chemie oder den Materialwissenschaften. Das Verständnis des laufenden Textes wird durch zahlreiche Anmerkungen in den Randspalten, durch die früher bearbeitete Aspekte in Erinnerung gerufen werden, unterstützt. Randtexte unter der Überschrift *Wirklich?* sollen den kritischen Umgang mit Informationen aus der organischen Chemie fördern. Es bleibt daher zu hoffen, dass die Neuauflage des Lehrbuches nicht nur aufgrund der seit der vorherigen Auflage verstrichenen Zeit, sondern auch durch die neue, didaktisch gut durchdachte Präsentation des Stoffes gerechtfertigt ist.

Die Neuauflage war nicht nur für den Herausgeber der deutschen Übersetzung mit viel Arbeit verbunden, sondern vor allem auch für Frau Dr. Kathrin-M. Roy, die zahlreiche Textpassagen verlässlich und in hoher Qualität neu übersetzt hat, sowie Frau Dr. Elke Maase, Frau Stefanie Volk, Frau Ursula Schling-Brodersen, Frau Svenja Gumprecht und Herrn Hans-Jochen Schmitt vom Verlag Wiley-VCH, die das Projekt verlagsseitig mit großer Präzision und Sorgfalt betreut haben. Die Zusammenarbeit mit Frau Sorina Moosdorf und Frau Monika Riepl, Projektmanager bei le-tex publishing services, war erfreulich unkompliziert und reibungslos. Ihnen allen gebührt mein aufrichtiger Dank, ohne ihr Engagement wäre die Neuauflage nicht möglich gewesen. Herzlichen Dank sage ich auch dem Autor K. Peter C. Vollhardt, der zahlreiche Rückfragen meinerseits oft innerhalb weniger Minuten verlässlich beantwortet hat – hier war die Zeitverschiebung zwischen Deutschland und Kalifornien bisweilen durchaus hilfreich. Danken möchte ich darüber hinaus etlichen Leserinnen und Lesern, die über die Jahre immer wieder auf inhaltliche Unstimmigkeiten oder Druckfehler der letzten Auflage hingewiesen haben. Mei-

ner lieben Ehefrau Bettina danke ich herzlich für ihre Geduld für viele Abende, an denen ich mich dem „Vollhardt“ anstatt ihrer gewidmet habe.

Abschließend bleibt mir die Hoffnung, dass die nun vorliegende sechste deutsche Auflage des Lehrbuches *Organische Chemie* von K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore an die erfolgreichen früheren Auflagen anschließt und dazu beiträgt, bei Leserinnen und Lesern die Begeisterung und das Interesse an der organischen Chemie zu fördern.

Hannover, im Juni 2020

*Holger Butenschön*

# Aus Vorworten zu vorhergehenden Auflagen

## Vorwort des Übersetzungsherausgebers zur fünften deutschen Auflage

Die organische Chemie ist nicht nur eine außerordentlich interessante Wissenschaft, sie entwickelt sich auch über 180 Jahre nach der Wöhler'schen Harnstoffsynthese dynamisch weiter. Für ein grundlegendes Lehrbuch der organischen Chemie bedeutet dies, dass es in regelmäßigen Abständen überarbeitet und dem Stand des Wissens angepasst werden muss. Daneben gilt es, das dem Buch zugrunde liegende didaktische Konzept einer regelmäßigen Überprüfung zu unterziehen. Die nun vorliegende fünfte Auflage des Werkes *Organische Chemie* von K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore beruht auf der sechsten amerikanischen Auflage und berücksichtigt damit die Veränderungen von zwei amerikanischen Auflagen. Das bringt es mit sich, dass manche Änderungen deutlicher ausfallen, als es bei früheren deutschen Auflagen der Fall war, große Teile des Buches wurden völlig neu übersetzt. Eine besonders deutliche Veränderung ist die frühere Behandlung der Massenspektrometrie, die jetzt bereits in Kap. 11 eingeführt wird. Damit sind die wichtigen spektroskopischen Methoden so früh behandelt, dass ihre Anwendung im Text des Buches sowie in den Übungsaufgaben früher als bisher mit einbezogen werden können. Weitere Veränderungen betreffen die stark erweiterten Verständnisübungen sowie die Übungsaufgaben am Ende des jeweiligen Kapitels. Moderne Inhalte sind hinzu gekommen, beispielsweise palladiumkatalysierte Kupplungsreaktionen und erste Einführungen in die Olefinmetathese sowie die asymmetrische Katalyse. Zahlreiche Exkurse wurden neu verfasst und weisen nun aktuellere Bezüge auf. In den Formelzeichnungen werden jetzt für die stereochemische Darstellungen die früher für perspektivisch nach hinten stehende Gruppen benutzen gestrichelten Linien den IUPAC-Vorgaben entsprechend gestrichelte Keile benutzt.

