

# Inhalt

## Kapitel 1

### Elektronenstruktur und Reaktivität von Kohlenstoffverbindungen

1.1 Sonderstellung des Kohlenstoffs .....	1
1.2 Ionische und kovalente Bindung .....	2
1.3 Mesomerie .....	4
1.4 Elektronegativität und Polarität .....	6
1.5 Induktive und mesomere Effekte .....	10
1.6 Elektronenpaarabstoßung und Molekülgeometrie .....	12
1.7 Hybridorbitale und Molekülgeometrie .....	15
1.8 Molekülorbitale .....	17
1.8.1 Lokalisierte Molekülorbitale .....	18
1.8.2 Delokalisierte Molekülorbitale .....	21
1.9 Bindungsenergie .....	24
1.10 Zum Ablauf einer Reaktion .....	26
1.10.1 Thermodynamik einer Reaktion .....	26
1.10.2 Kinetik einer Reaktion .....	26
1.10.3 Elektronischer Verlauf einer Reaktion .....	28
1.11 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 1 .....	31

## Kapitel 2

### Strukturaufklärung durch Spektroskopie

2.1 Bedeutung der spektroskopischen Methoden .....	33
2.2 Massenspektrometrie .....	34
2.2.1 Grundlagen .....	35
2.2.2 Massenspektren organischer Verbindungen .....	37
2.2.3 Herleitung der Summenformel aus dem Massenspektrum .....	43

2.3 Kernmagnetische Resonanzspektroskopie .....	44
2.3.1 Grundlagen .....	45
2.3.2 Chemische Verschiebung von Protonensignalen .....	47
2.3.3 Fläche eines Protonensignals .....	49
2.3.4 Kopplung zwischen Protonen .....	49
2.3.5 Kernmagnetische Resonanzspektroskopie von $^{13}\text{C}$ .....	54
2.4 Infrarotspektroskopie .....	57
2.4.1 Grundlagen .....	57
2.4.2 Interpretation von IR-Spektren .....	60
2.5 Ultraviolett-spektroskopie .....	63
2.5.1 Grundlagen .....	63
2.5.2 UV-Spektren ungesättigter Verbindungen .....	65
2.6 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 2 .....	68

### **Kapitel 3**

#### **Alkane. Radikalische Substitution**

3.1 Einteilung der Kohlenwasserstoffe .....	69
3.2 Alkane und Konstitutionsisomerie .....	70
3.3 Nomenklatur organischer Verbindungen .....	72
3.4 Konformationen von Alkanen .....	76
3.5 Löslichkeit, Siede- und Schmelzpunkte von Alkanen .....	79
3.6 NMR-Spektren von Alkanen .....	80
3.7 Vorkommen von Alkanen .....	81
3.8 Darstellung von Alkanen .....	81
3.9 Radikalische Substitutionen an Alkanen .....	84
3.9.1 Erzeugung von Radikalen .....	84
3.9.2 Halogenierung von Alkanen mit molekularem Halogen .....	85
3.9.3 Chlorierung von Alkanen mit Sulfurylchlorid .....	92
3.9.4 <i>Exkurs</i> : Reaktionsenthalpie der Halogenierung von Alkanen .....	93
3.9.5 Halogenierung in Allylstellung von Alkenen .....	94
3.9.6 Chlorierung von Alkanen in Gegenwart von Schwefeldioxid .....	97
3.9.7 Oxidation von Alkanen etc. mit molekularem Sauerstoff .....	97

3.10 Pyrolyse von Alkanen .....	100
3.11 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 3 .....	102

## **Kapitel 4**

### **Cycloalkane**

4.1 Einteilung der Cycloalkane .....	105
4.2 <i>cis-trans</i> -Isomerie bei Cycloalkanen .....	106
4.3 Konformation unsubstituierter Cycloalkanringe .....	107
4.4 Konformation substituierter Cyclohexanverbindungen .....	109
4.5 Darstellung von Cycloalkanen .....	112
4.6 Reaktionen von Cycloalkanen .....	114
4.6.1 Verbrennung und Ringspannung .....	114
4.6.2 Ringöffnung kleiner Ringe .....	116
4.7 Polycyclische Alkane .....	117
4.8 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 4 .....	120

## **Kapitel 5**

### **Stereoisomerie**

5.1 Einteilung von Isomeren. Chiralität .....	121
5.2 Moleküle mit einem Chiralitätszentrum. <i>R,S</i> -Nomenklatur .....	123
5.3 Moleküle mit zwei Chiralitätszentren. Diastereomere .....	126
5.4 Moleküle mit einer Chiralitätsachse .....	129
5.5 Symmetrieeigenschaften von Enantiomeren .....	130
5.6 Optische Aktivität von Enantiomeren .....	133
5.7 Trennung von Enantiomeren durch Racematspaltung .....	134
5.8 Biochemie von Enantiomeren .....	137

5.9 Prochiralität .....	139
5.9.1 Topizität von Substituenten .....	139
5.9.2 Topizität von Molekülseiten .....	143
5.9.3 Prochirale Moleküle .....	144
5.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 5 .....	147

