

Auf einen Blick

Über den Autor	7
Einführung	21
Teil I: Volle Kraft voraus: Die Chemie des Kohlenstoffs	27
Kapitel 1: Die wundervolle Welt der organischen Chemie	29
Kapitel 2: Sezieren von Atomen: Atombau und Bindung	37
Kapitel 3: Bilder sagen mehr als Worte: Strukturzeichnungen	57
Kapitel 4: Säuren und Basen	79
Kapitel 5: Reaktive Zentren: Funktionelle Gruppen	89
Kapitel 6: Durchblick in 3D: Stereochemie	105
Teil II: Kohlenwasserstoffe	121
Kapitel 7: Die Urväter der organischen Moleküle: Alkane	123
Kapitel 8: Hilfe, ich sehe doppelt: Alkene	149
Kapitel 9: Alkine: Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung	175
Teil III: Funktionelle Gruppen	183
Kapitel 10: Ersetzen und Entfernen: Substitutions- und Eliminierungsreaktionen	185
Kapitel 11: Berauschend: Alkohole	201
Kapitel 12: Seite an Seite: Konjugierte Alkene und die Diels-Alder-Reaktion	209
Kapitel 13: Die Herrn der Ringe: Aromatische Verbindungen	219
Teil IV: Spektroskopie und Strukturbestimmung	247
Kapitel 14: Massenspektrometrie	249
Kapitel 15: IR-Spektroskopie	265
Kapitel 16: NMR-Spektroskopie: Halten Sie sich fest, jetzt geht's rund!	275
Kapitel 17: Indizienbeweise: Strukturbestimmung mit NMR	295
Teil V: Der Top-Ten-Teil	313
Kapitel 18: Zehn Websites für weites Lernen	315
Kapitel 19: Zehn umwerfende Entdeckungen der Organik	319

Teil VI: Anhänge	325
A: Mehrstufige Synthesen	327
B: Reaktionsmechanismen erarbeiten	333
C: Lösungen der Übungsaufgaben	341
Glossar	357
Stichwortverzeichnis	365

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	7
Einführung	21
Über dieses Buch	22
Konventionen in diesem Buch	23
Törichte Annahmen über den Leser	23
Wie dieses Buch aufgebaut ist	24
Teil I: Es war einmal: Chemie des Kohlenstoffs	24
Teil II: Kohlenwasserstoffe	24
Teil III: Funktionelle Gruppen	25
Teil IV: Spektroskopie und Strukturbestimmung	25
Teil V: Der Top-Ten-Teil	25
Teil VI: Anhänge	25
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	26
Wie es weitergeht	26
TEIL I	
VOLLE KRAFT VORAUS: DIE CHEMIE DES KOHLENSTOFFS	27
Kapitel 1	
Die wundervolle Welt der organischen Chemie	29
Sei willkommen, Du schöne organische Chemie	29
Was genau sind eigentlich organische Moleküle?	31
Namen sind Schall und Rauch	32
Synthese-Chemiker	33
Bioorganiker	33
Naturstoff-Chemiker	34
Physiko-Organiker	34
Organometall-Chemiker	35
Computer-Chemiker	35
Materialchemiker	35
Kapitel 2	
Sezieren von Atomen: Atombau und Bindung	37
Elektronen unter Hausarrest: Schalen und Orbitale	38
Im Wohnzimmer der Elektronen: Orbitale	38
Bedienungsanleitung für Elektronen: Elektronenkonfiguration	41
Drum prüfe, wer sich ewig bindet: Hochzeit der Elektronen	42

12 Inhaltsverzeichnis

Teilen oder nicht teilen, das ist hier die Frage: Ionenbindung und kovalente Bindung.	43
Meins! Alles meins! – Die Ionenbindung.	43
Die kovalente Bindung.	44
Elektronengier und die Elektronegativität.	45
Ladungsteilung: Dipolmomente.	46
Die Bestimmung des Dipolmoments einzelner Bindungen.	47
Die Bestimmung des Dipolmoments von Molekülen.	48
Molekülgeometrien.	49
Aufmischer: Hybridorbitale.	50
Die Hybridisierung von Atomen bestimmen.	53
Ich versteh' nur noch Griechisch: Sigma- und Pi-Bindungen.	53

