

WILEY-VCH

William H. Brown und Thomas Poon

Einführung in die Organische Chemie



William H. Brown und Thomas Poon

Einführung in die Organische Chemie

Einführung in die Organische Chemie

William H. Brown und Thomas Poon

WILEY-VCH

Titel der Originalausgabe

INTRODUCTION TO ORGANIC CHEMISTRY 6e
Erschienen im Verlag John Wiley & Sons, Inc, USA.
Copyright © 2016, 2014, 2011, 2005, 2000
Alle Rechte vorbehalten. Die Übersetzung erfolgte durch
eine Lizenz des Original Verlags John Wiley & Sons, Inc.

INTRODUCTION TO ORGANIC CHEMISTRY 6e
First published in the United States by John Wiley & Sons, USA
Copyright © 2016, 2014, 2011, 2005, 2000
All Rights Reserved. This translation published under
license with the original publisher John Wiley & Sons, Inc.

Autoren

Prof. William H. Brown

Beloit College
Department of Chemistry
700 College Street
53511 Beloit WI
USA

Prof. Thomas Poon

Claremont McKenna College
Department of Chemistry
925 N. Mills Avenue
91711 Claremont CA
USA

Übersetzer

Prof. Dr. Joachim Podlech

KIT Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Organische Chemie
Fritz-Haber-Weg 6
76131 Karlsruhe
Deutschland

Cover

Getty Images/Adrian Coleman

■ 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.

© 2021 WILEY-VCH GmbH, 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.

Umschlaggestaltung Adam Design, Mannheim

Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Print ISBN 978-3-527-34674-5

ePDF ISBN 978-3-527-82385-7

ePub ISBN 978-3-527-82388-8

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Für Carolyn,
mit der das Leben eine Freude ist

Bill Brown

Für Cathy und Sophia,
für ein Leben voller Abenteuer

Thomas Poon

Inhaltsverzeichnis

Die Zielsetzung dieses Lehrbuchs XVII

Über die Autoren XXI

Danksagung XXIII

- 1 Die kovalente Bindung und die Struktur von Molekülen** 1
 - 1.1 Wie kann man die elektronische Struktur von Atomen beschreiben? 2
 - 1.1.1 Die Elektronenkonfiguration von Atomen 3
 - 1.1.2 Lewis-Formeln 3
 - 1.2 Was ist das Lewis-Bindungskonzept? 5
 - 1.2.1 Bildung von Ionen 5
 - 1.2.2 Die Bildung chemischer Bindungen 6
 - 1.2.3 Elektronegativität und chemische Bindung 7
 - 1.2.4 Formalladungen 12
 - 1.3 Wie kann man Bindungswinkel und Molekülstrukturen vorhersagen? 16
 - 1.4 Wie kann man vorhersagen, ob eine Verbindung polar oder unpolar ist? 20
 - 1.5 Was ist Mesomerie? 22
 - 1.5.1 Mesomerie 22
 - 1.5.2 Elektronenflusspfeile und Elektronenfluss 24
 - 1.5.3 Regeln für das Zeichnen korrekter Grenzformeln 24
 - 1.6 Was ist das Orbitalmodell der Entstehung kovalenter Bindungen? 25
 - 1.6.1 Die Gestalt von Atomorbitalen 25
 - 1.6.2 Bildung von kovalenten Bindungen durch Überlappung von Atomorbitalen 26
 - 1.6.3 Hybridisierung von Atomorbitalen 26
 - 1.6.4 sp^3 -Hybridorbitale: Bindungswinkel etwa 109.5° 27
 - 1.6.5 sp^2 -Hybridorbitale: Bindungswinkel etwa 120° 27
 - 1.6.6 sp -Hybridorbitale: Bindungswinkel von etwa 180° 29
 - 1.7 Was sind funktionelle Gruppen? 31
 - 1.7.1 Alkohole 32
 - 1.7.2 Amine 34
 - 1.7.3 Aldehyde und Ketone 34
 - 1.7.4 Carbonsäuren, Carbonsäureester und Carbonsäureamide 35
- 2 Säuren und Basen** 45
 - 2.1 Was sind Arrhenius-Säuren und -Basen? 46
 - 2.2 Was sind Brønsted-Lowry-Säuren und -Basen? 46
 - 2.3 Wie bestimmt man die Stärke von Säuren und Basen? 50
 - 2.4 Wie bestimmt man die Gleichgewichtslage in einer Säure-Base-Reaktion? 51
 - 2.5 Wie hängen Säurestärke und Molekülstruktur zusammen? 54
 - 2.5.1 Elektronegativität: Entwicklung der Acidität von HA innerhalb einer Periode des Periodensystems 54
 - 2.5.2 Mesomere Effekte: Delokalisierung der Ladung in A^- 55

2.5.3	Der induktive Effekt: Schwächung der HA-Bindung durch Verschiebung von Elektronendichte	56
2.5.4	Die Größe der korrespondierenden Base und die Delokalisierung der Ladung in A^-	56
2.6	Was sind Lewis-Säuren und -Basen?	59
3	Alkane und Cycloalkane	69
3.1	Was sind Alkane?	70
3.2	Was sind Konstitutionsisomere?	71
3.3	Wie benennt man Alkane?	74
3.3.1	Das IUPAC-Nomenklatursystem zur Benennung organischer Verbindungen	74
3.3.2	Trivialnamen	77
3.3.3	Die Klassifikation von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen	78
3.4	Was sind Cycloalkane?	79
3.5	Wie wendet man die IUPAC-Regeln auf Verbindungen mit funktionellen Gruppen an?	80
3.6	Was sind Konformationen in Alkanen und Cycloalkanen?	82
3.6.1	Alkane	82
3.6.2	Cycloalkane	85
3.7	Was sind <i>cis/trans</i> -Isomere in Cycloalkanen?	90
3.8	Welche physikalischen Eigenschaften haben Alkane und Cycloalkane?	94
3.8.1	Siedepunkte	94
3.8.2	Dispersionskräfte und die Wechselwirkung zwischen Alkanmolekülen	95
3.8.3	Schmelzpunkte und Dichte	96
3.8.4	Konstitutionsisomere haben unterschiedliche physikalische Eigenschaften	96
3.9	Was sind die charakteristischen Reaktionen von Alkanen?	97
3.10	Woher bekommt man Alkane?	98
3.10.1	Erdgas	98
3.10.2	Erdöl	98
3.10.3	Kohle	100
4	Alkene und Alkine	111
4.1	Welche Struktur haben Alkene und Alkine?	113
4.1.1	Struktur von Alkenen	113
4.1.2	Orbitalmodell für Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen	113
4.1.3	<i>cis/trans</i> -Isomerie in Alkenen	114
4.1.4	Struktur von Alkinen	115
4.2	Wie benennt man Alkene und Alkine?	115
4.2.1	IUPAC-Namen	115
4.2.2	Trivialnamen	117
4.2.3	Deskriptoren zur Bezeichnung der Konfiguration in Alkenen	117
4.2.4	Benennung von Cycloalkenen	121
4.2.5	<i>cis/trans</i> -Isomerie in Cycloalkenen	122
4.2.6	Diene, Triene und Polyene	122
4.2.7	<i>cis/trans</i> -Isomerie in Dienen, Trienen und Polyenen	122
4.3	Welche physikalischen Eigenschaften haben Alkene und Alkine?	124
4.4	Warum sind 1-Alkine (terminale Alkine) schwache Säuren?	125
5	Reaktionen von Alkenen und Alkinen	133
5.1	Was sind die charakteristischen Reaktionen von Alkenen?	134

