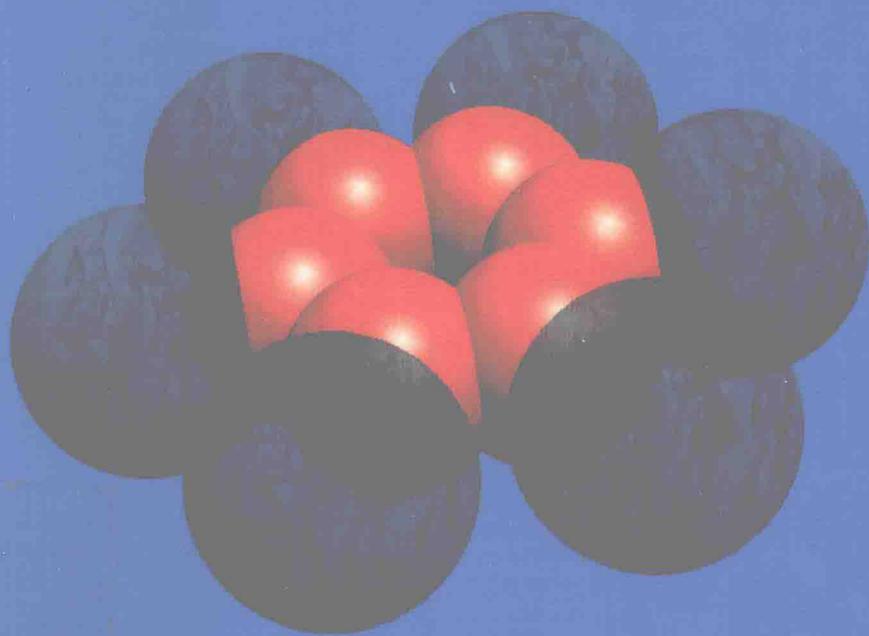


K. Peter C. Vollhardt  
Neil E. Schore

# Organische Chemie

Zweite Auflage



VCH 

K. Peter C. Vollhardt  
Neil E. Schore

# Organische Chemie

Zweite Auflage

Herausgegeben von  
Holger Butenschön

Übersetzt von  
Barbara Elvers und Arne Lüchow



Weinheim  
New York  
Basel  
Cambridge  
Tokyo

Titel der Originalausgabe:  
Organic Chemistry, Second Edition  
First published in the United States by  
W. H. Freeman and Company, New York, New York and Oxford, © 1994  
All rights reserved.

Prof. Dr. K. Peter C. Vollhardt  
Dept. of Chemistry  
University of California, Berkeley  
Berkeley, CA 94720  
USA

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

Prof. Dr. H. Butenschön  
Institut für Organische Chemie  
der Universität Hannover  
Schneiderberg 1B  
D-30167 Hannover

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber, Übersetzer und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

1. Auflage 1988  
1. korrigierter Nachdruck der 1. Auflage, 1990  
2. Nachdruck 1992  
2. Auflage 1995

Übersetzer: Dr. Barbara Elvers, Dr. Arne Lüchow  
Lektorat: Dr. Thomas Kellersohn  
Herstellerische Betreuung: Dipl.-Ing. (FH) Hans Jörg Maier

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme:

**Vollhardt, K. Peter C.:**  
Organische Chemie / K. Peter C. Vollhardt ; Neil E. Schore.  
Hrsg. von Holger Butenschön. Übers. von Barbara Elvers und  
Arne Lüchow. – 2. Aufl. – Weinheim ; New York ; Basel ;  
Cambridge ; Tokyo : VCH, 1995  
Einheitssacht.: Organic chemistry <dt.>  
ISBN 3-527-29097-4  
NE: Schore, Neil E.:

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-69451 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1995

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

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.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Umschlagabbildung: Prof. Dr. R. Nesper, ETH Zürich.

Satz: Hagedorn GmbH, D-68519 Viernheim. Druck und Bindung: Passavia Druckerei GmbH, D-94036 Passau.  
Printed in the Federal Republic of Germany

K. Peter C. Vollhardt  
Neil E. Schore

# Organische Chemie



© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-69451 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland), 1995

Vertrieb:

VCH, Postfach 101161, D-69451 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland)

Schweiz: VCH, Postfach, CH-4020 Basel (Schweiz)

United Kingdom und Irland: VCH (UK) Ltd., 8 Wellington Court, Cambridge CB1 1HZ (England)

USA und Canada: VCH, 220 East 23rd Street, New York, NY 10010-4606 (USA)

Japan: VCH, Eikow Building, 10-9 Hongo 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113 (Japan)