Kapitel 3

Bilder sagen mehr als Worte: Strukturzeichnungen. 57

Lasst Bilder sprechen: Lewis-Formeln.	59
Formalladungen.	59
Strukturformeln.	61
Atome kompakt: Kurzformeln.	61
Strukturenstenografie: Skelettformeln.	62
Umwandeln von Lewis-Formeln in Skelettformeln.	63
Die Zahl von Wasserstoffatomen in Skelettformeln bestimmen.	65
Mutterseelenallein: Freie Elektronenpaare.	66
Waffenarsenal: Pfeile in der Organik.	66
Dr. Jekyll und Mr. Hyde: Resonanzstrukturen.	68
Regeln für Resonanzstrukturen.	69
Die Qual der Wahl: Resonanzstrukturen zeichnen.	70
Schwindelerregend: Zeichnen von mehr als zwei Resonanzstrukturen.	73
Die Gewichtung von Resonanzstrukturen.	74
Aufgepasst: Häufige Fehler beim Zeichnen von Resonanzstrukturen.	76

Kapitel 4

Säuren und Basen. 79

Definitionssache: Säuren und Basen.	79
Jetzt wird es nass: Säuren und Basen nach Arrhenius.	80
Schrei nach Protonen: Säuren und Basen nach Brønsted.	80
Elektronenliebhaber und -hasser: Säuren und Basen nach Lewis.	81
Vergleich der Säurestärke organischer Moleküle.	83
Der Einfluss der Atome.	83
Der Einfluss der Hybridisierung.	84
Der Einfluss der Elektronegativität.	85
Der Einfluss von Resonanzeffekten.	86
Die Definition des pK_s -Werts: Eine quantitative Skala der Säurestärke.	86
Die Lage von Säure-Base-Gleichgewichten.	87

Kapitel 5

Reaktive Zentren: Funktionelle Gruppen. 89

Kohlenwasserstoffe.	90
Doppelter Spaß: Die Alkene.	90

Alkine	91
Gönnen Sie sich eine Nase voll: Aromaten	92
Einfach gebundene Heteroatome	94
Halogenide	94
Zum Einreiben und zum Trinken: Alkohole	95
Boah, was stinkt hier? – Thiole	96
Mit dem Holzhammer: Ether	97
Carbonylverbindungen	97
Leben am Rand: Aldehyde	98
Ab durch die Mitte: Ketone	100
Carbonsäuren	100
Die süßeste Versuchung, seit es Organik gibt: Ester	100
Funktionelle Gruppen mit Stickstoffatomen	101
Da steckt Leben drin: Amide	102
Amine	102
Nitrile	103
Testen Sie Ihr Wissen	103

Kapitel 6

Durchblick in 3D: Stereochemie 105

Das Zeichnen von Molekülen in 3D: die Keilstrichformel	106
Der Vergleich von Stereoisomeren mit Konstitutionsisomeren	106
Spiegelbildmoleküle: Enantiomere	107
Chiralitätszentren erkennen	108
Die Konfigurationen von Chiralitätszentren: die R/S-Nomenklatur	109
Übung: Die Bestimmung der R/S-Konfiguration	109
Schritt 1: Die Prioritäten der Substituenten festlegen	110
Schritt 2: Drehen des Moleküls	110
Schritt 3: Das Zeichnen der Kurve	111
Die Auswirkungen der Symmetrie: meso-Verbindungen	112
Polarisationsebenen drehen	114
Mehrere Chiralitätszentren: Diastereomere	115
3D-Strukturen in 2D: Fischer-Projektionen	116
Regeln für Fischer-Projektionen	116
Die Bestimmung der R/S-Konfiguration aus einer Fischer-Projektion	117
Stereoisomerie in Fischer-Projektionen	118
Erkennen von meso-Verbindungen mit Hilfe der Fischer-Projektionen ...	118
Auf dem Laufenden bleiben	119

TEIL II

KOHLENWASSERSTOFFE 121

Kapitel 7

Die Urväter der organischen Moleküle: Alkane 123

Wie lautet der Name? Die Nomenklatur der Alkane	123
Alles auf der Reihe? Geradkettige Alkane	124
Platzverschwender: Verzweigte Alkane	124