## **Kapitel 6**

### **Alkene. Elektrophile Additionen**

6.1 cis-trans-Isomerie von Alkenen .....	151
6.2 Nomenklatur von Alkenen .....	152
6.3 Unterscheidung von cis-trans-Alkenen durch NMR .....	154
6.4 Darstellung von Alkenen .....	156
6.5 Zur Reaktivität von Alkenen .....	158
6.6 Elektrophile Additionen an Alkene .....	159
6.6.1 Erzeugung und Stabilität von Carbenium-Ionen .....	159
6.6.2 Addition von Säuren an Alkene. Markownikow-Regel .....	161
6.6.3 Addition von Wasser an Alkene .....	164
6.6.4 Addition von Halogenen an Alkene .....	166
6.6.5 Überführung von Alkenen in Halogenhydrine .....	169
6.6.6 <i>Exkurs:</i> Addition von Halogen an Myrcen. Krebsbekämpfung .....	170
6.6.7 Addition von Boran an Alkene .....	172
6.6.8 Chemie der Trialkylborane .....	174
6.6.9 Addition von Carbenen und Carbenoiden an Alkene .....	177
6.6.10 Elektrophile Additionen – ein stereochemischer Vergleich .....	182
6.7 Oxidation von Alkenen .....	183
6.7.1 Epoxidierung von Alkenen .....	183
6.7.2 Hydroxylierung von Alkenen .....	186
6.7.3 Spaltung von Alkenen durch Ozon .....	187
6.8 Radikalische Additionen an Alkene .....	189
6.9 Hydrierung von Alkenen. Dehydrierung von Alkanen .....	192
6.10 Hydrierungswärme und Stabilität von Alkenen .....	194
6.11 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 6 .....	197

**Kapitel 7****Alkine**

7.1 Übersicht und Nomenklatur von Alkinen .....	201
7.2 Struktur und IR-Spektren von Alkinen .....	202
7.3 Darstellung von Alkinen .....	204
7.4 Reaktionen von Alkinen .....	206
7.4.1 Elektrophile Additionen an Alkine .....	207
7.4.2 Nucleophile Additionen an Alkine .....	212
7.4.3 Addition von Wasserstoff an Alkine .....	212
7.4.4 Acidität von 1-Alkinen. Acetylide .....	214
7.4.5 Oxidative Kupplung von 1-Alkinen .....	215
7.4.6 Acetylen als industrielle Ausgangsverbindung .....	216
7.4.7 Zusammenfassung der Reaktionen von Alkinen .....	218
7.5 <i>Exkurs</i> : Alkine bei Synthesen, Pheromone .....	219
7.6 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 7 .....	221

**Kapitel 8****Konjugierte Diene und Polyene**

8.1 Einteilung ungesättigter Kohlenwasserstoffe .....	223
8.2 Stabilität konjugierter Diene .....	225
8.3 Konformation konjugierter Diene .....	226
8.4 UV-Spektren konjugierter Polyene .....	226
8.5 Konstitution und Farbe organischer Verbindungen .....	228
8.6 Herstellung konjugierter Diene .....	230
8.7 Reaktionen konjugierter Diene .....	232
8.7.1 Addition von Bromwasserstoff an konjugierte Diene .....	233
8.7.2 Kinetische und thermodynamische Steuerung der HBr-Addition ..	234
8.7.3 Weitere Additionen an konjugierte Diene .....	235
8.7.4 Diels-Alder-Reaktion .....	236
8.8 <i>Exkurs</i> : Die Photochemie des Sehvorgangs .....	243
8.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 8 .....	244

## Kapitel 9

### Halogenkohlenwasserstoffe

9.1 Bedeutung von Halogenkohlenwasserstoffen .....	247
9.2 Herstellung von Halogenkohlenwasserstoffen .....	249
9.3 Halogenkohlenwasserstoffe im Alltag .....	251
9.4 Reaktionen – ein Überblick .....	255
9.5 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 9 .....	255

## Kapitel 10

### Nucleophile Substitutionen

10.1 Nucleophile Substitutionen – eine Übersicht .....	257
10.2 Die S <sub>N</sub> 2-Reaktion .....	258
10.3 Die S <sub>N</sub> 1-Reaktion .....	260
10.4 Einfluß des Substrats auf die Substitution .....	263
10.4.1 Gesättigte Alkylhalogenide .....	263
10.4.2 Allyl- und Benzylhalogenide .....	266
10.5 Das Nucleophil .....	268
10.6 Die Abgangsgruppe .....	271
10.7 Einfluß des Lösungsmittels .....	272
10.8 Vergleich von S <sub>N</sub> 1- und S <sub>N</sub> 2-Reaktionen .....	274
10.9 <i>Exkurs</i> : Pflanzenschutzmittel durch nucleophile Substitution .....	276
10.10 <i>Exkurs</i> : Nucleophile Methylierungen in der Zelle .....	278
10.11 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 10 .....	280