ISBN 3-527-29097-4

- U**
- Überdruckventil 270
  - Überführung in Fischer-Projektionen
  - (R)-2-Brombutan 151
  - $n \rightarrow \pi^*$ -Übergang 589, 710
  - $n \rightarrow \sigma^*$ -Übergang 589
  - $\pi \rightarrow \pi^*$ -Übergang 589, 710
  - $\sigma \rightarrow \sigma^*$ -Übergang 589
  - Übergangsmetall 478, 484
  - Übergangszustand 54 f, 186, 221
  - cyclischer 1051
  - diastereomerer 164
  - anti-Übergangszustand 517
  - Ubichinone 1014
  - Ultraviolett
  - extremes 344
  - Ultraviolett-Spektroskopie 345, 588 ff
  - ultraviolettes Licht 345
  - Umacetalisierung 1064
  - Umesterung 881, 1044
  - Umkristallisation 343
  - Umlagerung 298 ff 430, 467, 1155
  - Alkylverschiebung 303
  - biologische 1134
  - Carbenium-Ionen 298
  - Cyclopentyl-Kation 301
  - 2,2-Dimethyl-1-propanol 304
  - entartete 301
  - Neopentylalkohol 304
  - Übergangszustand 300
  - 1,2-Verschiebung 299
  - Wagner-Meerwein-U. 299
  - Wasserstoffverschiebung 298
  - gauche-anti-Umlagerung 62
  - Umpolung 272, 1064
  - Umweltverschmutzung 480
  - Undecan 44, 273, 533
  - trans-2-Undecen 532
  - ungesättigt 399
  - $\alpha, \beta$ -ungesättigte Aldehyde
  - Hydratisierung 785
  - ungesättigte Alkohole 716
  - $\alpha, \beta$ -ungesättigte Carbonylverbindungen
  - Cyanwasserstoff-Addition 786
  - $\alpha, \beta$ -ungesättigte Ketone
  - Hydratisierung 785
  - ungesättigte Kohlenwasserstoffe 38
  - Ungesättigtheit 420 f
  - unimolekulare Eliminierung 228 ff, 241 ff
  - E1-Reaktion 228
  - unimolekulare nucleophile Substitution 219 ff
  - Abgangsgruppe 223
  - Einfluß des Lösungsmittels 223
  - Geschwindigkeit 223 ff
  - Mechanismus 219 ff
  - polarer Übergangszustand 223
  - Stereochemie 222
  - unimolekulare Substitution 241 f
  - Unordnung 61
  - Urethane 888, 894
  - Uridinphosphat 1118
  - Urotropin 933
  - Urushiole
  - Urushiol I 1037
  - Urushiol II 1037
  - UV-Spektroskopie 588 ff, 869
  - UV-VIS-Spektrometer 346, 589
  - UV-VIS-Spektroskopie 588 ff
- V**
- Vakuum-Pyrolyse 760
  - Vakuum-Ultraviolett-Bereich 589
  - Vakuumpumpen 589
  - Valenzschwingung 415
  - asymmetrische 415
  - symmetrische 415
  - Valeriansäure 808
  - Valeriansäureisopentylester 877
  - $\delta$ -Valerolactam 888
  - $\gamma$ -Valerolacton 877
  - Valin 68
  - Drei-Buchstaben-Code 1183
  - enantiomerenrein durch Racemat-spaltung 1191
  - $pK_a$  der COOH-Gruppe 1183
  - $pK_a$  der  $^+NH_3$ -Gruppe 1183
  - VAN'T HOFF, J.H. 159
  - van-der-Waals-Kräfte 50 f
  - Vanadiumpentoxid 821
  - Vanillin 43, 171
  - Aromastoff 606
  - Vasopressin 1197
  - Veilchen 520
  - meso-Verbindung 156 ff, 188
  - 2,3-Dibrombutan 156
  - Spiegelebene 157
  - Verbrennungsenthalpie
  - Butan 79
  - Cyclohexan 79
  - Ethan 79
  - Ethanol 79
  - Hexan 79
  - isomerer Alkane 80
  - Methan 79
  - 2-Methylpropan 79
  - Pentan 79
  - Propan 79
  - Rohrzucker 79
  - Saccharose 79
  - von flüssigem Ethanol 79
  - von gasförmigem Ethanol 79
  - Verbrennungswärme 511
  - Verdampfungskammer 901
  - Verdauung 788
  - Verdrängungsreaktion 184
  - Verdünnungsprinzip 313
  - Veresterung 306, 830 ff
  - Additions-Eliminierungs-Reaktion 825
  - intramolekulare 832
  - Mechanismus 831
  - säurekatalysierte 831 f
  - Vernetzung 324, 584
  - Verpackungsmaterial 481
  - Verschaltungen 481
  - Verschieben von Elektronenpaaren
  - Darstellung durch gebogene Pfeile 23
  - 1,2-Verschiebung 299, 892
  - Verschmutzung 817
  - Verseifung 846
  - Verstärkung 371
  - Verteidigungsgift 536
  - Verteidigungspheromon 487
  - verzweigte Alkane 42
  - verzweigte Alkylgruppen 44 f
  - Trivialnamen 44
  - Verzweigung 482
  - vicinale Diole 304
  - oxidative Spaltung durch Periodsäure 1095 f
  - – Mechanismus 1096
  - vicinale Kopplung 369
  - vicinale Kopplungskonstante 409
  - Videorecorder 256
  - Vier-Zentren-Übergangszustand 466
- Vierring-Heterocyclen 1140**
- Vierringe 578
  - VILLIGER, V. 740
  - Vinyl 402
  - Vinyl-Anion 407
  - Vinyl-Kation
  - Molekülorbital-Schema 531
  - Vinyl-Kunststoffe 481
  - Vinyl-Wasserstoffatome 406 f
  - Acidität 407
  - Vinylacetat 485, 535, 818
  - Produktion 486
  - Vinylalkohol 485, 760 f
  - Molekülstruktur 761
  - Vinylbromid 532
  - Vinylchlorid 407, 481, 485, 535
  - Produktion 486
  - 3-Vinylcyclohexanon 787
  - Vinylcyclohexen 495
  - Vinylhalogenide 516 f
  - Vinylolithium 407
  - Vinyloge 569
  - violett 589
  - VIS-Spektroskopie 588 ff
  - Viskose 1114
  - Vitamin A 132, 569 f, 778 f, 783, 1159
  - Vitamin A<sub>1</sub> 737
  - Vitamin B<sub>1</sub> 1069
  - Vitamin B<sub>12</sub> 1134
  - Vitamin B<sub>2</sub> 1163
  - Vitamin B<sub>6</sub> 1133
  - Vitamin C 1131
  - Ketoform 1132
  - Struktur 1017
  - Synthese 724
  - Vitamin D<sub>2</sub> 583
  - Vitamin D<sub>4</sub> 68
  - Vitamin E 68
  - Reaktion mit Alkoxy-Radikalen 1016
  - Reaktion mit Lipilhydroperoxid 1016
  - Regenerierung durch Vitamin C 1017
  - VOLHARD, J. 841
  - Vorderseitenangriff 184 ff
  - Vulkanisation 585
- W**
- Wacholder 600
  - Wachse 78, 260, 865, 878
  - Wacker-Prozeß 485
  - Wacker-Verfahren 819
  - wagging 415
  - Wagner-Meerwein-Umlagerung 299
  - Walrat 878
  - Wärmetönung 421
  - Waschmittel 260
  - Wasser 191 f, 195
  - Dipolmoment 254
  - Wasserdichteverteilung 360
  - Wasserstoff 295
  - Bindungsdissociationsenergie 264
  - Wasserstoff-Deuterium-Austausch
  - Basenkatalyse 762
  - Säurekatalyse 762
  - Wasserstoff-Schwefel-Bindung 325
  - Wasserstoffatom 910
  - Wasserstoffatome
  - chemisch äquivalente 355
  - nichtäquivalente 366
  - $\alpha$ -Wasserstoffatome 757, 1046
  - Carbonsäure-Derivate 868
  - Wasserstoffbrücken-Bindung 199, 207, 810
  - Alkohole 255
  - intramolekulare 761
  - Thiole 325

- Wasserstoffmolekül  
 – Bindung 14  
 Wasserstoffperoxid 466  
 Wasserstoffverschiebung 298 ff, 430  
 – Mechanismus 299  
 WATSON, J.D. 1213  
 Wechselwirkung  
 – antibindende 404  
 – bindende 404  
*gauche*-Wechselwirkungen 427  
 Wehen 413, 788, 849  
 Weichmacher 483, 501, 878  
 Weide 809  
 Wein 845  
 Weinsäure  
 – Monokaliumsalz 159  
 – optische Drehung 159  
 – Stereoisomere 159  
 – Traubensäure 159  
 – – gemischtes Natrium-Ammonium-Salz 159  
 – *meso*-Weinsäure 159  
 – Weinstein 159  
 (+)-(*R,R*)-Weinsäure  
 – Racematspaltung 166  
 Weiteroxidation 713  
 Welle-Teilchen-Dualismus 8  
 Wellenfunktionen 8  
 Wellengleichungen 8  
 Wellenlänge 344  
 Wellenmechanik 8  
 Wellenzahl 344, 346, 414  
 $\lambda_{\max}$ -Wert 589  
 Wickler 487  
 Wieland-Miescher-Keton 43  
 WILLIAMSON, A.W. 311  
 Williamson-Ethersynthese 182, 311 ff  
 – stereospezifische 315  
 Williamson-Synthese  
 – intramolekulare 312  
 WILLSTÄTTER, R. 631  
 Wintergrün-Öl  
 – Aromastoff 606  
 Wirt-Gast-Beziehung 314  
 WITTING, G. 734  
 Wittig-Reaktion 734 ff, 778, 992  
 – Mechanismus 736  
 Wittig-Synthese  
 –  $\alpha,\beta$ -ungesättigter Aldehyd 778  
 WOHL, A. 1105  
 Wohl-Abbau  
 – D-Gulose 1105  
 WÖHLER, F. 3  
 WOLFF, L. 729  
 Wolff-Kishner-Reduktion 729 ff  
 – Mechanismus der Stickstoffabspaltung 730  
 WOODWARD, R.B. 582  
 Woodward-Hoffmann-Regeln 582  
 Wuchsstoffe 849  
  