14 Inhaltsverzeichnis

Wenn es mehr als einen gibt	127
Die Benennung komplexer Substituenten	128
Einen Namen in eine Struktur umwandeln	131
Zeichnen von Isomeren aus der Summenformel	132
Schritt 1	132
Schritt 2	132
Schritt 3	133
Schritt 4	134
Schritt 5	134
Die Konformation geradkettiger Alkane	135
Konformationsanalyse und Newman-Projektion	136
Konformationen des Butans	138
Jetzt geht's rund: Cycloalkane	139
Stereochemie der Cycloalkane	139
Konformationen des Cyclohexans	140
Zeichnen der stabilsten Sessel-Konformation	143
Reagierende Alkane: Halogenierung	144
Los geht's: Die Startreaktion	144
Wenn es läuft, läuft es: Kettenfortpflanzung	145
... und raus bist Du: Kettenabbruch	145
Selektivität der Chlorierung und der Bromierung	147

Kapitel 8

Hilfe, ich sehe doppelt: Alkene	149
Die Definition der Alkene	149
Das Doppelbindungsäquivalent	150
Bestimmung des Doppelbindungsäquivalents aus einer Struktur	152
Die Bestimmung des Doppelbindungsäquivalents aus einer Summenformel	153
Nomen est omen: Die Nomenklatur der Alkene	153
Die Nummerierung der Stammkette	154
Benennung multipler Doppelbindungen	155
Trivialnamen von Alkenen	155
Stereochemie der Alkene	156
Gleiches oder anderes Ufer? cis und trans- Stereochemie	156
Ein doppeltes Spiel: E/Z-Stereochemie	156
Die Stabilität der Alkene	158
Substitution bei Alkenen	158
Die Stabilität von cis- und trans-Isomeren	159
Darstellung der Alkene	160
Eliminierung von Säure: Dehydrohalogenierung	160
Wasserlassen: Dehydratisierung von Alkoholen	160
Die Wittig-Reaktion	161
Die Reaktionen der Alkene	162
Die Addition von Halogenwasserstoff an Doppelbindungen	162
Ich bin positiv: Carbokationen	164
Anlagerung von Wasser an eine Doppelbindung	167

Nimm 2: Die Bromierung von Alkenen	170
Zerhacken von Doppelbindungen, Teil I: Ozonolyse	171
Zerhacken von Doppelbindungen, Teil II: Oxidation mit Permanganat. ...	171
Die Darstellung von Cyclopropanen mit Carbenen, Teil I	172
Darstellung von Cyclopropanen, Teil II: Simmons-Smith-Reaktion.	172
Darstellung von Epoxiden.	173
Anlagerung von Wasserstoff: Die Hydrierung	173

Kapitel 9

Alkine: Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung 175

Wie soll es denn heißen? Das Alkin bekommt einen Namen	175
Die Orbitale der Alkine	176
Cyclische Alkine	177
Darstellung der Alkine.	177
Ballast abwerfen: Dehydrohalogenierung	177
Alkine verkuppeln: Chemie der Acetylide	178
Bromierung von Alkinen: Doppeltes Vergnügen	178
Sättigung von Alkinen durch Wasserstoff.	179
Addition eines Wasserstoffmoleküls an Alkine	179
Oxymercurierung von Alkinen	180
Die Hydroborierung von Alkinen	181

TEIL III

FUNKTIONELLE GRUPPEN 183

Kapitel 10

Ersetzen und Entfernen: Substitutions- und Eliminierungsreaktionen 185

Partnertausch: Substitutionsreaktionen	185
Substitution zweiter Ordnung: S_N2 -Mechanismus	186
Wie schnell? Die Reaktionsgeschwindigkeit einer S_N2 -Reaktion	187
Der Einfluss des Substrats auf eine S_N2 -Reaktion	188
Die Rolle des Nucleophils in der S_N2 -Reaktion.	189
S_N2 in 3D: Stereochemie	190
Lösungsmittelleffekte auf S_N2 -Reaktionen	191
Ich will hier raus: Die Abgangsgruppe.	191
Substitution erster Ordnung: Die S_N1 -Reaktion	192
Wie schnell? Die Geschwindigkeit einer S_N1 -Reaktion	193
Gute S_N1 -Substrate erkennen.	194
Lösungsmittelleffekte auf S_N1 -Reaktionen	194
Stereochemie einer S_N1 -Reaktion	195
Weitere Fakten über S_N1 -Reaktionen	196
Nur der Härteste überlebt: Eliminierungen.	196
Eliminierungen zweiter Ordnung: Der E2-Mechanismus	197
Eliminierungen erster Ordnung: Der E1-Mechanismus	197
Hilfe! Substitution und Eliminierung unterscheiden	198