Es wird kaum möglich sein, ein so umfangreiches Werk frei von Druckfehlern zu produzieren. Ich möchte all denen herzlich danken, die uns auf Druckfehler und Unstimmigkeiten hingewiesen haben und bin auch in Zukunft für entsprechende Hinweise sehr dankbar. Besonders danken möchte ich Frau Dr. Kathrin-M. Roy, die Qualität ihrer Übersetzungen hat mir bei der Abfassung der fünften deutschen Auflage sehr geholfen. Herzlich gedankt sei auch Frau Dr.-Ing. Waltraud Wüst von Wiley-VCH für die sehr gute und unkomplizierte Zusammenarbeit. Schließlich danke ich meiner Ehefrau Bettina sowie unseren vier Töchtern für die Geduld, die sie mir an vielen Wochenenden und Abenden entgegengebracht haben.

Das Lehrbuch *Organische Chemie* von K. Peter C. Vollhardt und Neil E. Schore ist mittlerweile in über zehn Sprachen übersetzt worden. Ich wünsche der fünften deutschen Auflage des Buches eine Fortsetzung des Erfolges, den es in den 23 Jahren seit Erscheinen der ersten deutsche Auflage gehabt hat.

Hannover, im Juni 2011

*Holger Butenschön*

## Vorwort des Übersetzungsherausgebers zur vierten deutschen Auflage

Seit seinem ersten Erscheinen 1988 hat sich die deutsche Übersetzung des *Vollhardt* einen festen Platz im Kanon der grundlegenden Lehrbücher der Chemie erobert und wird von vielen als das erfolgreichste deutschsprachige Lehrbuch der organischen Chemie betrachtet. Angesichts dieser durchaus erfreulichen Situation mag die Leserin oder der Leser sich fragen, ob es sich bei der nun vorliegenden vierten deutschen Auflage nur um eine um Druckfehler bereinigte Fassung der vorangehenden handelt, oder ob neue Aspekte hinzugekommen sind.

Wenn man die dritte und die vierte Auflage miteinander vergleicht, wird man sofort das modernere Design der Darstellung wahrnehmen. Zum einen spiegelt sich darin wider, daß sich in den 17 Jahren seit der Erstauflage die Erwartungen an eine sachgerechte, übersichtliche Darstellung einer bisweilen recht komplexen Materie weiterentwickelt haben. Zum anderen sind aus der vierten amerikanischen Auflage zahlreiche farbige Abbildungen mit kurzen Erklärungen übernommen worden, die dazu beitragen sollen, wichtige Anwendungsbezüge zu verdeutlichen und das Buch insgesamt lesbarer und interessanter zu machen. Dabei war uns daran gelegen, einen übermäßig plakativ wirkenden Eindruck zu vermeiden. Dennoch glauben wir, daß die deutlichere Farbgebung in zahlreichen Schemata das Verständnis des Stoffes erleichtert. Dies wird durch die Abbildung einer Reihe farbiger Kalottenmodelle zur Vermittlung der räumlichen Gestalt bestimmter Moleküle ebenso unterstützt wie durch zahlreiche Darstellungen des elektrostatischen Potentials von Verbindungen mit konsistenter Farbgebung: blau für positive, rot für negative Ladungsdichte.