**X**  
 Xanthogenatgruppe 1114  
 Xanthopterin 1163  
 Xylane 1118  
*o*-Xylol 605  
 D-(+)-Xylose  
 – Fischer-Projektion 1087  
 Xylulose 1084  
 D-(+)-Xylulose  
 – Fischer-Projektion 1087  
  
**Y**  
 Ylid-Bildung 735  
 Ylide 734  
 – stabilisierte 778  
  
**Z**  
 Zähne 772  
 Zeder 600  
 Zeichnung dreidimensionaler Strukturen  
 – (*S*)-2-Brombutan 150  
 ZELINSKY, N.D. 841  
 Zellmembran 329, 879, 914, 1141  
 Zellteilung 914, 1163  
 Zellwand 1171  
 Zellwanderung 849  
 Zeolith A 77  
 Zeolithe 77, 328  
 Zidovudin 1216  
 Ziegengeruch 808  
 ZIEGLER, K. 484  
 Ziegler-Natta-Katalysator 584  
 Ziegler-Natta-Polymerisation 484  
 Zigarettenrauch 1142  
 Zimt 547  
 Zimtaldehyd 1081  
 Zimtsäure 1081  
 Zimtsäurenitril 1081  
 Zink 473  
 Zink-Kupfer-Paar 731  
 Zinkoxid 260  
 Zitronenöl 432  
 Zucker  
 – Abbau mit Periodsäure 1096  
 – Aldosen 1084 f  
 – Anomere 1090  
 – anomeres Kohlenstoffatom 1090  
 – Ausbildung intramolekularer Halb-acetale 1089  
 – Bestimmung der Zugehörigkeit zur D- oder L-Reihe 1985  
 – Bildung von cyclischen Acetalen 1102  
 – – als Schutzgruppe 1102  
 – Bildung von cyclischen Carbonaten 1102  
 – Biosynthese 775, 1103  
 – chirale Aktivität 1085  
 – cyclische Formen 1088  
 –  $\alpha$ -Form 1090  
 –  $\beta$ -Form 1090  
 – Furanose 1089  
 – Glycosid 1100  
 – – selektive Darstellung 1101  
 – Haworth-Projektion 1090 f  
 – Hexosen 1084  
 – Ketosen 1084 f  
 – Kondensationsreaktionen von Carbonylgruppen mit Aminderivaten 1099  
 – Konformationen 1088 ff  
 – nicht reduzierende 1101  
 – optische Aktivität 1085  
 – Oxidation zu Carbonsäuren 1093 ff  
 – oxidative Spaltung 1095 ff  
 – Pentosen 1084 f  
 – Pyranose 1089  
 – Sesselprojektion 1090  
 – stufenweiser Auf- und Abbau 1103 ff  
 – Tetrosen 1084  
 – Triosen 1084  
 – Überführung einer Fischer-Projektion in die richtige Keilstrichformel 1088  
 Zuckerrüben 736  
 Zuckersäure 1095  
 Zwei-Elektronen-Reduktion 1159  
 Zwiebeln 331  
 zwischenmolekulare Kräfte 50 f  
 Zwischenprodukt  
 – Intermediat 5  
 Zwitterion 736

# Vorwort

## zur zweiten Auflage

Nach unserer Überzeugung ist es wichtiger, die Konzepte und Ideen der organischen Chemie zu verstehen, als eine Vielzahl von Fakten auswendig zu beherrschen. Dieser Gedanke hat uns begleitet, als wir das vorliegende Lehrbuch schrieben. Bereits in der ersten Auflage wurde die organische Chemie nicht als eindrucksvolle Ansammlung von statischem Wissen dargestellt, sondern als eine lebendige, sich laufend verändernde Wissenschaft. Unser ständiger Umgang mit Studenten hatte uns bestärkt, eine Vielzahl aktueller Anwendungen des Stoffes mit in das Buch aufzunehmen und zu zeigen, wie aufregend wissenschaftliche Entdeckungen sein können. Um eine gute Verständlichkeit zu erreichen, wurden die einzelnen Reaktionstypen Schritt für Schritt behandelt, und gleichzeitig wurden auch die Arbeitsmethoden des Organikers ausführlich vorgestellt. Die Möglichkeiten farbiger Gestaltung wurden als didaktisches Hilfsmittel konsequent eingesetzt, was bei der überwiegenden Zahl der Studenten großen Beifall gefunden hat.

An dieser Auflage hat neben Peter Vollhardt als zweiter Autor Neil Schore mitgewirkt. Dem breiten Spektrum der Interessen und Vorkenntnisse der Studenten konnten wir gemeinsam besser gerecht werden. Jeder Abschnitt, jeder Satz und jede einzelne Formulierung wurden überprüft, um sicherzustellen, daß – von der Auswahl der Reaktionen über das Niveau der Theorie bis zur Klarheit der Sprache – der Stoff optimal präsentiert wird.

Von der ersten Auflage übernommen: die moderne, systematische Einführung

Wir glauben, daß die organische Chemie am einfachsten erlernbar ist, wenn man sie als eine Sprache ansieht: Die Reaktionen sind der Wortschatz und die Mechanismen die Grammatik. Wir führen den Begriff des Mechanismus bereits in Kapitel 3 ein, diskutieren die Reaktionsmechanismen Schritt für Schritt in den Kapiteln 6 und 7 und stellen in den nachfolgenden Kapiteln neben den chemischen Reaktionen die jeweiligen Mechanismen vor, nach denen diese Reaktionen ablaufen.

Die einzelnen Kapitel sind systematisch aufgebaut. Ein typisches Kapitel beginnt mit der Definition einer funktionellen Gruppe und einer kurzen Einleitung, dann werden Nomenklatur, Bindung und

Formel angegeben, die charakteristischen Spektren, Reaktionen und Synthesen behandelt, und schließlich folgen Anwendungen. Wir glauben, daß dieser konsistente und logische Aufbau das Lernen der organischen Chemie erleichtert.

*Zweckmäßige Farbgebung.* Eines der innovativsten Merkmale dieses Lehrbuchs ist die konsistente Farbgebung. Diese optische Hilfe erleichtert die Beherrschung der grundlegenden Prinzipien und wird eingesetzt bei der Nomenklatur, den Orbitaldarstellungen, den Sequenzregeln in der Stereochemie und den Beziehungen der Spektrallinien zu funktionellen Gruppen. Bei der schematischen Darstellung eines Reaktionsmechanismus *spezifiziert Farbe die Reaktivität der Reaktionszentren* und macht dem Leser so beispielsweise die elektrostatische Grundlage von polaren Reaktionen deutlich.

