

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	59
Kapitel 4: Säuren und Basen	81
Kapitel 5: Reaktive Zentren: Funktionelle Gruppen	91
Kapitel 6: Durchblick in 3D: Stereochemie	107
Teil II: Kohlenwasserstoffe	125
Kapitel 7: Die Urväter der organischen Moleküle: Alkane	127
Kapitel 8: Hilfe, ich sehe doppelt: Alkene	153
Kapitel 9: Alkine: Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung	179
Teil III: Funktionelle Gruppen	187
Kapitel 10: Ersetzen und Entfernen: Substitutions- und Eliminierungsreaktionen	189
Kapitel 11: Berauschend: Alkohole	205
Kapitel 12: Seite an Seite: Konjugierte Alkene und die Diels-Alder-Reaktion	213
Kapitel 13: Die Herrn der Ringe: Aromatische Verbindungen	223
Kapitel 14: Kunststoffe – Erdöl in neuem Design	251
Kapitel 15: Natürliche Polymere	259
Teil IV: Spektroskopie und Strukturbestimmung	273
Kapitel 16: Massenspektrometrie	275
Kapitel 17: IR-Spektroskopie	291
Kapitel 18: NMR-Spektroskopie: Halten Sie sich fest, jetzt geht's rund!	301
Kapitel 19: Indizienbeweise: Strukturbestimmung mit NMR	321
Teil V: Der Top-Ten-Teil	339
Kapitel 20: Zehn Webseiten für weiteres Lernen	341
Kapitel 21: Zehn umwerfende Entdeckungen der Organik	345

10 Auf einen Blick

Teil VI: Anhänge	351
A: Mehrstufige Synthesen	353
B: Reaktionsmechanismen erarbeiten.....	359
C: Lösungen der Übungsaufgaben.....	367
D: Glossar.....	391
Stichwortverzeichnis	399

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	47
Die Bestimmung des Dipolmoments einzelner Bindungen	47
Die Bestimmung des Dipolmoments von Molekülen	48
Molekülgeometrien	49
Aufmischer: Hybridorbitale	50
Die Hybridisierung von Atomen bestimmen	52
Ich versteh' nur noch Griechisch: Sigma- und Pi-Bindungen	53

Kapitel 3

Bilder sagen mehr als Worte: Strukturzeichnungen..... **59**

Lasst Bilder sprechen: Lewis-Formeln	61
Formalladungen	61
Strukturformeln	63
Atome kompakt: Kurzformeln	64
Strukturenstenografie: Skelettformeln	65
Umwandeln von Lewis-Formeln in Skelettformeln	65
Die Zahl von Wasserstoffatomen in Skelettformeln bestimmen	67
Mutterseelenallein: Freie Elektronenpaare	68
Waffenarsenal: Pfeile in der Organik	68
Dr. Jekyll und Mr. Hyde: Resonanzstrukturen	70
Regeln für Resonanzstrukturen	71
Die Qual der Wahl: Resonanzstrukturen zeichnen	72
Schwindelerregend: Zeichnen von mehr als zwei Resonanzstrukturen ..	75
Die Gewichtung von Resonanzstrukturen	76
Aufgepasst: Häufige Fehler beim Zeichnen von Resonanzstrukturen	78

Kapitel 4

Säuren und Basen..... **81**

Definitionssache: Säuren und Basen	81
Jetzt wird es nass: Säuren und Basen nach Arrhenius	82
Schrei nach Protonen: Säuren und Basen nach Brønsted	83
Elektronenliebhaber und -hasser: Säuren und Basen nach Lewis	84
Vergleich der Säurestärke organischer Moleküle	85
Der Einfluss der Atome	86
Der Einfluss der Hybridisierung	86
Der Einfluss der Elektronegativität	87
Der Einfluss von Resonanzeffekten	87
Die Definition des pK_s -Werts: Eine quantitative Skala der Säurestärke	88
Die Lage von Säure-Base-Gleichgewichten	89