Daneben gibt es einige inhaltliche Veränderungen, die das Verständnis der organischen Chemie für die Leserinnen und Leser ebenfalls erleichtern sollen. Während in vorangehenden Auflagen für bestimmte Reaktionstypen oft mehrere Beispiele gegeben wurden, wird dies nunmehr auf ein Beispiel begrenzt. Der dadurch gewonnene Raum wird genutzt, um ausgewählte Übungsaufgaben beispielhaft zu lösen („Arbeiten mit den Konzepten“) und damit nicht nur eine Lösung der Aufgabe herbeizuführen, sondern der Leserin oder dem Leser die Herangehensweise an das Problem zu verdeutlichen. Damit soll nicht nur die durchaus wichtige stoffliche Grundlage der organischen Chemie vermittelt werden, sondern auch allgemeiner die methodische Kompetenz zur Lösung organisch-chemischer Probleme. Dieses didaktische Konzept liegt auch den jetzt deutlich erweiterten, gut angenommenen Verständnisübungen am Ende der Kapitel zugrunde. Kurze Abschnitte „Im Überblick“ am Ende der Kapitel geben der Leserin oder dem Leser eine Orientierungshilfe, wo man sich im weiten Feld der organischen Chemie gerade befindet. Weiter wurden in den ersten Kapiteln einige Abschnitte etwas umgestellt und bisher sehr breit dargestellte Teile konzentriert und teilweise in Form neuer Übungsaufgaben berücksichtigt. Eine Reihe von Exkursen wurde neu aufgenommen, um bedeutenden Entwicklungen in der organischen Chemie angemessenen Raum zu geben.

Ich danke einer Reihe von Leserinnen und Lesern für wertvolle Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Druckfehler. Mein besonderer Dank gilt Frau Dipl.-Chem. S. Feil und Frau Dr. K.-M. Roy für die zuverlässige Übersetzung neu hinzugekommener Teile sowie Frau Dr. B. Bems vom Verlag für die engagierte Zusammenarbeit. Ich wünsche der vierten deutschen Auflage des *Vollhardt* denselben Erfolg wie den vorangegangenen Auflagen.

Hannover, im Juni 2005

Holger Butenschön

## Vorwort des Übersetzungsherausgebers zur dritten deutschen Auflage

Nachdem beim Übergang von der ersten zur zweiten Auflage nicht unerhebliche Umstrukturierungen erforderlich waren, folgt die jetzt vorliegende dritte Auflage des „Vollhardt“ im wesentlichen der Gliederung der erfolgreichen zweiten. Einige interessante Neuerungen umfassen die Verständnisübungen am jeweiligen Ende der Kapitel. Hier wird exemplarisch gezeigt, wie Fragestellungen zum Inhalt des Kapitels beantwortet werden können. In Seminaren und Klausuren zeigt sich immer wieder, daß manche Studierende Probleme damit haben, die in einer Aufgabenstellung enthaltenen Informationen zu erkennen, zu strukturieren und dann zur Lösung anzuwenden. Die Verständnisübungen sollen hier eine Hilfe sein. Hinzugekommen sind auch Gruppenübungen am Ende der Aufgabenteile. Heutzutage ist es oft unzureichend, Fragen alleine zu beantworten. Es muß geübt werden, Probleme in einem Team zu lösen, in der Gruppe zu kommunizieren und eigene Lösungsansätze zu vertreten. Dinge, die einem oder einer Studierenden selbstverständlich erscheinen, müssen für andere keineswegs klar sein! Schematische Übersichten über die Chemie bestimmter Stoffklassen sollen den Studierenden helfen, den Überblick zu behalten und eigene Kenntnislücken schnell zu füllen. Natürlich sind auch Abschnitte hinzugekommen oder wurden weitgehend umgeschrieben. So hat beispielsweise im Kapitel über radikalische Halogenierungen die Problematik der stratosphärischen Ozonschicht einen neuen Abschnitt über dieses globale Problem erforderlich gemacht. Ein Überblick über Säuren und Basen wurde wegen der grundsätzlichen Bedeutung des Themas vorgezogen. Im NMR-Kapitel wurde der Abschnitt über die mittlerweile veraltete APT-Technik durch einen über  $^{13}\text{C}$ -DEPT-NMR-Spektroskopie ersetzt. Zahlreiche Kästen wurden überarbeitet oder – oft aktuellen Entwicklungen Rechnung tragend – neu aufgenommen. So entstand eine Neuauflage mit vielen Veränderungen, der ich denselben Erfolg wie ihren Vorgängerinnen wünsche.