Diese Farbgebung ist ausführlicher direkt im Anschluß an dieses Vorwort beschrieben und, soweit erforderlich, an den betreffenden Stellen im Text. Wir haben auch einige Randmarkierungen bei den Reaktionen eingefügt, die die Bedeutung der Farben noch einmal erläutern. In den Zusammenfassungen und Aufgaben benutzen wir jedoch bewußt keine Farbe, um das Abstraktionsvermögen der Studenten zu fördern.

*Frühzeitige Einführung der Spektroskopie.* Unser Lehrbuch hat auch mit der Einführung in die spektroskopischen Analyseverfahren gleich nach der Chemie der Alkohole Neuland betreten. Die Anwendung dieser Methoden auf viele Verbindungen, angefangen mit der NMR-Spektroskopie in Kapitel 10, kann so ausreichend geübt werden. Seit Erscheinen der ersten Auflage hat die spektroskopische Charakterisierung neuer Verbindungen in der organischen Chemie und angrenzenden Gebieten noch an Bedeutung gewonnen. Wir führen die IR- und die UV-VIS-Spektroskopie in dieser Auflage früher ein, in den Kapiteln 11 bis 14 im Zusammenhang mit den dort behandelten funktionellen Gruppen, so daß alle wichtigen spektroskopischen Verfahren nun in der ersten Hälfte des Lehrbuchs behandelt sind.

*Betonung von Synthesestrategien.* Die Retrosynthese ist ein weiterer Schlüsselbegriff chemischen Denkens, der bereits in der ersten Auflage eingeführt wurde. In dieser Auflage wird die retrosynthetische Analyse noch stärker in den Vordergrund gestellt. Die wichtigsten Synthesestrategien werden in eigenen Abschnitten beschrieben, und das Ziel, Synthesen für ein vorgegebenes Molekül zu entwickeln, wird vom ersten Kapitel an hervorgehoben. Häufige Fallstricke bei der Synthese und die zunehmende Rolle metallorganischer Reagenzien werden in Kapitel 8 skizziert, Polymersynthesen in Kapitel 12 und die Synthesen von Aromaten in Kapitel 16. Die organischen Umsetzungen werden durchweg an solchen Reaktionen illustriert, die in Syntheselabors häufig durchgeführt werden.

*Anwendungen aus Biologie und Industrie.* Wie schon in der ersten Auflage haben wir Reaktionen ausgewählt, die die Bedeutung der organischen Chemie in den *life sciences* Biologie und Medizin, in unserem täglichen Leben und in der Wirtschaft demonstrieren. Besondere Mühe haben wir uns gegeben, das Umfeld von organischen Verbindungen gleich bei ihrer Einführung aufzuzeigen. Weitere Anwendungen finden sich in den Aufgaben.

Einige Naturstoffe und Industrieprodukte werden in eigenen Abschnitten ausführlicher behandelt. Kapitel 9 endet beispielsweise mit der Bedeutung der physiologischen Wirkung von Alkoholen und Ethern, Kapitel 12 mit der der Insekten-Pheromone und Kapitel 21 mit der Darstellung des industriellen Einsatzes von Aminen.

Weitere Anwendungen, oft aus der Biologie oder Medizin, werden in vielen *Kästen* vorgestellt, mit Themen wie Antibiotika, gegen Krebs wirksame Substanzen oder die Chemie des Sehprozesses, aber auch mit Themen aus Umwelt und Industrie.

## Weitere Veränderungen in der zweiten Auflage: Ein leichter zugänglicher Aufbau

## Vorwort zur zweiten Auflage

In dieser Auflage werden die Konzepte der organischen Chemie mit großer Sorgfalt eingeführt. Unter Berücksichtigung der Ratschläge vieler Dozenten und Studenten der organischen Chemie haben wir Inhalt und Gliederung erheblich klarer gestaltet.

*Neue Reihenfolge der funktionellen Gruppen.* Wir haben die bewährte Reihenfolge gewählt, die mit den einfachen Alkanen beginnt und mit den komplexen funktionellen Gruppen endet. Große Teile der Aromatenchemie wie die Hückel-Regel und die polycyclischen Aromaten wurden vorgezogen und mit in die Kapitel 15 und 16 aufgenommen. Auf die Chemie der Carbonylgruppe in den Kapiteln 17 bis 20 folgt jetzt direkt die der Amine in Kapitel 21, so daß in dieser Auflage die Behandlung der wichtigsten funktionellen Gruppen mit Kapitel 21 abgeschlossen ist.

*Gestrafte Darstellung von Reaktionen.* In dieser Auflage ist die Darstellung von Reaktionen und Mechanismen an einigen Stellen gestraft worden. Wir beginnen systematisch jedes Thema mit experimentellen Beobachtungen und illustrieren die Umsetzungen dann mit wichtigen Reaktionen; wir haben den theoretischen Teil etwas komprimiert und längere Abschweifungen vermieden. Das Ergebnis ist eine merkliche Neugruppierung des Stoffs innerhalb der einzelnen Themen. Die Substitutions- und Eliminierungsreaktionen der Halogenalkane und Alkohole werden etwas ausführlicher behandelt, so daß die Erläuterungen zu den Säure-Base-Beziehungen und den Abgangsgruppen jetzt eigene Abschnitte in Kapitel 6 erhalten haben. Die Überführung der Hydroxygruppe OH in eine gute Abgangsgruppe wird jetzt erst in Kapitel 9 behandelt. Die Kapitel 15 und 16 sind mit dem Schwerpunkt auf den Grundlagen der Aromatenchemie neu geschrieben worden. Wir konzentrieren uns auf den Einfluß, den die relative Stabilität der Intermediate auf die Reaktivität der aromatischen Verbindungen und die Selektivität der Reaktionen hat, während weiterführende Themen aus diesem Gebiet in den Kapiteln 22 und 25 behandelt werden.

*Sorgfältige Darlegung neuer Konzepte.* Wir haben immer wieder überprüft, ob alle wesentlichen Punkte überzeugend dargestellt werden. Die meisten Abschnitte beginnen mit einer Fragestellung, an die sich die entscheidenden Schlußfolgerungen sofort anschließen. Bei der Überarbeitung des Lehrbuchs wurden komplizierte Satzstrukturen vermieden. Viele längere Diskussionen wurden stärker untergliedert, so daß die Zahl der Abschnitte innerhalb der Kapitel angewachsen ist. Die Abschnitte zur Synthese in Kapitel 6 wurden beispielsweise vereinfacht, indem die Alkoholsynthesen über die Reduktion mit Hydriden oder über die Addition von Grignard-Verbindungen an Carbonsäuren oder ihre Derivate auf spätere Kapitel verschoben wurden. Die Kontinuität der Themen wurde zum Beispiel in den Kapiteln 17 bis 20 verbessert, wo Reaktionen mit verwandtem Mechanismus jetzt zusammenhängend abgehandelt werden. Die Darstellung der Reaktivität wird zum einfacheren Verständnis vor den speziellen Reaktionen eingeführt.