- 5.2 Was ist ein Reaktionsmechanismus? 135
- 5.2.1 Energiediagramme und Übergangszustände 135
- 5.2.2 Entwickeln von Reaktionsmechanismen 138
- 5.2.3 Wiederkehrende Muster in Reaktionsmechanismen 139
- 5.3 Nach welchen Mechanismen verläuft die elektrophile Addition an Alkene? 141
- 5.3.1 Addition von Halogenwasserstoffen 142
- 5.3.2 Addition von Wasser: Säurekatalysierte Hydratisierung 148
- 5.3.3 Addition von Brom und Chlor 150
- 5.4 Was sind Carbokation-Umlagerungen? 152
- 5.5 Wie verläuft die Hydroborierung/Oxidation von Alkenen? 155
- 5.6 Wie kann man Alkene zu Alkanen reduzieren? 158
- 5.7 Wie kann man Acetylid-Anionen nutzen, um neue Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen zu knüpfen? 160
- 5.8 Wie kann man Alkine zu Alkenen und Alkanen reduzieren? 162

- 6 Chiralität: Die Händigkeit von Molekülen 171**
- 6.1 Was sind Stereoisomere? 172
- 6.2 Was sind Enantiomere? 172
- 6.3 Wie bestimmt man die Konfiguration eines Stereozentrums? 177
- 6.4 Was besagt die 2ⁿ-Regel? 179
- 6.4.1 Enantiomere und Diastereomere 180
- 6.4.2 *meso*-Verbindungen 182
- 6.5 Wie beschreibt man die Chiralität von cyclischen Verbindungen mit zwei Stereozentren? 183
- 6.5.1 Disubstituierte Derivate von Cyclopentan 183
- 6.5.2 Disubstituierte Derivate von Cyclohexan 184
- 6.6 Wie beschreibt man die Chiralität von Verbindungen mit drei oder mehr Stereozentren? 185
- 6.7 Welche Eigenschaften haben Stereoisomere? 186
- 6.8 Wie kann man Chiralität im Labor nachweisen? 186
- 6.8.1 Linear polarisiertes Licht 187
- 6.8.2 Polarimeter 187
- 6.8.3 Racemate 189
- 6.9 Welche Bedeutung hat Chiralität in der biologischen Welt? 189
- 6.9.1 Chiralität in Biomolekülen 189
- 6.9.2 Wie unterscheidet ein Enzym zwischen einem Molekül und seinem Enantiomer? 189
- 6.10 Wie kann man Enantiomere trennen? 190

- 7 Halogenalkane 199**
- 7.1 Wie werden Halogenalkane benannt? 200
- 7.1.1 IUPAC-Namen 200
- 7.1.2 Trivialnamen 200
- 7.2 Was sind die charakteristischen Reaktionen der Halogenalkane? 202
- 7.3 Welche Produkte entstehen in einer nukleophilen aliphatischen Substitution? 204
- 7.4 Was sind die S_N2- und S_N1-Mechanismen von nukleophilen Substitutionen? 206
- 7.4.1 Mechanismus der S_N2-Reaktion 206
- 7.4.2 Mechanismus der S_N1-Reaktion 208
- 7.5 Was entscheidet, ob ein S_N1- oder ein S_N2-Mechanismus abläuft? 210

7.5.1	Das Nukleophil	210
7.5.2	Die Struktur des Halogenalkans	211
7.5.3	Die Austrittsgruppe	212
7.5.4	Das Lösungsmittel	214
7.6	Wie kann man aus den experimentellen Bedingungen ableiten, ob eine S _N 1- oder S _N 2-Reaktion abläuft?	216
7.7	Welche Produkte entstehen bei einer β-Eliminierung?	219
7.8	Was unterscheidet die Mechanismen E1 und E2 der β-Eliminierung?	221
7.8.1	Der E1-Mechanismus	221
7.8.2	Der E2-Mechanismus	222
7.9	Wann konkurrieren nukleophile Substitutionen und β-Eliminierungen?	224
7.9.1	S _N 1- und E1-Reaktionen	225
7.9.2	S _N 2- und E2-Reaktionen	225
8	Alkohole, Ether und Thiole	237
8.1	Was sind Alkohole?	238
8.1.1	Struktur	238
8.1.2	Nomenklatur	238
8.1.3	Physikalische Eigenschaften	242
8.2	Was sind die charakteristischen Reaktionen der Alkohole?	244
8.2.1	Die Acidität von Alkoholen	244
8.2.2	Die Basizität von Alkoholen	245
8.2.3	Reaktion mit aktiven Metallen	245
8.2.4	Umwandlung in Halogenalkane	246
8.2.5	Säurekatalysierte Dehydratisierung	249
8.2.6	Die Oxidation von primären und sekundären Alkoholen	254
8.3	Was sind Ether?	256
8.3.1	Struktur	256
8.3.2	Nomenklatur	257
8.3.3	Physikalische Eigenschaften	258
8.3.4	Reaktionen von Ethern	260
8.4	Was sind Epoxide?	260
8.4.1	Struktur und Nomenklatur	260
8.4.2	Synthese ausgehend von Alkenen	260
8.4.3	Ringöffnung von Epoxiden	262
8.5	Was sind Thiole?	265
8.5.1	Struktur	265
8.5.2	Nomenklatur	266
8.5.3	Physikalische Eigenschaften	267
8.6	Was sind die charakteristischen Reaktionen der Thiole?	268
8.6.1	Acidität	268
8.6.2	Oxidation zu Disulfiden	268
9	Benzol und seine Derivate	279
9.1	Welche Struktur hat Benzol?	280
9.1.1	Kekulé's Strukturvorschlag für Benzol	280
9.1.2	Das Orbitalmodell des Benzolmoleküls	281
9.1.3	Das Resonanzmodell des Benzolmoleküls	282
9.1.4	Die Resonanzenergie von Benzol	282
9.2	Was ist Aromatizität?	284

- 9.3 Wie benennt man Benzolderivate und welche physikalischen Eigenschaften haben sie? 287
 - 9.3.1 Monosubstituierte Benzole 287
 - 9.3.2 Disubstituierte Benzole 288
 - 9.3.3 Polysubstituierte Benzole 289
- 9.4 Was ist eine benzyliche Position und welchen Anteil hat sie an der Reaktivität von Aromaten? 290
- 9.5 Was ist die elektrophile aromatische Substitution? 292
- 9.6 Wie läuft eine elektrophile aromatische Substitution mechanistisch ab? 293
 - 9.6.1 Chlorierung und Bromierung 294
 - 9.6.2 Nitrierung und Sulfonierung 295
 - 9.6.3 Friedel-Crafts-Alkylierung 297
 - 9.6.4 Friedel-Crafts-Acylierung 299
 - 9.6.5 Andere elektrophile aromatische Alkylierungen 301
 - 9.6.6 Vergleich der Addition an Alkene und der elektrophilen aromatischen Substitution (S_{EAr}) 302
- 9.7 Welchen Einfluss haben Substituenten am Benzol auf die elektrophile aromatische Substitution? 303
 - 9.7.1 Der Einfluss eines Substituenten auf die Zweitsubstitution 303
 - 9.7.2 Dirigierende Effekte in der Zweitsubstitution 307
 - 9.7.3 Aktivierende und deaktivierende Effekte in der Zweitsubstitution 310
- 9.8 Was sind Phenole? 311
 - 9.8.1 Struktur und Nomenklatur 311
 - 9.8.2 Die Acidität von Phenolen 312
 - 9.8.3 Säure-Base-Reaktionen von Phenolen 314
 - 9.8.4 Phenole als Antioxidantien 316
- 10 Amine 329**
 - 10.1 Was sind Amine? 329
 - 10.2 Wie benennt man Amine? 332
 - 10.2.1 Systematische Namen 332
 - 10.2.2 Trivialnamen 335
 - 10.3 Welche charakteristischen physikalischen Eigenschaften haben Amine? 335
 - 10.4 Welche Säure-Base-Eigenschaften haben Amine? 337
 - 10.5 Wie reagieren Amine mit Säuren? 342
 - 10.6 Wie synthetisiert man Arylamine? 344
 - 10.7 Wie können Amine als Nukleophile reagieren? 345
- 11 Spektroskopie 353**
 - 11.1 Was ist elektromagnetische Strahlung? 354
 - 11.2 Was ist Molekülspektroskopie? 355
 - 11.3 Was ist Infrarotspektroskopie? 356
 - 11.3.1 Das Infrarot-Schwingungsspektrum 356
 - 11.3.2 Molekülschwingungen 357
 - 11.3.3 Charakteristische Infrarotabsorptionen 358
 - 11.4 Wie wertet man Infrarotspektren aus? 359
 - 11.4.1 Alkane, Alkene und Alkine 360
 - 11.4.2 Alkohole 361
 - 11.4.3 Ether 362
 - 11.4.4 Amine 363