Kapitel 5

Reaktive Zentren: Funktionelle Gruppen..... **91**

Kohlenwasserstoffe	92
Doppelter Spaß: Die Alkene	92

Alkine	93
Gönnen Sie sich eine Nase voll: Aromaten.....	94
Einfach gebundene Heteroatome.....	96
Halogenide	96
Zum Einreiben und zum Trinken: Alkohole	97
Boah, was stinkt hier? – Thiole.....	98
Mit dem Holzhammer: Ether	99
Carbonylverbindungen.....	99
Leben am Rand: Aldehyde	100
Ab durch die Mitte: Ketone.....	102
Carbonsäuren.....	102
Die süßeste Versuchung, seit es Organik gibt: Ester.....	102
Funktionelle Gruppen mit Stickstoffatomen	103
Da steckt Leben drin: Amide.....	104
Amine.....	104
Nitrile	105
Testen Sie Ihr Wissen	105
Kapitel 6	
Durchblick in 3D: Stereochemie	107
Das Zeichnen von Molekülen in 3D: die Keilstrichformel	108
Der Vergleich von Stereoisomeren mit Konstitutionsisomeren.....	108
Spiegelbildmoleküle: Enantiomere	109
Chiralitätszentren erkennen	110
Die Konfigurationen von Chiralitätszentren: die R/S-Nomenklatur.....	111
Übung: Die Bestimmung der R/S-Konfiguration	111
Schritt 1: Die Prioritäten der Substituenten festlegen	112
Schritt 2: Drehen des Moleküls	112
Schritt 3: Das Zeichnen der Kurve	113
Die Auswirkungen der Symmetrie: meso-Verbindungen	114
Polarisationsebenen drehen	116
Mehrere Chiralitätszentren: Diastereomere	117
3D-Strukturen in 2D: Fischer-Projektionen	118
Regeln für Fischer-Projektionen.....	118
Die Bestimmung der R/S-Konfiguration aus einer Fischer-Projektion.....	119
Stereoisomerie in Fischer-Projektionen	120
Erkennen von meso-Verbindungen mithilfe der Fischer-Projektionen	120
Auf dem Laufenden bleiben.....	121
TEIL II	
KOHLENWASSERSTOFFE.....	125
Kapitel 7	
Die Urväter der organischen Moleküle: Alkane	127
Wie lautet der Name? Die Nomenklatur der Alkane	127
Alles auf der Reihe? Geradkettige Alkane.....	128
Platzverschwender: Verzweigte Alkane	128

14 Inhaltsverzeichnis

Wenn es mehr als einen gibt	131
Die Benennung komplexer Substituenten	133
Einen Namen in eine Struktur umwandeln	135
Zeichnen von Isomeren aus der Summenformel	136
Schritt 1	136
Schritt 2	136
Schritt 3	137
Schritt 4	138
Schritt 5	138
Die Konformation geradkettiger Alkane	139
Konformationsanalyse und Newman-Projektion	140
Konformationen des Butans	142
Jetzt geht's rund: Cycloalkane	143
Stereochemie der Cycloalkane	143
Konformationen des Cyclohexans	144
Zeichnen der stabilsten Sessel-Konformation	147
Reagierende Alkane: Halogenierung	148
Los geht's: Die Startreaktion	148
Wenn es läuft, läuft es: Kettenfortpflanzung	149
... und raus bist Du: Kettenabbruch	149
Selektivität der Chlorierung und der Bromierung	151

Kapitel 8

Hilfe, ich sehe doppelt: Alkene	153
Die Definition der Alkene	153
Das Doppelbindungsäquivalent	154
Bestimmung des Doppelbindungsäquivalents aus einer Struktur	156
Die Bestimmung des Doppelbindungsäquivalents aus einer Summenformel	157
Nomen est omen: Die Nomenklatur der Alkene	157
Die Nummerierung der Stammkette	158
Benennung multipler Doppelbindungen	159
Trivialnamen von Alkenen	159
Stereochemie der Alkene	160
Gleiches oder anderes Ufer? cis- und trans-Stereochemie	160
Ein doppeltes Spiel: E/Z-Stereochemie	160
Die Stabilität der Alkene	162
Substitution bei Alkenen	162
Die Stabilität von cis- und trans-Isomeren	163
Darstellung der Alkene	164
Eliminierung von Säure: Dehydrohalogenierung	164
Wasserlassen: Dehydratisierung von Alkoholen	164
Die Wittig-Reaktion	165
Die Reaktionen der Alkene	166
Die Addition von Halogenwasserstoff an Doppelbindungen	166
Ich bin positiv: Carbokationen	168
Anlagerung von Wasser an eine Doppelbindung	171