*Betonung der Bedeutung wissenschaftlicher Entdeckungen.* Einige neue Abschnitte dieser Auflage zeigen die organische Chemie als einen Prozeß ständiger Entdeckungen. Die Kästen sind so gestaltet, daß die Studenten sie auch mit Interesse allein lesen können, und in zahlreichen Fußnoten geben wir Hinweise zu den Chemikern, deren Namen mit einer Reaktion verbunden sind. Auch damit wird gezeigt, daß es in der Chemie kein statisches Wissen gibt.

Ein neuer Abschnitt ist vielleicht von besonderem Interesse: In Abschnitt 22.9 werden freie Radikale und ihr krankheitserregendes Potential diskutiert, die biologische Oxidation und Reduktion wird

dagegen schon in Kapitel 8 behandelt. Weitere neue Beispiele sind der Kasten 15-1 über die noch wachsende Klasse von Molekülen, die als Fullerene bezeichnet werden, und der Kasten 26-4 über AZT, ein Medikament für die HIV-Therapie.

## Verbesserte Didaktik

Viele der didaktischen Hilfsmittel aus der ersten Auflage sind erweitert und verbessert worden.

*Zusammenfassungen.* Jedes Kapitel beginnt mit einem kurzen Überblick, jeder Abschnitt beginnt mit einer Überschrift, einem vollständigen Satz, der das Thema umreißt, und endet fast immer mit einer Zusammenfassung. Am Kapitelende werden die neuen Konzepte noch einmal wiederholt, ab Kapitel 7 werden in einer weiteren Zusammenstellung auch die neuen Reaktionen mit typischen Reagenzien und Lösungsmitteln zusammengefaßt. Kapitel 7 enthält außerdem eine ausführliche Zusammenfassung der Chemie der Halogenalkane, soweit sie in den vorangegangenen Kapiteln bereits dargestellt wurde.

Die Liste der neuen Reaktionen enthält Hinweise auf den zugehörigen Abschnitt im Kapitel. Eine ausführliche Zusammenfassung der wichtigsten funktionellen Gruppen, ebenfalls mit Hinweisen auf den zugehörigen Abschnitt, findet sich auf der Innenseite des hinteren Buchdeckels, während das Periodensystem im vorderen Buchdeckel auf den neuesten Stand gebracht wurde.

*Hervorhebungen.* Neue Begriffe sind fett gedruckt, und die Reaktionen sind so beschriftet, daß der Leser schnell allgemeine Umsetzungen von speziellen Beispielen unterscheiden kann.

Da die einzelnen Themen der organischen Chemie stark miteinander verknüpft sind, findet man überall Querverweise. Die entscheidenden Ideen werden noch einmal betont und in einem neuen Zusammenhang verallgemeinert. Viele Bildunterschriften sind nun ausführlicher, um den Zusammenhang zwischen Diagramm und Text deutlicher herauszustellen.

*Übungen und Aufgaben.* Dieses Lehrbuch gibt dem Studenten reichlich Gelegenheit, den Stoff in mehr als 450 Übungen innerhalb der Kapitel und 650 Aufgaben am Kapitelende zu üben. Viele der Übungen und Aufgaben in dieser Auflage sind neu. Die Lösungen zu den Übungen sind am Ende des Buches zu finden. In den Übungen und den jeweils ersten Aufgaben werden die eingeführten Konzepte direkt auf einfache Moleküle angewendet. Die restlichen Aufgaben stellen eine größere Herausforderung an den Studenten dar und kombinieren häufig verschiedene Konzepte und Reaktionstypen. Die schwierigsten Aufgaben wurden aus der Forschungsliteratur abgeleitet und sollen zu kritischem Denken auf höherem Niveau anregen. Mit Übung und Anleitung werden den Studenten tiefere Einblicke in die organische Chemie ermöglicht, und sie werden in die Lage versetzt, ihre Rolle unter den Wissenschaften zu würdigen.

*Nomenklatur und Abbildung der Moleküle.* Als Student wird man mit einer verwirrenden Vielfalt von Trivialnamen und Nomenklatursystemen konfrontiert. In dieser Auflage wird die Nomenklatur nach Chemical Abstracts benutzt; IUPAC-Namen werden genannt, und wenn ein Trivialname allgemein üblich ist, wird er in Klammern hinter dem systematischen Namen angegeben.

Die Fischer-Projektion wird in dieser Auflage nur in Kapitel 24 für die Kohlenhydrate verwendet, wenn die Studenten über hinreichende Erfahrung verfügen, um damit fertig zu werden. Sie wird jedoch schon in Kapitel 5 eingeführt, welches in der ersten Auflage wegen seiner klaren Darstellung der Stereochemie besonders gelobt wurde. Die Fischer-

Projektionen sind nur eine von mehreren Darstellungen, die durch den konsistenten, funktionalen Gebrauch der Farben profitieren.

## Verlässlichkeit und Genauigkeit

Diese Auflage hat von der umfangreichen Überprüfung durch Studenten und Dozenten profitiert, ebenso von dem Testeinsatz an drei verschiedenen Hochschulen. Wir selbst haben weiter mit dem Lehrbuch gearbeitet, auch mit Nebenfachstudenten. Mit Hilfe unserer Studenten ist es gelungen, ein verlässliches Lehrbuch zu schreiben. Fast alle Spektren wurden von uns oder unseren Studenten mit modernem Gerät aufgenommen. Die meisten  $^1\text{H-NMR}$ -Spektren wurden auf einem Varian Associates EM-390 bei 90 MHz aufgenommen, einer der üblichen Frequenzen für Routineuntersuchungen. Die IR-Spektren wurden mit einem Perkin-Elmer 681 Spektrometer mit einer 580B Datenstation aufgezeichnet.

Alle Reaktionen wurden in der Literatur oder im Laboratorium von uns und unseren Studenten überprüft. Die Lösungsmittel und andere Reaktionsbedingungen sind sorgfältig im Text angegeben.

## Zusätzliche Materialien

Das Arbeitsbuch wurde wieder von einem von uns (Neil Schore) geschrieben. (Sein Co-Autor ist ihm dankbar, daß er seinen lebendigen, leicht verständlichen Schreibstil jetzt auch in das Lehrbuch eingebracht hat.) Das Arbeitsbuch bietet ausgearbeitete Lösungen für die Aufgaben, die im Lehrbuch am Ende des Kapitels stehen. Viele Hinweise sollen bei eventuell auftretenden Problemen helfen: Sie fördern das Verständnis, indem sie die Ursachen häufig gemachter Fehler aufdecken.

Molekülmodelle sind zum „Begreifen“ der räumlichen Struktur von Molekülen sehr hilfreich. Sie sind unter anderem bei VCH erhältlich.