- 11.4.5 Aldehyde und Ketone 363
 - 11.4.6 Carbonsäuren und Carbonsäurederivate 363
 - 11.4.7 Doppelbindungsäquivalente 367
 - 11.5 Was ist Kernspinresonanz? 370
 - 11.6 Was ist Abschirmung? 371
 - 11.7 Was ist ein ^1H -NMR-Spektrum? 372
 - 11.8 Wie viele Signale enthält das ^1H -NMR-Spektrum einer Verbindung? 374
 - 11.9 Welche Informationen liefert die Signalintegration? 377
 - 11.10 Was ist die chemische Verschiebung? 379
 - 11.11 Wie kommt es zur Aufspaltung der Signale? 381
 - 11.12 Was ist ^{13}C -NMR-Spektroskopie und wie unterscheidet sie sich von der ^1H -NMR-Spektroskopie? 383
 - 11.13 Wie bestimmt man die Struktur einer Verbindung mithilfe der NMR-Spektroskopie 386
- 12 Aldehyde und Ketone 405**
- 12.1 Was sind Aldehyde und Ketone? 406
 - 12.2 Wie werden Aldehyde und Ketone benannt? 406
 - 12.2.1 IUPAC-Nomenklatur 406
 - 12.2.2 Die IUPAC-Namen komplexerer Aldehyde und Ketone 408
 - 12.2.3 Trivialnamen 410
 - 12.3 Welche physikalischen Eigenschaften haben Aldehyde und Ketone? 410
 - 12.4 Was ist das grundlegende Reaktionsmuster der Aldehyde und Ketone? 411
 - 12.5 Was sind Grignard-Reagenzien und wie reagieren sie mit Aldehyden und Ketonen? 412
 - 12.5.1 Herstellung und Struktur von magnesiumorganischen Verbindungen 412
 - 12.5.2 Reaktion mit Protonensäuren 413
 - 12.5.3 Addition von Grignard-Verbindungen an Aldehyde und Ketone 414
 - 12.6 Was sind Halbacetale und Acetale? 416
 - 12.6.1 Bildung von Acetalen 416
 - 12.6.2 Acetale als Schutzgruppen für Carbonyle 421
 - 12.7 Wie reagieren Aldehyde und Ketone mit Ammoniak und Aminen? 422
 - 12.7.1 Bildung von Iminen 422
 - 12.7.2 Reduktive Aminierung von Aldehyden und Ketonen 424
 - 12.8 Was ist die Keto-Enol-Tautomerie? 425
 - 12.8.1 Keto- und Enol-Form 425
 - 12.8.2 Racemisierung am α -Kohlenstoffatom 427
 - 12.8.3 α -Halogenierung 428
 - 12.9 Wie lassen sich Aldehyde und Ketone oxidieren? 429
 - 12.9.1 Die Oxidation von Aldehyden zu Carbonsäuren 429
 - 12.9.2 Oxidation von Ketonen zu Carbonsäuren 430
 - 12.10 Wie lassen sich Aldehyde und Ketone reduzieren? 432
 - 12.10.1 Katalytische Reduktion 432
 - 12.10.2 Reduktion mit Metallhydriden 432
- 13 Carbonsäuren 445**
- 13.1 Was sind Carbonsäuren? 446
 - 13.2 Wie werden Carbonsäuren benannt? 446
 - 13.2.1 IUPAC-System 446
 - 13.2.2 Trivialnamen 448
 - 13.3 Welche physikalischen Eigenschaften haben Carbonsäuren? 449
 - 13.4 Welche Säure-Base-Eigenschaften haben Carbonsäuren? 450

- 13.4.1 Säurekonstanten 450
- 13.4.2 Reaktionen mit Basen 452
- 13.5 Wie kann man Carboxygruppen reduzieren? 454
- 13.5.1 Die Reduktion einer Carboxygruppe 456
- 13.5.2 Die selektive Reduktion anderer funktioneller Gruppen 456
- 13.6 Was ist eine Fischer-Veresterung? 457
- 13.7 Was sind Säurechloride? 461
- 13.8 Was ist eine Decarboxylierung? 463
- 13.8.1 β -Ketosäuren 463
- 13.8.2 Malonsäure und substituierte Malonsäuren 465

- 14 Funktionelle Derivate der Carbonsäuren 475**
- 14.1 Welche Carbonsäurederivate gibt es und wie werden sie benannt? 476
- 14.1.1 Säurehalogenide 476
- 14.1.2 Säureanhydride 476
- 14.1.3 Ester und Lactone 477
- 14.1.4 Amide und Lactame 479
- 14.2 Was sind die charakteristischen Reaktionen der Carbonsäurederivate? 482
- 14.3 Was ist eine Hydrolyse? 483
- 14.3.1 Säurechloride 483
- 14.3.2 Säureanhydride 483
- 14.3.3 Ester 484
- 14.3.4 Amide 486
- 14.4 Wie reagieren Carbonsäurederivate mit Alkoholen? 488
- 14.4.1 Säurechloride 488
- 14.4.2 Säureanhydride 488
- 14.4.3 Ester 488
- 14.4.4 Amide 489
- 14.5 Wie reagieren Carbonsäurederivate mit Ammoniak und Aminen? 490
- 14.5.1 Säurechloride 490
- 14.5.2 Säureanhydride 490
- 14.5.3 Ester 491
- 14.5.4 Amide 491
- 14.6 Wie kann man funktionelle Derivate von Carbonsäuren ineinander umwandeln? 492
- 14.7 Wie reagieren Ester mit Grignard-Reagenzien? 492
- 14.8 Wie kann man Carbonsäurederivate reduzieren? 495
- 14.8.1 Ester 495
- 14.8.2 Amide 496

- 15 Enolat-Anionen 509**
- 15.1 Was sind Enolat-Anionen und wie werden sie gebildet? 510
- 15.1.1 Die Acidität von α -Wasserstoffatomen 510
- 15.1.2 Enolat-Anionen 510
- 15.1.3 Die Verwendung von Enolat-Anionen zur Knüpfung neuer C-C-Bindungen 512
- 15.2 Was ist eine Aldolreaktion? 513
- 15.2.1 Die Bildung von Enolaten aus Aldehyden und Ketonen 513
- 15.2.2 Die Aldolreaktion 514
- 15.2.3 Gekreuzte Aldolreaktion 517
- 15.2.4 Intramolekulare Aldolreaktionen 518
- 15.3 Was sind Claisen- und Dieckmann-Kondensationen? 519

- 15.3.1 Claisen-Kondensation 519
- 15.3.2 Dieckmann-Kondensation 522
- 15.3.3 Gekreuzte Claisen-Kondensation 523
- 15.3.4 Hydrolyse und Decarboxylierung von β -Ketoestern 524
- 15.4 Welche Rolle spielen Aldolreaktionen und Claisen-Kondensationen in biologischen Prozessen? 527
- 15.5 Was ist eine Michael-Reaktion? 528
- 15.5.1 Michael-Addition von Enolat-Anionen 530
- 15.5.2 Michael-Addition von Aminen 533