Nimm 2: Die Bromierung von Alkenen	174
Zerhacken von Doppelbindungen, Teil I: Ozonolyse	175
Zerhacken von Doppelbindungen, Teil II: Oxidation mit Permanganat	175
Die Darstellung von Cyclopropanen mit Carbenen, Teil I	176
Darstellung von Cyclopropanen, Teil II: Simmons-Smith-Reaktion	176
Darstellung von Epoxiden	177
Anlagerung von Wasserstoff: Die Hydrierung	177
Kapitel 9	
Alkine: Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung	179
Wie soll es denn heißen? Das Alkin bekommt einen Namen	179
Die Orbitale der Alkine	180
Cyclische Alkine	181
Darstellung der Alkine	181
Ballast abwerfen: Dehydrohalogenierung	181
Alkine verkuppeln: Chemie der Acetylide	182
Bromierung von Alkinen: Doppeltes Vergnügen	182
Sättigung von Alkinen durch Wasserstoff	183
Addition eines Wasserstoffmoleküls an Alkine	183
Oxymercurierung von Alkinen	184
Die Hydroborierung von Alkinen	185
TEIL III	
FUNKTIONELLE GRUPPEN	187
Kapitel 10	
Ersetzen und Entfernen: Substitutions- und Eliminierungsreaktionen	189
Partnertausch: Substitutionsreaktionen	189
Substitution zweiter Ordnung: S_N2 -Mechanismus	190
Wie schnell? Die Reaktionsgeschwindigkeit einer S_N2 -Reaktion	191
Der Einfluss des Substrats auf eine S_N2 -Reaktion	192
Die Rolle des Nucleophils in der S_N2 -Reaktion	193
S_N2 in 3D: Stereochemie	194
Lösungsmittelleffekte auf S_N2 -Reaktionen	195
Ich will hier raus: Die Abgangsgruppe	195
Substitution erster Ordnung: Die S_N1 -Reaktion	196
Wie schnell? Die Geschwindigkeit einer S_N1 -Reaktion	197
Gute S_N1 -Substrate erkennen	198
Lösungsmittelleffekte auf S_N1 -Reaktionen	198
Stereochemie einer S_N1 -Reaktion	199
Weitere Fakten über S_N1 -Reaktionen	200
Nur der Härteste überlebt: Eliminierungen	200
Eliminierungen zweiter Ordnung: Der E2-Mechanismus	201
Eliminierungen erster Ordnung: Der E1-Mechanismus	201
Hilfe! Substitution und Eliminierung unterscheiden	202

16 Inhaltsverzeichnis

Kapitel 11

Berauschend: Alkohole 205

Klassifizierung der Alkohole	205
Sage mir, wie Du heißt, dann sage ich Dir, wer Du bist: Alkohole benennen	206
Darstellung von Alkoholen	207
Anlagerung von Wasser an Doppelbindungen	207
Reduktion von Carbonylverbindungen	208
Die Grignard-Reaktion	209
Reaktionen der Alkohole	211
Abspaltung von Wasser: Dehydratation	211
Darstellung von Ethern: Williamson-Ethersynthese	211
Die Oxidation von Alkoholen	211

Kapitel 12

Seite an Seite: Konjugierte Alkene und die

Diels-Alder-Reaktion 213

Manche mögen Abwechslung: Konjugierte Doppelbindungen	213
Addition von Halogenwasserstoffsäuren an konjugierte Alkene	214
Das Energieprofil einer Addition an konjugierte Alkene	215
Kinetik und Thermodynamik der Addition an konjugierte Doppelbindungen: ein Vergleich	216
Die Diels-Alder-Reaktion	217
Diene und Dienophile erkennen	217
Stereochemie der Addition	218
Einmal im Kreis, zweimal im Kreis: Bicyclen	218
Übung: Produkte einer Diels-Alder-Reaktion bestimmen	219