## Danksagung

Ein Lehrbuch zu schreiben, das die Bedürfnisse von Dozenten und Studenten erfüllt, ist eine gewaltige Aufgabe, die ohne die konstruktive Kritik und die Vorschläge vieler Kollegen nicht möglich gewesen wäre. Viele trugen mit ihren kritischen Anmerkungen dazu bei, der ersten Auflage den letzten Schliff zu geben: Harold Bell, Virginia Polytechnic Institute; Peter Bridson, Memphis State University; William Closson, State University of New York at Albany; Fred Clough, ehemals University of Wisconsin, Parkside; Otis Dermer, Oklahoma State University; Thomas Fisher, Mississippi State University; Marye Anne Fox, University of Texas at Austin; Raymond Funk, University of Nebraska, Lincoln; Roy Garvey, North Dakota State University; Edward Grubbs, San Diego State University; Gene Hiegel, California State University at Fullerton; Earl Huyser, University of Kansas; Taylor Jones, The Master's College, Newhall, California; George Kenyon, University of California, San Francisco; Robert Kerber, State University of New York at Stony Brook; Karl Kopecky, University of Alberta; James Moore, University of Delaware; Harry Pearson, Bedales School, England; William A. Pryor, Louisiana State University; William Rosen, University of Rhode Island; Jay Siegel, University of California, San Diego; Richard Sundberg, University of Virginia; Michael S. Tempesta, University of Missouri, Columbia; Jack Timberlake, University of New Orleans; William Tucker, North Carolina State University; Desmond Wheeler, University of Nebraska, Lincoln; Joseph Wolinsky, Purdue University; Steven Zimmerman, University of Illinois, Urbana.

Dank schulden wir auch denjenigen, die uns nach kritischer Durchsicht der ersten Auflage Anregungen für die Überarbeitung gaben: Neil T. Allison, University of Arkansas; Raymond E. Chamberlain III, Ari-

zona State University; Toby M. Chapman, University of Pittsburgh; Brian P. Coppola, University of Michigan; Trudy A. Dickneider, University of Scranton; Keith S. Kyler, University of Miami; Don S. Matteson, Washington State University; M. Mark Midland, University of California, Riverside; Bruce E. Norcross, State University of New York at Binghamton; Morton Raban, Wayne State University; David W. Seybert, Duquesne University; Michael S. Tempesta, University of Missouri, Columbia; Larry S. Trzuppek, Furman University; Carl C. Wamser, Portland State University.

Drei Kollegen haben größere Teile des Manuskriptes in Seminaren verwendet und die Reaktionen der Studenten an uns weitergegeben: Edward Biehl, Southern Methodist University; Dennis H. Burns, Wichita State University und Frank S. Guziec, Jr., New Mexico State University. Wir sind ihnen dankbar, wie auch den Kollegen, die das Manuskript sorgfältig gelesen haben: Fred J. Ablenas, Concordia University; Merle Battiste, University of Florida; John L. Belletire, University of Cincinnati; Silas Blackstock, Vanderbilt University; James M. Bobbitt, University of Connecticut; Albert W. Burgstahler, University of Kansas; Clair J. Cheer, University of Rhode Island; Carl Dirk, University of Texas, El Paso; Edwin C. Friedrich, University of California, Davis; John L. Grunwell, Miami University; Frank S. Guziec, Jr., New Mexico State University; Edwin F. Hilinski, Florida State University; Mark Hollingsworth, University of Indiana; C. Issidourides, University of California, Davis; Philip W. LeQuesne, Northeastern University; M. Mark Midland, University of California, Riverside; J. E. Mulvaney, University of Arizona; Linda L. Munchausen, Southeastern Louisiana University; David Nelson, University of Wyoming; Bruce E. Norcross, State University of New York at Binghamton; Charles A. Panetta, University of Mississippi; William A. Pryor, Louisiana State University; York E. Rhodes, New York University; David W. Seybert, Duquesne University; Maurice Shamma, Pennsylvania State University; Ricardo Silva, California State University at Northridge.

Besonderen Dank schulden wir Professor Edwin Friedrich, der das Manuskript mit Blick auf wissenschaftliche Korrektheit und didaktische Stimmigkeit kritisch durchgesehen hat. Seine zahlreichen Kommentare haben uns außerordentlich geholfen, eine „benutzerfreundliche“ Anordnung der Kapitel zu erreichen.

Wir danken all denen, die die Spektren aufgenommen haben und die Korrektheit des Textes und der Aufgaben überprüft haben, insbesondere Brian A. Siesel und David S. Brown von der University of California, Berkeley. Weiter möchten wir unserem Lektor bei W. H. Freeman, John Haber, danken. Unser Dank geht schließlich an Jodi Simpson, Alison Lew und Lisa Douglis für das Erstellen dieser Auflage, und an Georgia Lee Hadler, die das Buch durch die letzten Etappen geleitet hat.

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

# An die Studenten

Manchmal glauben Studenten, daß die organische Chemie ein furchterregendes Fach sei mit einer überwältigenden Anzahl von Fakten, die auswendig zu lernen, und vielen schwierigen Konzepten, die zu begreifen seien. Doch die organische Chemie hat eine ziemlich klare Struktur, da ein neues Thema immer auf bekanntem Stoff aufbaut. Wir meinen, daß es nichts wirklich Schwieriges in der organischen Chemie gibt, und wir glauben, daß wir den Studenten einige Ratschläge geben können, denn wir haben einen Großteil unseres Lebens damit zugebracht, organische Chemie zu studieren und zu lehren.

## Das Studium der organischen Chemie

Vermeiden Sie, den Anschluß an den Stoff zu verpassen! Wir empfehlen, jeden Tag den Vorlesungs- oder Seminarstoff aufzuarbeiten, die entsprechenden Abschnitte im Buch zu lesen und die Aufgaben zu bearbeiten. Wir möchten die organische Chemie als eine Sprache verstanden wissen. Beim Lernen der Reaktionen erfaßt man das „Vokabular“, während man die „Grammatik“ beim Studium der Mechanismen der Reaktionen kennenlernt. Sie werden dann Freude an der organischen Chemie haben, wenn Sie nicht unter dem Druck stehen, Stoff aufarbeiten zu müssen. Dann werden Sie zu einer neuen, stimulierenden Sicht der Sie umgebenden Welt der Chemie gelangen.