- 16 Organische Polymerchemie 543**
- 16.1 Wie sind Polymere aufgebaut? 544
- 16.2 Wie werden Polymere benannt und wie kann man ihre Struktur darstellen? 545
- 16.3 Welche Morphologie können Polymere haben und wie unterscheiden sich kristalline und amorphe Materialien? 546
- 16.4 Was ist eine Stufenwachstumspolymerisation? 547
- 16.4.1 Polyamide 548
- 16.4.2 Polyester 549
- 16.4.3 Polycarbonate 550
- 16.4.4 Polyurethane 550
- 16.4.5 Epoxidharze 551
- 16.5 Was ist eine Kettenpolymerisation? 552
- 16.5.1 Radikalkettenpolymerisation 554
- 16.5.2 Ziegler-Natta-Kettenpolymerisation 557
- 16.6 Welche Kunststoffe werden derzeit in großen Mengen wiederverwertet? 559

- 17 Kohlenhydrate 565**
- 17.1 Was sind Kohlenhydrate? 565
- 17.2 Was sind Monosaccharide? 566
- 17.2.1 Struktur und Nomenklatur 566
- 17.2.2 Stereochemie 566
- 17.2.3 Die Fischer-Projektion 567
- 17.2.4 D- und L-Monosaccharide 567
- 17.2.5 Aminozucker 569
- 17.2.6 Physikalische Eigenschaften 570
- 17.3 Wie bilden Monosaccharide cyclische Strukturen? 570
- 17.3.1 Haworth-Projektionen 570
- 17.3.2 Sesseldarstellungen 572
- 17.3.3 Mutarotation 575
- 17.4 Was sind die charakteristischen Reaktionen der Monosaccharide? 575
- 17.4.1 Bildung von Glycosiden (Acetalen) 575
- 17.4.2 Reduktion zu Alditolen 577
- 17.4.3 Oxidation zu Aldonsäuren 578
- 17.4.4 Oxidation zu Uronsäuren 579
- 17.5 Was sind Disaccharide und Oligosaccharide? 580
- 17.5.1 Saccharose 580
- 17.5.2 Lactose 580
- 17.5.3 Maltose 581
- 17.6 Was sind Polysaccharide? 583
- 17.6.1 Stärke: Amylose und Amylopektin 583

- 17.6.2 Glykogen 584
- 17.6.3 Cellulose 584
- 17.6.4 Textilfasern aus Cellulose 585

- 18 Aminosäuren, Peptide und Proteine 593**
- 18.1 Welche Funktionen haben Proteine? 594
- 18.2 Was sind Aminosäuren? 594
- 18.2.1 Struktur 594
- 18.2.2 Chiralität 595
- 18.2.3 Proteinogene Aminosäuren 595
- 18.2.4 Weitere wichtige L-Aminosäuren 597
- 18.3 Welche Säure-Base-Eigenschaften haben Aminosäuren? 598
- 18.3.1 Saure und basische Gruppen in Aminosäuren 598
- 18.3.2 Titration von Aminosäuren 600
- 18.3.3 Der isoelektrische Punkt 601
- 18.3.4 Elektrophorese 602
- 18.4 Was sind Peptide und Proteine? 605
- 18.5 Was ist die Primärstruktur eines Peptids oder Proteins? 606
- 18.5.1 Aminosäureanalyse 606
- 18.5.2 Sequenzanalyse 607
- 18.6 Welche dreidimensionale Struktur hat ein Peptid oder Protein? 610
- 18.6.1 Geometrie einer Peptidbindung 610
- 18.6.2 Sekundärstruktur 611
- 18.6.3 Tertiärstruktur 613
- 18.6.4 Quartärstruktur 615

- 19 Lipide 625**
- 19.1 Was sind Triglyceride? 626
- 19.1.1 Fettsäuren 626
- 19.1.2 Physikalische Eigenschaften 628
- 19.1.3 Reduktion von Fettsäureketten 629
- 19.2 Was sind Seifen und Detergenzien? 629
- 19.2.1 Struktur und Herstellung von Seifen 629
- 19.2.2 Die Reinigungswirkung von Seifen 630
- 19.2.3 Synthetische Detergenzien 631
- 19.3 Was sind Phospholipide? 632
- 19.3.1 Struktur 632
- 19.3.2 Lipiddoppelschicht 632
- 19.4 Was sind Steroide? 635
- 19.4.1 Struktur der wichtigsten Steroidtypen 635
- 19.4.2 Die Biosynthese von Cholesterin 639
- 19.5 Was sind Prostaglandine? 639
- 19.6 Was sind fettlösliche Vitamine? 643
- 19.6.1 Vitamin A 643
- 19.6.2 Vitamin D 644
- 19.6.3 Vitamin E 644
- 19.6.4 Vitamin K 645

- 20 Nukleinsäuren 651**
- 20.1 Was sind Nukleoside und Nukleotide? 652
- 20.2 Welche Struktur hat die DNA? 655
- 20.2.1 Primärstruktur: Das kovalente Rückgrat 655

20.2.2	Sekundärstruktur: Die Doppelhelix	657
20.2.3	Tertiärstruktur: Supercoiled DNA	660
20.3	Was sind Ribonukleinsäuren (RNA)?	662
20.3.1	Ribosomale RNA	662
20.3.2	Transfer-RNA	663
20.3.3	Boten-RNA	663
20.4	Was ist der genetische Code?	664
20.4.1	Codierung in Tripletts	664
20.4.2	Entschlüsseln des genetischen Codes	664
20.4.3	Merkmale des genetischen Codes	665
20.5	Wie kann man DNA sequenzieren?	666
20.5.1	Restriktionsendonukleasen	667
20.5.2	Methoden für die Sequenzierung von Nukleinsäuren	668
20.5.3	DNA-Replikation <i>in vitro</i>	668
20.5.4	Die Kettenabbruch- oder Didesoxymethode	669
20.5.5	Die Sequenzierung des menschlichen Genoms	670
21	Die organische Chemie der Stoffwechselprozesse	677
21.1	Was sind die Schlüsselintermediate in der Glykolyse, der β -Oxidation von Fettsäuren und im Zitronensäurezyklus?	678
21.1.1	ATP, ADP und AMP: Reagenzien zur Speicherung und Übertragung von Phosphatgruppen	678
21.1.2	NAD ⁺ /NADH: Hydridübertragungsreagenzien in biologischen Redoxreaktionen	679
21.1.3	FAD/FADH ₂ : Elektronentransfer-Reagenzien in biologischen Redoxreaktionen	680
21.1.4	Coenzym A: Ein Acylgruppenüberträger	682
21.2	Was ist die Glykolyse?	683
21.3	Welche Reaktionen laufen in der Glykolyse ab?	683
21.4	Welche Folgereaktionen kann Pyruvat eingehen?	688
21.4.1	Reduktion zu Lactat: Milchsäuregärung	689
21.4.2	Reduktion zu Ethanol: Alkoholische Gärung	689
21.4.3	Oxidation und Decarboxylierung zu Acetyl-CoA	690
21.5	Welche Reaktionen laufen bei der β -Oxidation von Fettsäuren ab?	690
21.5.1	Aktivierung der Fettsäuren: Bildung eines Thioesters mit Coenzym A	691
21.5.2	Die vier Reaktionen der β -Oxidation	692
21.5.3	Die Wiederholung der β -Oxidation in der Fettsäurespirale liefert weitere Acetateinheiten	694
21.6	Welche Reaktionen laufen im Zitronensäurezyklus ab?	694
21.6.1	Überblick über den Zyklus	694
21.6.2	Die Reaktionen des Zitronensäurezyklus	694
	Glossar	703
	Anhang 1	717
	Anhang 2	719
	Stichwortverzeichnis	721

Die Zielsetzung dieses Lehrbuchs

Dieses Lehrbuch ist als Einführung in die organische Chemie konzipiert, wobei davon ausgegangen wird, dass auf Vorlesungen in allgemeiner Chemie aufgebaut werden kann. Sowohl die äußere Form als auch der Inhalt beruhen auf unseren Erfahrungen aus den Hörsälen und auf unseren Ansichten zur zeitgemäßen und zukunftsweisen Gestaltung einer kurzen Einführung in die organische Chemie.