Allen, die konstruktive Kritik und Druckfehler mitgeteilt haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Hannover, im März 2000

*Holger Butenschön*



## Danksagung der Autoren

Wir danken den nachfolgend genannten Professoren für die Durchsicht des Manuskripts zur achten englischen Auflage:

Jung-Mo Ahn, *University of Texas at Dallas*  
Kim Albizati, *University of California, San Diego*  
Taro Amagata, *San Francisco State University*  
Shawn Amorde, *Austin Community College*  
Donal Aue, *University of California, Santa Barbara*  
David Baker, *Delta College*  
Koushik Banerjee, *Georgia College and State University*  
Francis Barrios, *Bellarmine University*  
Mikael Bergdahl, *San Diego State University*  
Thomas Bertolini, *University of Southern California*  
Kelvin Billingsley, *San Francisco State University*  
Richard Broene, *Bowdoin College*  
Corey Causey, *University North Florida*  
Steven Chung, *Bowling Green State University*  
Edward Clennan, *University of Wyoming*  
Oana Cojocar, *Tennessee Technological University*  
Perry Corbin, *Ashland University*  
Lisa Crow, *Southern Nazarene University*  
Michael Danahy, *Bowdoin College*  
Patrick Donoghue, *Appalachian State University*  
Steven Farmer, *Sonoma State University*  
Balazs Hargittai, *Saint Francis University*  
Bruce Hathaway, *LeTourneau University*  
Sheng-Lin (Kevin) Huang, *Azusa Pacific University*

John Jewett, *University of Arizona*  
Bob Kane, *Baylor University*  
Jeremy Klosterman, *Bowling Green State University*  
Brian Love, *East Carolina University*  
Philip Lukeman, *St. John's University*  
Jordan Mader, *Shepherd University*  
Matt McIntosh, *University of Arkansas*  
Cheryl Moy, *University of North Carolina*  
Joseph Mullins, *Le Moyne College*  
Shaun Murphree, *Allegheny College*  
Jacqueline Nikles, *University of Alabama at Birmingham*  
Herman Odens, *Southern Adventist University*  
Jon Parquette, *Ohio State University*  
Bhavna Rawal, *Houston Community College*  
Kevin Shaughnessy, *University of Alabama*  
Nicholas Shaw, *Appalachian State University*  
Supriya Sihi, *Houston Community College*  
Melinda Stephens, *Geneva College*  
John Tovar, *Johns Hopkins University*  
Elizabeth Waters, *University of North Carolina at Wilmington*  
Haim Weizman, *University of California, San Diego*  
Patrick Willoughby, *Ripon College*

Wir sind weiterhin den Professoren dankbar, die auf viele Arten zur Entwicklung der vorherigen Auflagen von *Organische Chemie* beigetragen haben.

Marc Anderson, *San Francisco State University*  
George Bandik, *University of Pittsburgh*  
Anne Baranger, *University of California, Berkeley*  
Kevin Bartlett, *Seattle Pacific University*  
Scott Borella, *University of North Carolina–Charlotte*  
Stefan Bossmann, *Kansas State University*  
Alan Brown, *Florida Institute of Technology*  
Paul Carlier, *Virginia Tech University*  
Robert Carlson, *University of Kansas*  
Toby Chapman, *University of Pittsburgh*  
Robert Coleman, *Ohio State University*  
William Collins, *Fort Lewis College*  
Robert Corcoran, *University of Wyoming*  
Stephen Dimagno, *University of Nebraska, Lincoln*  
Rudi Fasan, *University of Rochester*  
James Fletcher, *Creighton University*  
Sara Fitzgerald, *Bridgewater College*  
Joseph Fox, *University of Delaware*  
Terrence Gavin, *Iona College*

Joshua Goodman, *University of Rochester*  
Christopher Hadad, *Ohio State University*  
Ronald Halterman, *University of Oklahoma*  
Michelle Hamm, *University of Richmond*  
Kimi Hatton, *George Mason University*  
Sean Hightower, *University of North Dakota*  
Shawn Hitchcock, *Illinois State University*  
Stephen Hixson, *University of Massachusetts, Amherst*  
Danielle Jacobs, *Rider University*  
Ismail Kady, *East Tennessee State University*  
Rizalia Klausmeyer, *Baylor University*  
Krishna Kumar, *Tufts University*  
Julie Larson, *Bemidji State University*  
Scott Lewis, *James Madison University*  
Carl Lovely, *University of Texas at Arlington*  
Claudia Lucero, *California State University–Sacramento*  
Sarah Luesse, *Southern Illinois University–Edwardsville*  
John Macdonald, *Worcester Polytechnical Institute*  
Lisa Ann McElwee-White, *University of Florida*