Kapitel 11

Berauschend: Alkohole	201
Klassifizierung der Alkohole	201
Sage mir, wie Du heißt, dann sage ich Dir, wer Du bist: Alkohole benennen	202
Darstellung von Alkoholen	203
Anlagerung von Wasser an Doppelbindungen	203
Reduktion von Carbonylverbindungen	204
Die Grignard-Reaktion	205
Reaktionen der Alkohole	207
Abspaltung von Wasser: Dehydratation	207
Darstellung von Ethern: Williamson-Ethersynthese	207
Die Oxidation von Alkoholen	207

Kapitel 12

Seite an Seite: Konjugierte Alkene und die Diels-Alder-Reaktion	209
Manche mögen Abwechslung: Konjugierte Doppelbindungen	209
Addition von Halogenwasserstoffsäuren an konjugierte Alkene	210
Das Energieprofil einer Addition an konjugierte Alkene	211
Kinetik und Thermodynamik der Addition an konjugierte Doppelbindungen: ein Vergleich	212
Die Diels-Alder-Reaktion	213
Diene und Dienophile erkennen	213
Stereochemie der Addition	214
Einmal im Kreis, zweimal im Kreis: Bicyclen	214
Übung: Produkte einer Diels-Alder-Reaktion bestimmen	215

Kapitel 13

Die Herrn der Ringe: Aromatische Verbindungen	219
Was sind aromatische Verbindungen?	220
Die Struktur von Benzol	220
Die Vielfalt aromatischer Verbindungen	221
Aber was macht ein Molekül aromatisch?	222
Die Hückel'sche ($4n + 2$)-Regel	222
Aromatizität: Molekülorbital-Theorie	223
Was zum Teufel ist die Molekülorbital-Theorie?	223
MO-Diagramme aufstellen	223
Der Frost-Kreis	224
Das MO-Diagramm von Benzol	224
Molekülorbitale anschaulich	225
Das MO-Diagramm von Cyclobutadien	227
Aromatizität entdecken	227
Säure- und Basenstärke	230
Vergleich der Säurestärken	231
Vergleich der Basenstärke	232

Benennung der Benzole und Aromaten	232
Trivialnamen substituierter Benzole (Arene)	233
Die Namen häufiger Heteroaromaten	234
Holt die Kanonen raus: Elektrophile aromatische Substitution des Benzols	234
Einführung von Alkylgruppen: Die Friedel-Crafts-Alkylierung	235
Abkehr vom Bösen: Friedel-Crafts-Acylierung	236
Die Reduktion von Nitrogruppen	237
Die Oxidation von Alkylbenzolen	237
Nimm zwei: Synthese disubstituierter Benzole	238
Elektronendonoren: ortho-para-dirigierend	239
Elektronenziehende Gruppen: meta-dirigierend	240
Die Synthese substituierter Benzole	242
Synthese an Seitenkette oder Ring	243
Nucleophiler Angriff! Die nucleophile aromatische Substitution	244

TEIL IV SPEKTROSKOPIE UND STRUKTURBESTIMMUNG 247

Kapitel 14 Massenspektrometrie 249

Die Definition der Massenspektrometrie	250
Ein Massenspektrometer zerlegen	250
Der Einlass	250
Elektronenionisation: Der Zertrümmerer	250
Der Sortierer und die Waage	251
Detektor und Spektrum	252
Das Massenspektrum	253
Die Empfindlichkeit der Massenspektrometrie	254
Geht's noch genauer? Die Auflösung	254
Massenveränderung: Isotope	255
Die Stickstoff-Regel	256
Erkennen häufiger Fragmentierungsmuster	257
Alkane zertrümmern	257
Bruch neben einem Heteroatom: α -Spaltung	258
Wasserverlust: Alkohole	259
Umlagerung bei Carbonylen: McLafferty-Umlagerung	259
Spaltung an Benzolringen und Doppelbindungen	260
Übung: Ran an den Speck	261
Zündende Ideen	262

Kapitel 15 IR-Spektroskopie 265

Gymnastik für Bindungen: Infrarotabsorption	266
Das Hookesche Gesetz in Molekülen	266
Molekülschwingungen und Lichtabsorption	267
Absorptionsintensitäten	268