Eine Basisvorlesung in organischer Chemie verfolgt mehrere Ziele: Zunächst einmal werden zwar die meisten Studierenden, die diese Vorlesung hören, einen Beruf im Bereich der Naturwissenschaften ergreifen, nur einige wenige aber werden sich am Ende ihrer Ausbildung als vollausgebildete Chemikerinnen oder Chemiker wiederfinden. Sie werden sich vielmehr auf eine berufliche Tätigkeit vorbereiten, für die Grundlagenkenntnisse in organischer Chemie eine notwendige Basis sind. Man kann sich daher darauf beschränken, Struktur, Eigenschaften und Reaktionen vergleichsweise einfacher Verbindungen zu besprechen. Auf diesem Wissen können die Studierenden dann gegebenenfalls in weiteren Vorlesungen und im Laufe ihrer beruflichen Tätigkeit aufbauen.

Zum zweiten muss in einer Grundlagenvorlesung ein Gefühl für den riesigen Umfang und die vielfältigen Inhalte der organischen Chemie sowie für deren immensen Einfluss auf unser Lebens- und Arbeitsumfeld vermittelt werden. Um dies zu erreichen, werden ausgewählte Beispiele zu pharmazeutischen Wirkstoffen, Seifen und Detergenzien, natürlichen und künstlichen Textilfasern, zur Erdölraffination, zu Erdölprodukten, Pestiziden, künstlichen Duft- und Aromastoffen, zur chemischen Ökologie usw. an geeigneter Stelle im Lehrbuch besprochen.

Zum dritten muss eine Einführungsvorlesung Studierende davon überzeugen, dass die organische Chemie mehr ist als eine bloße Aufzählung von Verbindungsnamen und Reaktionen. Es gibt übergeordnete Konzepte und Prinzipien, die nicht nur das Verständnis dieser Disziplin erleichtern, sondern die auch den raschen Einstieg in neue Bereiche der Chemie ermöglichen. So ist der Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und chemischer Reaktivität ein roter Faden, der sich durch die gesamte organische Chemie zieht. Elektronenkonfiguration, Lewis-Formeln, Atomorbitale und deren Hybridisierung sowie die Resonanztheorie werden in Kap. 1 vorgestellt. In Kap. 2 wird der Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und einer wichtigen chemischen Eigenschaft, der Acidität bzw. Basizität, behandelt. Unterschiede in den Aciditäten und Basizitäten organisch-chemischer Verbindungen lassen sich mit den Konzepten der Elektronegativität, des induktiven Effekts und der Mesomerie verstehen. Auf diese Konzepte wird in diesem Lehrbuch immer wieder zurückgegriffen, wenn Molekülstrukturen und chemische Reaktivitäten diskutiert werden. Stereochemie ist ein weiteres übergeordnetes Thema, das in diesem Lehrbuch immer wieder relevant wird. Dieses Konzept und die Bedeutung der räumlichen Anordnung der Atome in Verbindungen kommen erstmalig in Kap. 3 zur Sprache, wenn es um die Konformationen von Alkanen und Cycloalkanen geht, und sind auch in der *cis/trans*-Isomerie von Cycloalkanen (Kap. 3) und Alkenen (Kap. 4) von Bedeutung. Molekülsymmetrie und Chiralität, Enantiomere und absolute Konfiguration sowie die Bedeutung der Chiralität in der biologischen Welt werden in Kap. 6 besprochen. Das mechanistische Verständnis der Reaktionen organischer Verbindungen ist das dritte große Thema. Reaktionsmechanismen werden erstmalig in Kap. 5 diskutiert. Ihr Verständnis erlaubt ein einfacheres Memorieren von Reaktionsabläufen und gibt einem das befriedigende Gefühl, das sich einstellt, wenn man die Logik der molekularen Abläufe hinter den orga-

nisch-chemischen Reaktionen verstanden hat. In diesem Kapitel werden fünf grundlegende Reaktionsmuster vorgestellt, aus denen die meisten Reaktionsmechanismen bestehen.

Die Zielgruppe dieses Lehrbuchs

Dieses Lehrbuch ist als Einführung in die organische Chemie für alle Studierenden gedacht, deren Berufsziel im naturwissenschaftlichen Bereich liegt und die dafür die Grundlagen in organischer Chemie benötigen. Aus diesem Grund haben wir uns besonders bemüht, stets auch die Beziehungen zwischen der organischen Chemie und anderen Naturwissenschaften, insbesondere der Biologie und den Gesundheitswissenschaften, hervorzuheben. Wir hoffen, dass Studierende, die mit diesem Buch arbeiten, die organische Chemie als ein notwendiges Rüstzeug für viele dieser Disziplinen verstehen werden und dabei erkennen, dass die organische Chemie – sowohl die synthetische Chemie im Labor als auch die Naturstoffchemie – überall um sie herum relevant ist – in Medikamenten, in allen Arten von Kunststoffen, in den Fasern ihrer Kleidung, in Agrochemikalien, in Oberflächenbeschichtungen, in Körperpflegemitteln und Kosmetikartikeln, in Nahrungsmittelzusätzen und in Klebstoffen. Diese Studierenden werden zudem hoffentlich erkennen, dass die organische Chemie ein dynamisches und sich ständig vergrößerndes naturwissenschaftliches Fach ist, das alle bereitwillig willkommen heißt, die durch eine gute Ausbildung, aber auch durch eine neugierige Grundhaltung darauf vorbereitet sind, die richtigen Fragen zu stellen und diese Wissenschaft zu erkunden.

Die Besonderheiten dieses Lehrbuchs

- Ein kurzer **Einführungssatz** zu jedem Kapitel soll zusammen mit einer Abbildung und dem Molekülmodell einer typischen Verbindung das Interesse für das Kapitel wecken.
- Alle in diesem Lehrbuch besprochenen **Mechanismen** sind in Kästen graphisch hervorgehoben. Hier sind die Mechanismen schrittweise und detailliert aufgeführt, wobei die immer wiederkehrenden Reaktionsmuster besonders betont werden, so dass mit Hilfe der diskutierten Mechanismen ein Verständnis einer großen Zahl organisch-chemischer Reaktionen ermöglicht wird. Durch diese Vorgehensweise erkennen die Studierenden, dass viele Schritte in organischen Reaktionen immer wieder vorkommen, was sowohl das Verständnis als auch das Memorieren der Reaktionen erleichtert.
- **Schlüsselbegriffe und Kernaussagen** jedes Kapitels sind einer Zusammenfassung zusammengestellt.
- „**Gewusst-wie-Rubriken**“: Schritt-für-Schritt-Anleitungen für bestimmte Vorgehensweisen und für die Lösung bestimmter Fragestellungen, die von Studierenden häufig als schwierig empfunden werden.
- „**Exkurse**“ beschreiben die organisch-chemischen Aspekte abgeschlossener Themengebiete aus der realen Welt, insbesondere zu biochemischen, medizinischen und biologischen Fragestellungen. Die in diesen Rubriken behandelten Themen stellen Anwendungen aus der uns umgebenden Welt dar und heben die Bedeutung der organischen Chemie in der weiteren beruflichen Karriere der Studierenden hervor.
- **Beschreibung der Vorgehensweise** zu jedem Beispiel: Es ist oft nicht ganz einfach herauszufinden, wie man eine Aufgabe angeht. Deshalb wird im Lehrbuch zu

jeder Beispielaufgabe eine Vorgehensweise zur Beantwortung der Frage beschrieben. Diese Strategie kann dann auch zur Bearbeitung der anderen Aufgaben genutzt werden.