## Der Aufbau des Lehrbuchs

Das Buch ist so angelegt, daß ein schneller Überblick möglich ist. Der Aufbau der meisten Kapitel ist sehr ähnlich: Zunächst lernt man die Benennung der Verbindungen, danach ihre physikalischen Eigenschaften und ihre spektroskopische Charakterisierung, dann die Methoden zur Herstellung dieser Verbindungen und schließlich ihre Reaktionen. Auch die Reaktionen selbst werden einheitlich dargestellt: Zuerst wird ein Überblick über Reaktionspartner und Reaktionsbedingungen gegeben, dann wird der Mechanismus im Detail behandelt. Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer aktiver Lernhilfen:

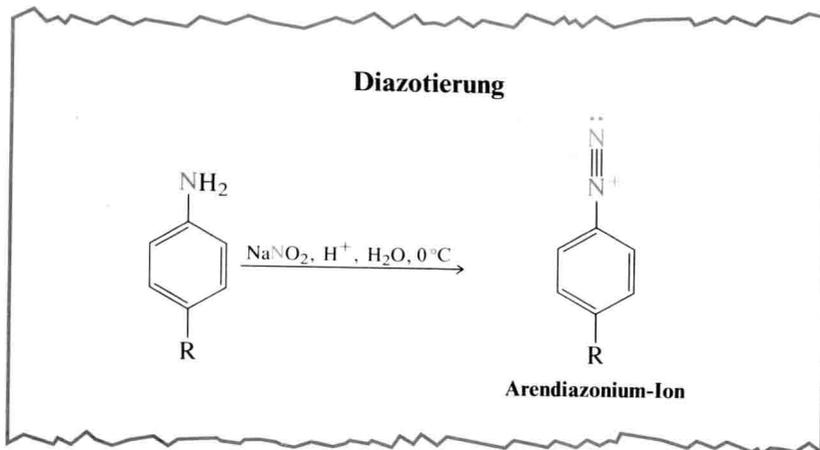
Jedes Kapitel beginnt mit einem kurzen einleitenden Absatz, wie hier am Beispiel aus einem Kapitel des Buches gezeigt ist. Wie im gesamten Buch werden hier neue wichtige Begriffe und Konzepte durch Fettdruck hervorgehoben. Neue Verbindungen werden durch Kursivdruck kenntlich gemacht.

In Kapitel 24 haben wir gesehen, daß Monosaccharide durch wiederholtes Knüpfen von Etherbindungen zu anderen Monosacchariden Polymere bilden können. In der Natur dienen die so entstandenen Polysaccharide zur Energiespeicherung und als Gerüstsubstanz von Zellwänden. In diesem Kapitel wollen wir einen zweiten Typ von natürlichen Polymeren betrachten, die **Polypeptide** – insbesondere die langen natürlich vorkommenden Polypeptidmoleküle, die **Proteine**.

Proteine erfüllen in biologischen Systemen die unterschiedlichsten Funktionen. So wirken sie z. B. bei vielen chemischen Reaktionen in der Natur als Katalysatoren (**Enzyme**). Die katalysierten Reaktionen reichen in ihrer Komplexität von der einfachen Hydratisierung von Kohlendioxid bis zur Replikation eines ganzen Chromosoms. Enzyme können bestimmte Reaktionen mehrere millionenfach beschleunigen.

Proteine dienen auch als Transport- und Speichersysteme. So erfolgt der Transport des Sauerstoffs durch das Protein *Hämoglobin*. Eisen wird von *Transferrin* im Blut transportiert und in der Leber durch *Ferritin* gespeichert. Proteine spielen eine entscheidende Rolle bei koordinierten Bewegungen, wie der Kontraktion von Muskeln. Sie wirken als mechanische Stütze für Haut und Knochen, sind als Antikörper verantwortlich für unseren Immunschutz, erzeugen und übertragen Nervenreize (*Rhodopsin* z. B. ist das Photorezeptor-Protein in den Stäbchenzellen der Netzhaut, s. Kasten 18-4, Abschn. 18.9) und steuern das Wachstum und die Differenzierung – das bedeutet, sie kontrollieren, wieviel und welcher Teil des genetischen Codes, der in der DNA gespeichert ist, zu einem bestimmten Zeitpunkt genutzt wird.

26



Zur schnellen Orientierung hat jede Reaktion eine Überschrift bekommen.

anderen Alkohol- oder zu Wassermolekülen zustande. Wasserfreie Alkohole in verdünnter Lösung zeigen schärfere Banden, die in einem engeren Bereich liegen ( $3620\text{--}3650\text{ cm}^{-1}$ ).

**Übung 11-9**

Drei Alkene mit der Summenformel  $\text{C}_4\text{H}_8$  haben folgende IR-Absorptionen: Alken A bei  $964\text{ cm}^{-1}$ , Alken B bei  $908$  und  $986\text{ cm}^{-1}$  und Alken C bei  $890\text{ cm}^{-1}$ . Geben Sie die zugehörigen Formeln an.

Fassen wir zusammen: Das Vorliegen bestimmter funktioneller Gruppen läßt sich mit Hilfe der Infrarot-Spektroskopie nachweisen. Durch infrarotes Licht werden Bindungen in Molekülen zu Schwingungen angeregt.

In die Kapitel sind Übungen eingebaut, mit denen die neuen Konzepte geübt werden können. Am Ende des Buches sind die Lösungen angegeben.

Am Ende jedes Abschnitts werden die Hauptpunkte zusammengefaßt.

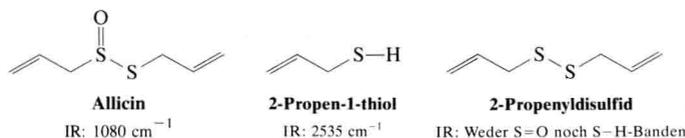
Zur Auflockerung sind in den Kästen interessante Anwendungen zum Thema angegeben. Wir hoffen, daß die darin gegebenen Hintergrund-Informationen die organische Chemie noch lebendiger machen.

**Kasten 11-2**

**Die Knoblauch-Story: Infrarot-Spektroskopie in der Lebensmittelchemie**

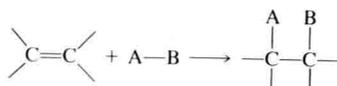
In Tabelle 11-3 fehlen die Infrarot-Daten für einige funktionelle Gruppen, z. B. für die Halogenalkane und die Ether. Diese Daten fehlen, da die IR-Banden für die Valenzschwingungen der C—X- und C—O-Bindungen im Fingerprint-Bereich des Spektrums liegen, wo die Zuordnung zu individuellen Absorptionen schwierig ist. Viele schwefelhaltige funktionelle Gruppen können jedoch leicht mittels IR identifiziert werden. Die S=O-Bindung in Allicin, der wichtigsten flüchtigen Komponente in zerdrücktem Knoblauch (siehe Aufgabe 33 in Kapitel 9), führt zu einer intensiven Bande bei  $1080\text{ cm}^{-1}$ . Allicin ist aber instabil: Die IR-Bande bei  $1080\text{ cm}^{-1}$  verschwindet

in weniger als 24 Stunden bei Raumtemperatur. Das wichtigste Zersetzungsprodukt, das auch nach Knoblauch riecht, konnte spektroskopisch identifiziert werden. Zwei wahrscheinliche Kandidaten, 2-Propen-1-thiol und das zugehörige Disulfid, wurden synthetisiert. Man stellte fest, daß sie ähnliche Spektren haben mit einer C=C-Alken-Bande bei  $1630\text{ cm}^{-1}$  und einer C—H-Alkenyl-Bande bei  $3070\text{ cm}^{-1}$ . Das Thiol hat aber zusätzlich eine Absorptionsbande für die S—H-Gruppe bei  $2535\text{ cm}^{-1}$ . Das Zersetzungsprodukt von Allicin hatte diese Bande nicht und konnte so als das Disulfid identifiziert werden.