Linda Munchausen, *Southeastern Louisiana State University*  
 Richard Nagorski, *Illinois State University*  
 Liberty Pelter, *Purdue University–Calumet*  
 Jason Pontrello, *Brandeis University*  
 MaryAnn Robak, *University of California, Berkeley*  
 Joseph Rugutt, *Missouri State University–West Plains*  
 Kirk Schanze, *University of Florida*  
 Pauline Schwartz, *University of New Haven*  
 Trent Selby, *Mississippi College*  
 Gloria Silva, *Carnegie Mellon University*  
 Dennis Smith, *Clemson University*

Leslie Sommerville, *Fort Lewis College*  
 Jose Soria, *Emory University*  
 Michael Squillacote, *Auburn University*  
 Mark Steinmetz, *Marquette University*  
 Jennifer Swift, *Georgetown University*  
 James Thompson, *Alabama A&M University*  
 Carl Wagner, *Arizona State University*  
 James Wilson, *University of Miami*  
 Alexander Wurthmann, *University of Vermont*  
 Neal Zondlo, *University of Delaware*  
 Eugene Zubarev, *Rice University*

Darüber hinaus danken wir den folgenden Professoren für die Durchsicht des Manuskripts zur sechsten englischen Auflage:

Michael Barbush, *Baker University*  
 Debbie J. Beard, *Mississippi State University*  
 Robert Boikess, *Rutgers University*  
 Cindy C. Browder, *Northern Arizona University*  
 Kevin M. Bucholtz, *Mercer University*  
 Kevin C. Cannon, *Penn State Abington*  
 J. Michael Chong, *University of Waterloo*  
 Jason Cross, *Temple University*  
 Alison Flynn, *Ottawa University*  
 Roberto R. Gil, *Carnegie Mellon University*  
 Sukwon Hong, *University of Florida*  
 Jeffrey Hugdahl, *Mercer University*  
 Colleen Kelley, *Pima Community College*

Vanessa McCaffrey, *Albion College*  
 Keith T. Mead, *Mississippi State University*  
 James A. Miranda, *Sacramento State University*  
 David A. Modarelli, *University of Akron*  
 Thomas W. Ott, *Oakland University*  
 Hasan Palandoken, *Western Kentucky University*  
 Gloria Silva, *Carnegie Mellon University*  
 Barry B. Snider, *Brandeis University*  
 David A. Spiegel, *Yale University*  
 Paul G. Williard, *Brown University*  
 Shmuel Zbaida, *Rutgers University*  
 Eugene Zubarev, *Rice University*

Peter Vollhardt dankt seinen Kollegen an der UC Berkeley, insbesondere den Professoren John Arnold, Anne Baranger, Bob Bergman, Ron Cohen, Felix Fischer, Matt Francis, John Hartwig, Darleane Hoffman, Tom Maimone, Richmond Sarpong, Rich Saykally, Andrew Streitwieser und Dean Toste für Vorschläge, Aktualisierungen, allgemeine Diskussionen und Anregungen. Sein Dank gilt auch seiner Verwaltungsassistentin, Bonnie Kirk, für die logistische Unterstützung bei der Erstellung und Durchsicht des Manuskripts und der Druckfahnen. Neil Schore dankt Dr. Melekeh Nasiri und Professor Mark Mascal für ihre kontinuierlichen Anmerkungen und Vorschläge sowie den vielen Studenten an der UC Davis, die eifrig auf Fehler, Auslassungen und Abschnitte mit möglichen Verbesserungen und Klärungen hingewiesen haben.

Unser Dank gilt auch den vielen Menschen, die uns bei dieser Auflage unterstützt haben. Beth Cole, Autorenbetreuerin, und Randi Rossignol, Entwicklungsredakteurin bei Macmillan Learning haben diese Auflage vom Konzept bis zur Fertigstellung geleitet. Vertriebsleiterin Maureen Rachford hat dazu beigetragen, die Geschichte der achten Auflage zu verbessern und unsere Anwender zu unterstützen. Das Team bei Sapling Learning unter der Leitung von Lily Huang und Stacy Benson bewältigte die Medieninhalte mit umfangreicher Sachkenntnis und Kompetenz. Zum Team bei Sapling gehörten Sarah Egner, Rene Flores, Alexandra Gordon, Chris Knarr, Robley Light, Cheryl McCutchan, Heather Southerland, Thomas Turner und Andrew Waldeck. Allison Greco koordinierte als Redaktionsassistentin unsere Bemühungen. Darüber hinaus möchten wir unserer Fotoredakteurin Sheena Goldstein, unserer Designerin Vicki Tomaselli und unserer Produktionskoordinatorin Susan Wein für ihre ausgezeichnete Arbeit und Aufmerksamkeit für kleinste Details danken. Ein Dank geht auch an Dennis Free und Sherrill Redd bei Aptara für ihre grenzenlose Geduld.