- Ein **Quiz** mit einigen kurzen Fragen, die mit *richtig* oder *falsch* beantwortet werden können, findet sich am Ende jedes Kapitels. Studierende können hiermit schnell überprüfen, ob sie die notwendigen Kenntnisse erworben und die grundlegende Thematik verstanden haben. Direkt im Anschluss an das jeweilige Quiz sind die Antworten (richtig, R, oder falsch, F) angegeben, sodass die Studierenden sofort eine Rückmeldung zu ihrem Lernerfolg erhalten. Falls erforderlich, können sie den jeweiligen, in Klammern angegebenen Abschnitt im entsprechenden Kapitel noch einmal durchsehen.
- **Größeres Augenmerk auf visuelles Lernen:** Aus Untersuchungen in den Kognitionswissenschaften weiß man, dass übersichtliche Darstellungen und Visualisierungen den Lernprozess deutlich erleichtern können. Wir haben den Graphiken und Tabellen des Lehrbuchs über 100 erklärende Texte in Sprechblasen hinzugefügt, um besonders wichtige Aussagen nochmals hervorzuheben. Dadurch sind die wichtigsten Informationen an einer Stelle zu erfassen. Wenn Studierende später versuchen, sich ein Konzept in Erinnerung zu rufen oder eine Aufgabe zu lösen, werden sie möglicherweise versuchen, sich die zugehörige Abbildung aus dem Lehrbuch in Erinnerung zu rufen. Es wird sie dann freuen zu bemerken, dass die bildlichen Hinweise, die in den Sprechblasen gegeben wurden, dabei geholfen haben, sich den Inhalt und den Kontext der Abbildungen besser zu merken.

Aufbau des Lehrbuchs

In den Kap. 1–10 wird zunächst ein genauer Blick auf organische Verbindungen geworfen, wobei ein grundlegendes Verständnis der kovalenten Bindung, der Gestalt der Verbindungen und der Säure-Base-Chemie vermittelt wird. Anschließend werden die Strukturen und die Reaktionen der wichtigsten Verbindungsklassen diskutiert: der Alkane, Alkene und Alkine, der Halogenalkane, der Alkohole, Ether und Thiole, der aromatischen Verbindungen und der Amine.

In Kap. 11 werden die IR-Spektroskopie sowie die ^1H - und ^{13}C -NMR-Spektroskopie besprochen. Die Diskussion der Spektroskopie erfordert nicht mehr Hintergrundwissen, als man typischerweise aus Vorlesungen zur allgemeinen Chemie mitbringt. Dieses Kapitel steht für sich allein und kann an nahezu beliebiger Stelle besprochen und durchgearbeitet werden, je nachdem, wo es sich für die entsprechende Lehrveranstaltung als am günstigsten erweist.

In den Kap. 12–16 wird ein Blick auf weitere organische Verbindungsklassen geworfen – auf die Aldehyde und Ketone sowie die Carbonsäuren und ihre funktionellen Derivate. Der Besprechung dieser Verbindungen schließt sich in Kap. 15 eine Einführung in die Aldol-, die Claisen- und die Michael-Reaktion an. Diese Reaktionen sind von besonderer Bedeutung, weil in ihnen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen geknüpft werden. In Kap. 16 wird eine kurze Einführung in die organische Polymerchemie gegeben.

Die Kap. 17–20 geben einen Überblick über die organische Chemie der Kohlenhydrate, der Aminosäure und Peptide, der Nukleinsäuren und der Lipide. In Kap. 21 (*Die organische Chemie der Stoffwechselprozesse*) wird deutlich, dass die bis dahin vermittelte Chemie völlig ausreicht, die drei zentralen Stoffwechselprozesse, die Glykolyse, die β -Oxidation von Fettsäure und den Zitronensäurecyclus, zu verstehen.

Ergänzende Materialien

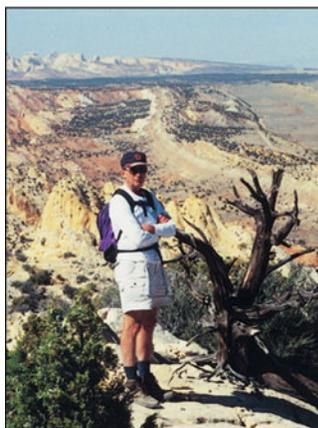
Arbeitsbuch: Verfasst von Felix Lee (The University of Western Ontario) und durchgesehen von den Professoren Brown und Poon. Das Arbeitsbuch enthält ausführliche Lösungen zu allen im Lehrbuch enthaltenen Aufgaben, ausführliche Erklärungen zu vielen Antworten der Quiz-Sektionen am Ende der Kapitel und Lösungen zu den Aufgaben am Ende der Exkurse.

Zusätzliche Aufgaben im Internet: Weitere Aufgaben zu jedem Kapitel finden sich zusammen mit ausführlichen Lösungen im Internet.

Über die Autoren

William H. Brown ist emeritierter Professor am Beloit College, wo er zweimal zum Dozenten des Jahres gewählt wurde. Er ist Autor von zwei weiteren Lehrbüchern: *Organic Chemistry*, 8. Auflage (zusammen mit Chris Foote, Brent Iverson und Eric Anslyn, erschienen 2009) und *General, Organic, and Biochemistry*, 12. Auflage (zusammen mit Fred Bettelheim, Mary Campbell und Shawn Farrell, erschienen 2010). Er wurde an der Columbia University unter der Anleitung von Gilbert Stork promoviert und hat Postdoc-Aufenthalte am California Institute of Technology und an der University of Arizona angeschlossen. Er war zweimal Leiter eines Beloit College World Affairs Center-Seminars an der University of Glasgow in Schottland. 1999 wurde er am Beloit College pensioniert und konnte sich vermehrt dem Schreiben und der Entwicklung von Unterrichtsmaterialien widmen. Obwohl er emeritiert ist, hält er immer noch jedes Jahr Vorlesungen zu speziellen Themen im Bereich der Organischen Synthese.

Bill und seine Frau Carolyn genießen es, im Canyon Country im Südwesten der Vereinigten Staaten zu wandern. Ihr Steckenpferd ist das Quilten und die Beschäftigung mit Quilts (einer Art Zier-Steppdecken).



Thomas Poon ist Professor für Chemie am W.M. Keck Science Department von Claremont McKenna sowie am Pfizer und am Scripps College, also an drei der fünf Institutionen für Bachelorstudierende, aus denen die Claremont Colleges in Claremont, Kalifornien bestehen. Er hat seinen Bachelor an der Fairfield University in Connecticut abgeschlossen und wurde an der University of California, Los Angeles unter der Anleitung von Christopher S. Foote promoviert. Poon war Camille and Henry Dreyfuss-Postdoc-Stipendiat bei Bradford P. Mundy am Colby College in Maine, bevor er Dozent am Randolph-Macon College in Virginia wurde. Dort erhielt er 1999 den Thomas Branch Award for Excellence in Teaching. Er war in den Jahren 2002 und 2004 Gastwissenschaftler an der Columbia University in New York, wo er zusammen mit seinem verstorbenen Freund und Mentor Nicholas J. Turro wissenschaftliche und didaktische Projekte bearbeitete. Er hat organische und forensische Chemie unterrichtet, Fortgeschrittenenpraktika betreut und ein Seminar für Studienanfänger mit dem Titel *Science in Identity* gegeben. Am liebsten arbeitet er im Labor zusammen mit Bachelorstudenten an Forschungsfragestellungen zur synthetischen Anwendungen von Zeolithen, zur Photochemie in Zeolithen, zur Isolierung von Naturstoffen oder zu Reaktionen von Singulett-Sauerstoff.

Wenn er nicht im Labor ist, spielt er gerne Gitarre und singt seinen Studierenden und seiner Tochter Sophie chemische Lieder vor.