Kapitel 13

Die Herrn der Ringe: Aromatische Verbindungen

223

Was sind aromatische Verbindungen?	224
Die Struktur von Benzol	224
Die Vielfalt aromatischer Verbindungen	225
Aber was macht ein Molekül aromatisch?	226
Die Hückel'sche $(4n + 2)$ -Regel	226
Aromatizität: Molekülorbital-Theorie	227
Was zum Teufel ist die Molekülorbital-Theorie?	227
MO-Diagramme aufstellen	227
Der Frost-Kreis	228
Das MO-Diagramm von Benzol	228
Molekülorbitale anschaulich	229
Das MO-Diagramm von Cyclobutadien	231
Aromatizität entdecken	231
Säure- und Basenstärke	234
Vergleich der Säurestärken	235
Vergleich der Basenstärke	236

Benennung der Benzole und Aromaten	236
Trivialnamen substituierter Benzole (Arenen)	237
Die Namen häufiger Heteroaromaten	238
Holt die Kanonen raus: Elektrophile aromatische Substitution des Benzols	238
Einführung von Alkylgruppen: Die Friedel-Crafts-Alkylierung	239
Abkehr vom Bösen: Friedel-Crafts-Acylierung	240
Die Reduktion von Nitrogruppen	241
Die Oxidation von Alkylbenzolen	241
Nimm zwei: Synthese disubstituierter Benzole	242
Elektronendonoren: ortho-para-dirigierend	243
Elektronenziehende Gruppen: meta-dirigierend	244
Die Synthese substituierter Benzole	246
Synthese an Seitenkette oder Ring	247
Nucleophiler Angriff! Die nucleophile aromatische Substitution	248
Kapitel 14	
Kunststoffe – Erdöl in neuem Design	251
Praktische Kunststoffe	251
Die großen Drei	252
Polykondensation	252
Polymerisation	254
Polyaddition	255
Die Bessermacher	256
Alles besser mit Bio?	256
Biokunststoffe	256
Biobasierte Kunststoffe	257
Kapitel 15	
Natürliche Polymere	259
Zuckriges System	259
Monosaccharide	260
Aus eins mach zwei: glycosidische Bindung	262
Kaum zu zählen – Polysaccharide	262
Power-Proteine	263
Aminosäuren bilden Proteine	263
Reaktionen der Aminosäuren	263
Struktur der Proteine	265
Nachweise von Aminosäuren und Proteinen	266
Voll Fett	267
Anziehender Zusammenhalt	268
Gar nicht inaktiv	268
Immer sauber bleiben	268
Verseifung	269
Synthetische Seife: Tenside	269

**TEIL IV
SPEKTROSKOPIE UND STRUKTURBESTIMMUNG 273**

Kapitel 16

Massenspektrometrie 275

Die Definition der Massenspektrometrie.....	276
Ein Massenspektrometer zerlegen	276
Der Einlass.....	276
Elektronenionisation: Der Zertrümmerer.....	276
Der Sortierer und die Waage	277
Detektor und Spektrum	278
Das Massenspektrum	279
Die Empfindlichkeit der Massenspektrometrie.....	280
Geht's noch genauer? Die Auflösung	280
Massenveränderung: Isotope	281
Die Stickstoff-Regel	282
Erkennen häufiger Fragmentierungsmuster.....	283
Alkane zertrümmern	283
Bruch neben einem Heteroatom: α -Spaltung	284
Wasserverlust: Alkohole	285
Umlagerung bei Carbonylen: McLafferty-Umlagerung.....	285
Spaltung an Benzolringen und Doppelbindungen	286
Übung: Ran an den Speck.....	287
Zündende Ideen.....	288

Kapitel 17

IR-Spektroskopie 291

Gymnastik für Bindungen: Infrarotabsorption	292
Das Hooke'sche Gesetz in Molekülen.....	292
Molekülschwingungen und Lichtabsorption	293
Absorptionsintensitäten	294
IR-inaktive Schwingungen.....	294
Ein IR-Spektrum verstehen.....	294
Wiedersehen macht Freude: Funktionelle Gruppen identifizieren	295
Butter bei die Fische: Ein echtes Spektrum	296
Funktionelle Gruppen erkennen	297
Was links von C–H möglich ist	297
Groß und breit: Alkohole.....	297
Amine.....	297
Was rechts von C–H möglich ist	298
Groß und stark: Carbonylgruppen	298
Alkene, Alkine und Aromaten.....	299