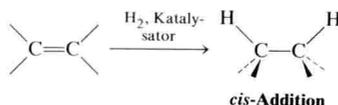


## Neue Reaktionen

### Additionen (Abschn. 12.1)

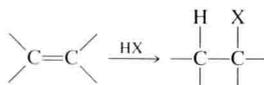


### 1 Hydrierung (Abschn. 12.2)



### Elektrophile Additionen

### 2 Hydrohalogenierung (Abschn. 12.3)



## Wichtige Konzepte

1 Die Reaktivität der Doppelbindung wird durch exotherme Additionsreaktionen deutlich, die zu gesättigten Produkten führen.

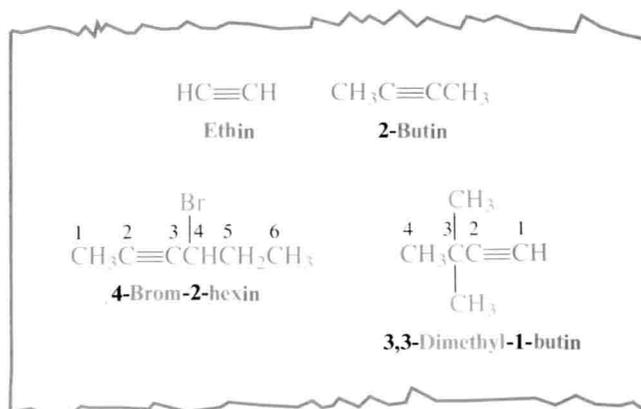
2 Die Hydrierung von Doppelbindungen ist unmeßbar langsam, wenn nicht ein Katalysator zur Spaltung der H—H-Bindung zugegen ist. Mögliche Katalysatoren sind Palladium auf Aktivkohle, Platin (als PtO<sub>2</sub>) und Raney-Nickel. Die Addition von Wasserstoff ist sterisch kontrolliert, normalerweise wird die weniger gehinderte Seite der Doppelbindung bevorzugt angegriffen.

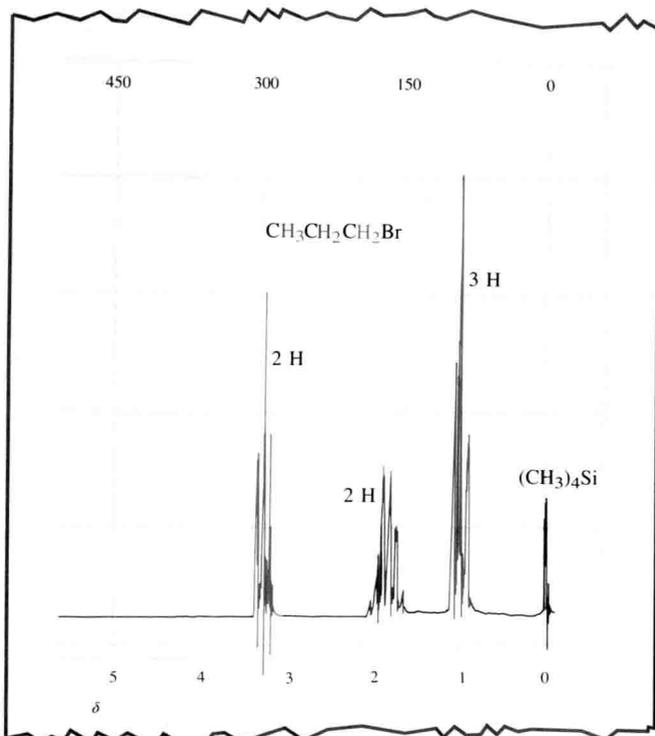
5 Man kann sich Peroxycarbonsäuren so vorstellen, daß sie ein elektrophiles Sauerstoffatom enthalten, das unter Bildung von Oxacyclopropanen auf Alkene übertragen werden kann.

6 Permanganat und Osmiumtetroxid verhalten sich gegenüber Alkenen als elektrophile Oxidationsmittel; im Laufe der Reaktion verringert sich die Oxidationszahl des Metalls um zwei Stufen. Die Addition erfolgt konzertiert über cyclische Sechs-Elektronen-Übergangszustände unter Bildung vicinaler *syn*-Diole als Endprodukte.

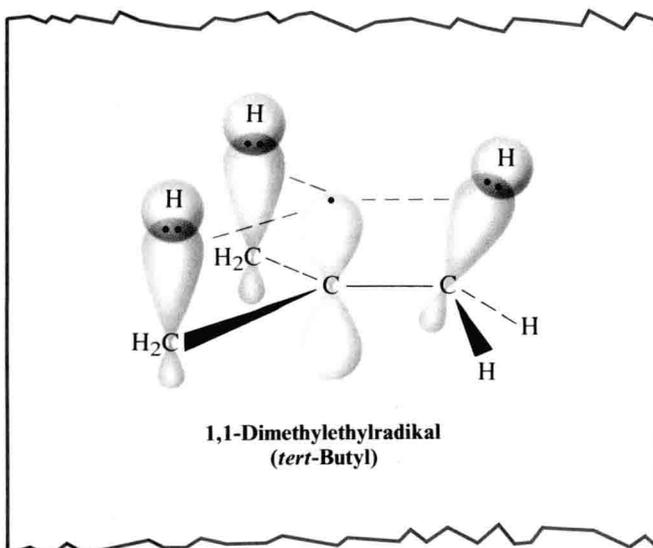
Am meisten unterscheidet sich dieses Lehrbuch von anderen wohl durch den Einsatz von Farbe als didaktischem Hilfsmittel. Im Text wird genau erklärt, welche Bedeutung die verschiedenen farbigen Markierungen im einzelnen haben, wir wollen hier aber doch zeigen, wie vielfältig Farbe in diesem Buch eingesetzt wird.

Farbe wird erstens benutzt, um die Beziehung zwischen dem Namen einer organischen Verbindung und ihrer Struktur zu verdeutlichen. Der Stamm, die funktionelle Gruppe, die das chemische Verhalten bestimmt, und andere Substituenten werden mit denselben Farben wie die entsprechenden Teile des Verbindungsnamens markiert.





Zweitens wird Farbe zur Markierung bestimmter Atome in einem Molekül und bestimmter Spektrallinien, die diesen zugeordnet werden, verwendet.



Drittens wird durch die farbige Gestaltung die Orbitalstruktur eines Moleküls verdeutlicht. Soweit möglich, werden  $s$ -Orbitale rot abgebildet,  $2p$ -Orbitale blau,  $sp^3$ -Orbitale violett und  $3p$ -Orbitale grün.

Viertens liefert die Farbe einen Hinweis auf die Stereochemie eines Moleküls, die räumliche Anordnung der Atome. Wie in Kapitel 5 gezeigt wird, kann Substituenten mit Hilfe sogenannter „Sequenzregeln“ eine Rangfolge zugeordnet werden. Diese Rangfolge wird, in abnehmender Priorität, durch die Farben Rot, Blau, Grün und Schwarz hervorgehoben.

Denken Sie daran, daß die Priorität einer Gruppe durch die Farbgebung gekennzeichnet wird:

höchste Priorität – rot  
zweithöchste – blau  
dritte – grün  
niedrigste – schwarz