Danksagung

Auch wenn in diesem Lehrbuch nur zwei Personen als „Autoren“ aufgeführt sind, so ist das Buch doch das Produkt der Zusammenarbeit zahlreicher Personen, von denen einige naheliegend sind und andere etwas weniger. All diesen Personen sind wir für ihre Beiträge überaus dankbar. Wir beginnen mit Felix Lee, der mit uns viele Jahre bei der Erstellung des Arbeitsbuches und bei der Ausarbeitung der Lösungen für die Aufgaben in diesem Lehrbuch zusammengearbeitet hat. Sein scharfes Auge und seine chemische Expertise haben in vielerlei Hinsicht dazu beigetragen, dieses Lehrbuch in seinen verschiedenen Auflagen zu verbessern. Ein besonderer Dank geht auch an Professor Robert White von der Dalhousie University dafür, dass er sich die Zeit genommen hat, uns über die Fehler zu informieren, die er in der vorherigen Auflage gefunden hat. Wir danken auch Patty Donovan (Senior Production Editor bei SPi Global) für ihre unglaublichen organisatorischen Fähigkeiten und für ihre Geduld. Wo wir gerade von Geduld reden: Das ganze Produktions- und Herausgeberteam bei Wiley kann gar nicht genug für seine Geduld, seine Fähigkeiten und seine Professionalität im Zusammenhang mit diesem Projekt gelobt werden. Hierzu gehören Joan Kakut (Chemistry Development Editor), Alyson Rentrop (Associate Development Editor), Mallory Fryc (Chemistry Editorial Assistant) und Sandra Dumas (Senior Production Editor) sowie Wendy Lai (Senior Graphic Designer) für ihre kreativen Beiträge zu den Buchumschlägen aller Auflagen dieses Lehrbuchs. Wir danken Sophia Brown dafür, dass sie mit einem studentischen Auge einen Blick auf die PowerPoint-Vorlagen für Vorlesungen geworfen hat, und für ihre zahlreichen positiven Einflüsse, die uns bei der Erstellung dieses Lehrbuchs geleitet haben.

Liste der Gutachter

Die Autoren bedanken sich herzlich bei den folgenden Personen, die mit ihren wertvollen Kommentaren zu diesem Lehrbuch in den verschiedenen Stadien der Entstehung dazu beigetragen haben, dessen sechste Auflage fertigzustellen:

Tammy Davidson, *University of Florida*
Kimberly Griffin, *California Polytechnic State University*
Ron Swisher, *Oregon Institute of Technology*
Felix Lee, *University of Western Ontario*
Joseph Sumrak, *Kansas State University*
Lisa Stephens, *Marist College*

Darüber hinaus sind wir zahlreichen Personen dankbar, die den Text durchgesehen haben und damit die Fertigstellung früherer Auflagen dieses Lehrbuchs unterstützt haben:

Jennifer Batten, *Grand Rapids Community College*
Debbie Beard, *Mississippi State University*
Stefan Bossman, *Kansas State University*
Richard Bretz, *Miami University*
Jared Butcher, *Ohio University*
Dana Chatellier, *University of Delaware*
Patricia Chernovitz, *Grantham University*

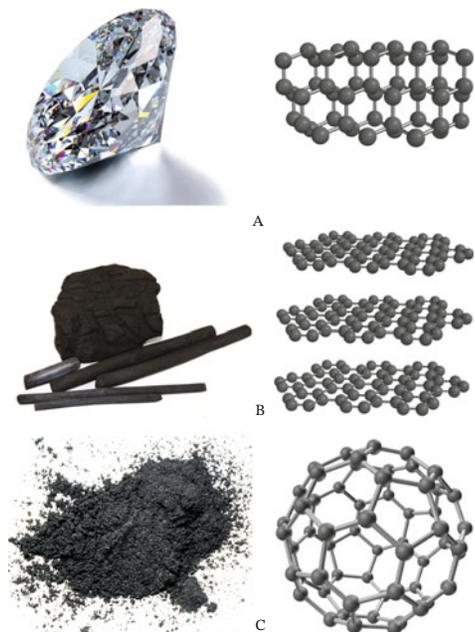
Steven Chung, *Bowling Green State University*
Mary Cloninger, *Montana State University-Bozeman*
Sushama Dandekar, *University of North Texas*
Wendy David, *Texas State University-San Marcos*
Jordan Fantini, *Denison University*
Maria Gallardo-Williams, *North Carolina State University*
Joseph Gandler, *California State University-Fresno*
Michel Gravel, *University of Saskatchewan*
John Grutzner, *Purdue University*
Ben Gung, *Miami University*
Peter Hamlet, *Pittsburgh State University*
Bettina Heinz, *Palomar College*
John F. Helling, *University of Florida-Gainesville*
Amanda Henry, *Fresno City College*
James Hershberger, *Miami University*
Klaus Himmeldirk, *Ohio University-Athens*
Steven Holmgren, *Montana State University*
Roger House, *Harper College*
Richard P. Johnson, *University of New Hampshire*
Dennis Neil Kevill, *Northern Illinois University*
Dalila G. Kovacs, *Michigan State University-East Lansing*
Spencer Knapp, *Rutgers University*
Douglas Linebarrier, *University of North Carolina at Greensboro*
Brian A. Logue, *South Dakota State University*
Brian Love, *East Carolina University*
David Madar, *Arizona State University Polytechnic*
Jacob Magolan, *University of Idaho*
Gagik Melikyan, *California State University-Northridge*
James Miranda, *California State University-Sacramento*
Katie Mitchell-Koch, *University of Kansas*
Tom Munson, *Concordia University*
Robert H. Paine, *Rochester Institute of Technology*
Jeff Piquette, *University of Southern Colorado-Pueblo*
Amy Pollock, *Michigan State University*
Ginger Powe-McNair, *Louisiana State University*
Christine Pruis, *Arizona State University*
Michael Rathke, *Michigan State University*
Christian Ray, *University of Illinois at Urbana-Champaign*
Toni Rice, *Grand Valley State University*
Michelle Richards-Babb, *West Virginia University*
David Rotella, *Montclair State University*
Joe Saunders, *Pennsylvania State University*
K. Barbara Schowen, *University of Kansas-Lawrence*
Jason Serin, *Glendale Community College*
Mary Setzer, *University of Alabama*
Robert P. Smart, *Grand Valley State University*
Joshua R. Smith, *Humboldt State University*
Alline Somlai, *Delta State University*
Richard T. Taylor, *Miami University-Oxford*
Eric Trump, *Emporia State University*
Eduardo Veliz, *Nova Southeastern University*
Kjirsten Wayman, *Humboldt State University*

Der Übersetzer

Joachim Podlech ist seit 2003 Professor für Organische Chemie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er hat das Praktikumsbegleitbuch *Arbeitsmethoden in der Organischen Chemie* von Hünig, Märkl, Sauer, Kreitmeier und Ledermann in der 3. Auflage als Herausgeber begleitet und er hat bereits die Übersetzung von Ian Flemings *Molecular Orbitals and Organic Chemical Reactions* erstellt. Er hat an der Ludwig-Maximilians-Universität in München Chemie studiert und wurde unter Anleitung von Günter Szeimies promoviert. Nach einem Postdoc-Aufenthalt an der ETH Zürich bei Dieter Seebach hat er sich an der Universität Stuttgart habilitiert und die Lehrbefugnis in Organischer Chemie erworben. Neben den kanonischen Vorlesungen in Organischer Chemie für Haupt- und Nebenfachstudierende hält er Spezialvorlesungen im Bereich der Naturstoffchemie, der Syntheseplanung und der physikalischen organischen Chemie. Er war mehrere Jahre Studiendekan für Chemie und ist Fachvertreter für die Lehramtsausbildung in Chemie.

In seiner Freizeit spielt er am Klavier klassische Musik und geht gerne zum Bergsteigen und Klettern.