Kapitel 18

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

301

Warum NMR?	301
Wie NMR funktioniert	302

Riesenmagneten und Moleküle: Theorie der NMR	303
Ziehen Sie sich warm an: Abschirmung durch Elektronen	305
Das NMR-Spektrum	306
Chemische Verschiebung	306
Gleich und gleich gesellt sich gern: Symmetrie und chemische Äquivalenz	307
Gebrauchsanleitung für ein NMR-Spektrum: Die Bestandteile	308
Die chemische Verschiebung	309
Einbeziehung der Integration	311
Kopplung	312
Kohlenstoff-NMR	317
Das Puzzle zusammensetzen	319
Kapitel 19	
Indizienbeweise: Strukturbestimmung mit NMR	321
Folgen Sie den Hinweisen	322
Schritt 1: Bestimmen Sie das Doppelbindungsäquivalent	322
Schritt 2: Bestimmen Sie die funktionellen Gruppen aus dem IR-Spektrum	323
Schritt 3: Vermessen Sie die Integrationskurve	323
Schritt 4: Weisen Sie den NMR-Peaks Fragmente zu	325
Schritt 5: Kombinieren Sie die Fragmente so, dass die Struktur mit dem Kopplungsmuster, den chemischen Verschiebungen und dem Doppelbindungsäquivalent übereinstimmt	326
Schritt 6: Kontrollieren Sie Ihre Struktur	327
Aufgaben lösen	328
Beispiel 1: Eine Strukturaufklärung aus der Summenformel und dem NMR-Spektrum	328
Beispiel 2: Eine Strukturaufklärung aus der Summenformel, dem IR- und dem NMR-Spektrum	333
Drei häufige Fehler bei der Interpretation von NMR-Spektren	336
Fehler 1: Bestimmung einer Struktur aus den chemischen Verschiebungen	336
Fehler 2: Mit der Kopplung beginnen	337
Fehler 3: Integration und Kopplung verwechseln	338
TEIL V	
DER TOP-TEN-TEIL	339
Kapitel 20	
Zehn Webseiten für weiteres Lernen	341
Portal für organische Chemie	341
Chemglopedia	342
Prof. Robinsons organische Chemie	342
PubChem-Datenbank	342
Spektrum Lexikon	343
Chemieseite	343
Chemieonline	343
IUPAC Compendium of Chemical Terminology - the Gold Book	344

20 Inhaltsverzeichnis

Experimentalchemie	344
Archiv der organischen Synthese	344
Kapitel 21	
Zehn umwerfende Entdeckungen der Organik	345
Sprengstoffe und Dynamit!	345
Fermentation	346
Synthese des Harnstoffs	346
Händigkeit der Weinsäure	347
Diels-Alder-Reaktion	347
Tor, Tor, TOOOR	348
Seife	349
Süßes ohne Reue: Aspartam	349
Nochmal mit dem Leben davongekommen: Penicillin	350
Vorsicht! Glatt: Teflon®	350
TEIL VI	
ANHÄNGE	351
A: Mehrstufige Synthesen	353
Warum mehrstufige Synthesen?	353
Die fünf Gebote	354
Erstes Gebot: Du sollst die Reaktionen lernen	355
Zweites Gebot: Du sollst die Kohlenstoffgerüste vergleichen	356
Drittes Gebot: Du sollst rückwärts denken	356
Viertes Gebot: Du sollst Deine Antwort kontrollieren	358
Fünftes Gebot: Du sollst viele Aufgaben lösen	358
B: Reaktionsmechanismen erarbeiten	359
Es gibt nur zwei Arten von Mechanismen	359
Was Sie tun sollten und was Sie besser lassen	360
Arten von Mechanismen	362
Aus Erfahrung wird man klug: Eine Beispielaufgabe	363
C: Lösungen der Übungsaufgaben	367
D: Glossar	391
Stichwortverzeichnis	399