# Struktur und Bindung organischer Moleküle

Wie funktioniert der menschliche Körper? Warum haben Sie nach sportlichen Anstrengungen Muskelkater? Was ist in der Tablette, die Sie eingenommen haben, um die Kopfschmerzen loszuwerden, die Sie nach nächtelangem Lernen bekamen? Was passiert mit dem Benzin, das Sie in den Tank Ihres Autos füllen? Was ist die molekulare Zusammensetzung Ihrer Kleidung? Was ist der Unterschied zwischen einem Baumwollhemd und einem aus Seide? Woher kommt der Geruch von Knoblauch? Sie werden in diesem Buch über organische Chemie Antworten auf alle diese Fragen und viele andere finden, die Sie sich wohl selbst schon gestellt haben.

Die Chemie ist die Lehre von der Struktur der Moleküle und von den Gesetzen, nach denen Wechselwirkungen zwischen Molekülen ablaufen. Als solche hat sie viele Berührungspunkte mit den Gebieten der Biologie, der Physik und der Mathematik. Was versteht man nun unter organischer Chemie, und wie kann man sie von anderen Gebieten der Chemie, wie physikalischer, anorganischer oder Kernchemie, unterscheiden? Die übliche Definition gibt eine Teilantwort: *Organische Chemie ist die Chemie des Kohlenstoffs und seiner Verbindungen*. Die Moleküle, aus denen diese Verbindungen aufgebaut sind, bezeichnet man als **organische Moleküle**.

Alle lebende Materie ist aus organischen Molekülen aufgebaut. Die Fette, die Zucker, die Proteine und die Nucleinsäuren sind Verbindungen, deren Hauptbestandteil Kohlenstoff ist. Dies gilt auch für viele der Substanzen, die für unser tägliches Leben selbstverständlich geworden sind. Die Bestandteile fast aller Kleidungsstücke, die wir tragen, sind organische Moleküle – einige Kleidungsstücke bestehen aus natürlichen Fasern wie Baumwolle oder Seide, andere aus synthetisierten wie Polyesterfasern. Zahnbürsten, Zahnpasta, Seifen, Shampoos, Deos oder Parfum – alle enthalten organische Verbindungen, ebenso wie Möbel, Teppiche, die Kunststoffe in Lichtschaltern und Küchengeräten, Bilder, Nahrungsmittel und unzählige andere Dinge. Dementsprechend zählt die organische chemische Industrie zu den größten der Welt, zu ihr zählen das Raffinieren und die Verarbeitung von Petrochemikalien, Agrochemikalien, Polymeren, Farben und Lacke sowie Zubereitungen von Lebensmitteln.

Organische Stoffe wie Benzin, Arzneimittel, Pestizide und Polymere haben unsere Lebensqualität verbessert. Andererseits hat die unkontrollierte Beseitigung organischer Chemikalien die Umwelt verschmutzt, was zu der Zerstörung tierischen und pflanzlichen Lebens sowie Verletzungen und Erkrankungen von Menschen geführt hat. Wenn unser Ziel ist, Verbindungen mit guten und nützlichen Eigenschaften zu synthetisieren und ihre Wirkungen zu beeinflussen, müssen wir die Eigenschaften der Verbindungen kennen und ihr Verhalten verstehen. Dies bedeutet, dass wir die Prinzipien der organischen Chemie anwenden müssen.

In diesem Kapitel erfahren wir, wie wir die grundlegenden Vorstellungen der chemischen Struktur und der chemischen Bindung auf organische Moleküle übertragen können. Der größte Teil davon fasst Themen zusammen, die Sie in Modulen zur allgemeinen Chemie bereits kennengelernt haben: chemische Bindungen, Lewis-Formeln und Resonanz, Atom- und Molekülorbitale sowie Bindungsgeometrie.