1



Die drei Modifikationen von elementarem Kohlenstoff: (A) Diamant, (B) Graphit und (C) Buckminster-Fulleren mit ihren jeweiligen Kristall- bzw. Molekülstrukturen. Die strukturellen Unterschiede sind bemerkenswert – Diamant enthält ein dreidimensional verknüpftes Netzwerk von Atomen, Graphit liegt in Schichten vor und die Atome des Buckminster-Fullerens sind wie in einem Fußball angeordnet.

[Quelle: © (A) James Steidl/Shutterstock, (B) PortiadeCastro/Getty Images, Inc. (C) Charles D. Winters/Science Source Images.]

Die kovalente Bindung und die Struktur von Molekülen

Inhalt

- 1.1 Wie kann man die elektronische Struktur von Atomen beschreiben?
- 1.2 Was ist das Lewis-Bindungskonzept?
- 1.3 Wie kann man Bindungswinkel und Molekülstrukturen vorhersagen?

- 1.4 Wie kann man vorhersagen, ob eine Verbindung polar oder unpolare ist?
- 1.5 Was ist Mesomerie?
- 1.6 Was ist das Orbitalmodell der Entstehung kovalenter Bindungen?
- 1.7 Was sind funktionelle Gruppen?

Gewusst wie

- 1.1 Wie man Lewis-Formeln von Molekülen und Ionen zeichnet

Exkurse

- 1.A Fulleren: Eine neue Modifikation des Kohlenstoffs

Was haben unsere Lebensmittel, die Düfte um uns herum, die Arzneimittel, die wir gelegentlich brauchen, die Stoffe, aus denen alles Lebende besteht, die Kraftstoffe, die wir verbrennen und die vielen anderen Produkte, die uns das Leben in modernen Zeiten so angenehm machen, gemeinsam? – Sie alle enthalten **organische Verbindungen**, d. h. Verbindungen, die mindestens ein Kohlenstoffatom und darüber hinaus in den meisten Fällen auch andere Atome wie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel sowie weitere Elemente des Periodensystems enthalten. Die Wissenschaft, die sich mit diesen Verbindungen und deren chemischen und physikalischen Eigenschaften beschäftigt, ist die **Organische Chemie**.

Wir wollen uns auf eine Reise durch die Organische Chemie begeben, auf der wir alles Wichtige zu vielen der inzwischen über 100 Millionen bekannten chemischen Verbindungen erfahren werden. Man muss sich natürlich fragen, wie ein einzelnes Buch die Chemie von vielen Millionen chemischer Substanzen abdecken kann. Glücklicherweise ist es so, dass sich die Elemente in vorhersagbarer Weise zusammenfügen und dass die dabei entstehenden Verbindungen vielfach erwartbare Eigenschaften aufweisen. In diesem Kapitel wollen wir uns ansehen, wie sich Elemente wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff zu Molekülen zusammenfinden können, indem sie ihre Elektronen untereinander teilen. Wir werden erfahren, wie wir Trends für die Eigenschaften dieser Atomverbände ableiten können und wie wir dieses Wissen nutzen können, um das Studium der Organischen Chemie überschaubar zu halten und Spaß dabei zu haben.

1.1 Wie kann man die elektronische Struktur von Atomen beschreiben?

Aus dem Studium der Allgemeinen Chemie sind Sie bereits mit den Grundlagen der elektronischen Struktur von Atomen vertraut. Kurz gesagt enthält ein Atom einen kleinen Atomkern mit hoher Dichte, der aus Neutronen und positiv geladenen Protonen aufgebaut ist (Abb. 1.1a).

Die Elektronen bewegen sich nicht frei im Raum um den Atomkern, sondern sind auf Bereiche festgelegt, die man **Hauptenergieniveaus** oder einfach **Schalen** nennt. Diese Schalen werden von innen nach außen durch die sogenannten Hauptquantenzahlen 1, 2, 3 usw. durchnummeriert (Abb. 1.1b).

Die Schalen werden in **Unterschalen** unterteilt, die mit den Buchstaben *s*, *p*, *d* und *f* bezeichnet werden, und innerhalb dieser Unterschalen werden die Elektronen wiederum zu Orbitalen gruppiert (Tab. 1.1). Ein **Orbital** ist ein räumlicher Bereich, der maximal zwei Elektronen enthalten kann, wobei der Raum, innerhalb dessen sich die Elektronen mit 95 % Wahrscheinlichkeit aufhalten, durch die Umrandung des Orbitals begrenzt wird. In diesem Lehrbuch konzentrieren wir uns auf Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, also aus Atomen, die ihre für kovalente Bindungen genutzten Elektronen nur in *s* und *p*-Orbitalen enthalten. Wir werden uns daher vornehmlich mit *s*- und *p*-Orbitalen befassen.

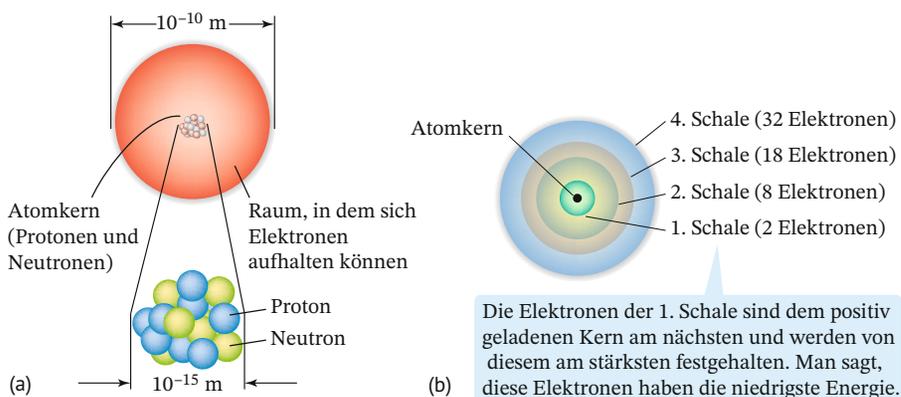


Abb. 1.1 Schematische Darstellung eines Atoms. (a) Der weitaus größte Teil der Masse konzentriert sich im kleinen, dichten Atomkern, der einen Durchmesser von 10^{-14} bis 10^{-15} m aufweist. (b) Jede Schale kann bis zu $2n^2$ Elektronen enthalten, wobei n die Nummer der Schale ist. Die erste Schale kann also 2 Elektronen aufnehmen, die zweite 8 Elektronen, die dritte 18, die vierte 32 usw. (Tab. 1.1).

Tab. 1.1 Die in den Schalen enthaltenen Orbitale.

Die erste Schale enthält nur ein Orbital, das als *1s*-Orbital bezeichnet wird. Die zweite Schale enthält ein *2s*-Orbital und drei *2p*-Orbitale. *p*-Orbitale liegen immer in Dreiergruppen vor und können insgesamt bis zu 6 Elektronen enthalten. Die dritte Schale besteht aus einem *3s*-, drei *3p*- und fünf *3d*-Orbitalen. *d*-Orbitale bilden Fünfergruppen und enthalten bis zu 10 Elektronen. *f*-Orbitale liegen als Siebenergruppen vor und enthalten bis zu 14 Elektronen.

Schale	In den Schalen enthaltene Orbitale	Maximale Anzahl an Elektronen in der Schale	Relative Energie der Elektronen in dieser Schale
4	ein <i>4s</i> -, drei <i>4p</i> -, fünf <i>4d</i> - und sieben <i>4f</i> -Orbitale	$2 + 6 + 10 + 14 = 32$	hohe Energie
3	ein <i>3s</i> -, drei <i>3p</i> - und fünf <i>3d</i> -Orbitale	$2 + 6 + 10 = 18$	↑
2	ein <i>2s</i> - und drei <i>2p</i> -Orbitale	$2 + 6 = 8$	
1	ein <i>1s</i> -Orbital	2	