18 Inhaltsverzeichnis

IR-inaktive Schwingungen	268
Ein IR-Spektrum verstehen	268
Wiedersehen macht Freude: Funktionelle Gruppen identifizieren	269
Butter bei die Fische: Ein echtes Spektrum	270
Funktionelle Gruppen erkennen	271
Was links von C–H möglich ist	271
Groß und breit: Alkohole	271
Amine	271
Was rechts von C–H möglich ist	272
Groß und stark: Carbonylgruppen	272
Alkene, Alkine und Aromaten	273

Kapitel 16

NMR-Spektroskopie: Halten Sie sich fest, jetzt geht's rund!

jetzt geht's rund!	275
Warum NMR?	275
Wie NMR funktioniert	276
Riesenmagneten und Moleküle: Theorie der NMR	277
Ziehen Sie sich warm an: Abschirmung durch Elektronen	279
Das NMR-Spektrum	280
Chemische Verschiebung	280
Gleich und gleich gesellt sich gern: Symmetrie und chemische Äquivalenz	281
Gebrauchsanleitung für ein NMR-Spektrum: Die Bestandteile	282
Die chemische Verschiebung	283
Einbeziehung der Integration	285
Kopplung	286
Kohlenstoff-NMR	291
Das Puzzle zusammensetzen	293

Kapitel 17

Indizienbeweise: Strukturbestimmung mit NMR

Indizienbeweise: Strukturbestimmung mit NMR	295
Folgen Sie den Hinweisen	296
Schritt 1: Bestimmen Sie das Doppelbindungsäquivalent	296
Schritt 2: Bestimmen Sie die funktionellen Gruppen aus dem IR-Spektrum	297
Schritt 3: Vermessen Sie die Integrationskurve	297
Schritt 4: Weisen Sie den NMR-Peaks Fragmente zu	299
Schritt 5: Kombinieren Sie die Fragmente so, dass die Struktur mit dem Kopplungsmuster, den chemischen Verschiebungen und dem Doppelbindungsäquivalent übereinstimmt	300
Schritt 6: Kontrollieren Sie Ihre Struktur	301
Aufgaben lösen	302
Beispiel 1: Eine Strukturaufklärung aus der Summenformel und dem NMR-Spektrum	302
Beispiel 2: Eine Strukturaufklärung aus der Summenformel, dem IR- und dem NMR-Spektrum	307

Drei häufige Fehler bei der Interpretation von NMR-Spektren	310
Fehler 1: Bestimmung einer Struktur aus den chemischen Verschiebungen	310
Fehler 2: Mit der Kopplung beginnen	311
Fehler 3: Integration und Kopplung verwechseln	312

**TEIL V
DER TOP-TEN-TEIL..... 313**

**Kapitel 18
Zehn Websites für weites Lernen 315**

Portal für Organische Chemie	315
Chemgapedia	316
Prof. Robinsons organische Chemie	316
PubChem-Datenbank	316
Spektrum Lexikon	317
Chemieseite	317
Chemieonline	317
IUPAC Compendium of Chemical Terminology - the Gold Book	318
Experimentalchemie	318
Archiv der organischen Synthese	318

**Kapitel 19
Zehn umwerfende Entdeckungen der Organik 319**

Sprengstoffe und Dynamit!	319
Fermentation	320
Synthese des Harnstoffs	320
Händigkeit der Weinsäure	321
Diels-Alder-Reaktion	321
Tor, Tor, TOOOOR	322
Seife	323
Süßen ohne Reue: Aspartam	323
Nochmal mit dem Leben davongekommen: Penicillin	324
Vorsicht! Glatt: Teflon©	324

**TEIL VI
ANHÄNGE 325**

A: Mehrstufige Synthesen 327

Warum mehrstufige Synthesen?	327
Die fünf Gebote	328
Erstes Gebot: Du sollst die Reaktionen lernen	329
Zweites Gebot: Du sollst die Kohlenstoffgerüste vergleichen	330
Drittes Gebot: Du sollst rückwärts denken	330
Viertes Gebot: Du sollst Deine Antwort kontrollieren	332
Fünftes Gebot: Du sollst viele Aufgaben lösen	332

B: Reaktionsmechanismen erarbeiten	333
Es gibt nur zwei Arten von Mechanismen	333
Was Sie tun sollten und was Sie besser lassen	334
Arten von Mechanismen	336
Aus Erfahrung wird man klug: Eine Beispielaufgabe	337
C: Lösungen der Übungsaufgaben	341
Glossar	357
Stichwortverzeichnis	365