## Lernziele

- Zusammenhang zwischen Ihrem Grundwissen der allgemeinen Chemie und organischen Molekülen: ionische und kovalente Bindung, Gestalt, die Oktettregel und Lewis-Formeln
- Bedeutung des Coulomb-Gesetzes in der organischen Chemie
- Bedeutung der Verteilung von Elektronendichte
- Zusammenhang zwischen der Zahl der Valenzelektronen und der Stabilisierung der Elemente durch Bindungsbildung
- Resonanzformeln für Strukturen mit Elektronendelokalisation formulieren
- Überblick über die Orbitaldarstellung von Elektronen um den Kern
- Anwenden der Hybridisierung zur Beschreibung der Bindung in einfachen organischen Verbindungen wie Methan
- Zeichnerische Darstellung der dreidimensionalen Strukturen organischer Moleküle

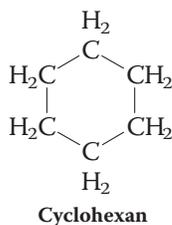
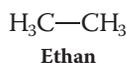
## 1.1 Das Gebiet der organischen Chemie: Ein Überblick

Ein Ziel der organischen Chemie ist es, aus der Struktur eines organischen Moleküls die Reaktionen abzuleiten, die es eingehen kann. Wir können dann die einzelnen Schritte untersuchen, nach denen ein bestimmter Reaktionstyp abläuft, und sind in der Lage, neue Moleküle herzustellen, indem wir diese Reaktionen einsetzen.

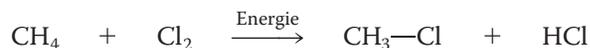
Es ist daher vernünftig, organische Moleküle anhand der in ihnen enthaltenen Unterstrukturen und Bindungen, die ihre chemische Reaktivität bestimmen, einzuteilen. Dabei handelt es sich um Teilstrukturen, die man als **funktionelle Gruppen** bezeichnet. Die Betrachtung der verschiedenen funktionellen Gruppen und ihrer Reaktionen bildet das Aufbauprinzip dieses Lehrbuchs.

### Funktionelle Gruppen bestimmen die Reaktivität organischer Moleküle

Wir beginnen mit den **Alkanen**. Dabei handelt es sich um einfache **Kohlenwasserstoffe**, d. h. organische Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen bestehen, die durch Einfachbindungen miteinander verknüpft sind. Sie tragen keine funktionellen Gruppen und bilden die Grundgerüste organischer Moleküle. Genau wie bei den anderen Klassen von Molekülen diskutieren wir die systematischen Regeln zu ihrer Benennung, beschreiben ihre Strukturen und untersuchen ihre physikalischen Eigenschaften (Kap. 2). Ein Beispiel für ein Alkan ist das Ethan. Seine strukturelle Beweglichkeit bildet den Ausgangspunkt für eine Zusammenfassung von Thermodynamik und Kinetik. Dem folgt eine Diskussion über die Stärke der Bindungen in Alkanen. Diese Bindungen lassen sich durch Wärme, Licht oder chemische Reagenzien spalten. Als Beispiel für diese Prozesse betrachten wir die Chlorierung von Alkanen (Kap. 3).



#### Eine Chlorierungsreaktion



Als Nächstes beschäftigen wir uns mit den cyclischen Alkanen (Kap. 4), in denen die Kohlenstoffatome in einem Ring angeordnet sind. Diese ringförmige Struktur kann zu neuen Eigenschaften und Änderungen in der Reaktivität führen. Ringförmige Kohlenwasserstoffe mit zwei oder mehr Substituenten – entweder auf der gleichen oder auf entgegengesetzten Seiten – bilden die Basis für eine allgemeine Diskussion der **Stereoisomerie**. Stereoisomerie tritt bei Molekülen gleicher Konnektivität, jedoch unterschiedlicher räumlicher Anordnung ihrer Atome auf (Kap. 5).

Danach untersuchen wir die Halogenalkane, unser erstes Beispiel für Moleküle mit einer funktionellen Gruppe: die Kohlenstoff-Halogen-Bindung. Die Halogenalkane gehen zwei Typen von organischen Reaktionen ein: Substitutionen und Eliminierungen (Kap. 6 und 7). Bei einer **Substitutionsreaktion** kann ein Halogenatom durch ein anderes ersetzt werden, bei einer **Eliminierung** können benachbarte Atome unter Bildung einer Doppelbindung aus dem Molekül abgespalten werden.

#### Eine Substitutionsreaktion