## Kapitel 11

### Eliminierungen

11.1 $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ -Eliminierungen .....	283
11.2 Präparative Bedeutung von $\beta$ -Eliminierungen .....	284
11.3 Mechanistische Abläufe von $\beta$ -Eliminierungen .....	285
11.4 Die E2-Reaktion .....	286
11.4.1 <i>syn</i> - und <i>anti</i> -Eliminierungen bei E2-Reaktionen .....	287
11.4.2 Saytzeff- und Hofmann-Produkt bei E2-Reaktionen .....	290
11.5 Die E1-Reaktion .....	291
11.6 Sonderfall: Die E1cB-Reaktion .....	293
11.7 <i>Exkurs</i> : Kinetische Isotopeneffekte .....	294
11.8 Konkurrenz von Eliminierung und Substitution .....	296
11.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 11 .....	298

## Kapitel 12

### Alkohole

12.1 Übersicht und Nomenklatur von Alkoholen .....	301
12.2 Wasserstoffbrücken und IR-Spektren von Alkoholen .....	302
12.3 NMR-Unterscheidung von alkoholischen Gruppen .....	304
12.4 Eigenschaften und Verwendung von Alkoholen .....	306
12.5 Darstellung von Alkoholen .....	307
12.6 Reaktionen von Alkoholen .....	310
12.6.1 Acidität von Alkoholen. Alkoholate .....	310
12.6.2 Veresterung von Alkoholen .....	312
12.6.3 Tosylierung von Alkoholen .....	312
12.6.4 Umwandlung von Alkoholen in Alkylhalogenide .....	314
12.6.5 Dehydratisierung von Alkoholen zu Alkenen .....	316
12.6.6 Dehydratisierung von Alkoholen zu Ethern .....	319
12.6.7 Oxidation von Alkoholen .....	320
12.6.8 <i>Exkurs</i> : Dehydrierung von Alkoholen in der biologischen Zelle	322

12.7 Mehrwertige Alkohole .....	324
12.7.1 Darstellung und Eigenschaften mehrwertiger Alkohole .....	325
12.7.2 Glykolspaltung von 1,2-Diolen .....	326
12.8 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 12 .....	329

## **Kapitel 13**

### **Ether, Epoxide, Organoschwefelverbindungen**

13.1 Übersicht und Nomenklatur von Ethern .....	333
13.2 Darstellung von Ethern .....	335
13.3 Reaktionen von Ethern .....	338
13.3.1 Bildung von Oxoniumsalzen .....	338
13.3.2 Etherspaltung durch starke Säuren .....	339
13.3.3 Autoxidation von Ethern .....	340
13.4 Kronenether .....	341
13.5 <i>Exkurs:</i> Cyclische Ether als Ionophore .....	343
13.6 Epoxide .....	344
13.6.1 Darstellung von Epoxiden .....	344
13.6.2 Reaktionen von Epoxiden .....	347
13.7 <i>Exkurs:</i> Vom chiralen Epoxid zum chiralen Arzneistoff .....	351
13.8 Organische Schwefelverbindungen .....	352
13.9 <i>Exkurs:</i> Schwefelverbindungen in der Biochemie .....	357
13.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 13 .....	359

## **Kapitel 14**

### **Benzoide Aromaten**

14.1 Sonderstellung des Benzols .....	363
14.2 Aromaten im Überblick .....	364
14.3 Nomenklatur substituierter Aromaten .....	365
14.4 Gewinnung von Aromaten aus Erdöl und Teer .....	367

14.5	Kreberregende Eigenschaft von Aromaten .....	367
14.6	Bindungslängen und Hydrierungswärme in Aromaten .....	368
14.7	Reaktionen von Aromaten im Überblick .....	371
14.8	Elektrophile Substitution an Benzol .....	372
14.8.1	Nitrierung von Benzol .....	374
14.8.2	Halogenierung von Benzol .....	375
14.8.3	Sulfonierung von Benzol .....	377
14.8.4	Sulfochlorierung von Benzol .....	379
14.8.5	Acylierung von Benzol nach Friedel-Crafts .....	380
14.8.6	Alkylierung von Benzol nach Friedel-Crafts .....	384
14.8.7	Zusammenfassung elektrophiler Substitutionen an Benzol ....	390
14.9	Elektrophile Zweitsubstitution .....	390
14.9.1	Lenkung der Zweitsubstitution durch Ersts substituenten .....	390
14.9.2	Mechanismus der Zweitsubstitution .....	395
14.9.3	<i>Exkurs</i> : Geschwindigkeiten der Zweitsubstitution .....	397
14.9.4	<i>Exkurs</i> : Arzneistoff durch Friedel-Crafts-Acylierung .....	398
14.10	Elektrophile Substitution an mehrkernigen Aromaten .....	400
14.11	Nucleophile aromatische Substitution .....	404
14.12	Eliminierung am Benzolring: Arine .....	406
14.13	Additionen an Aromaten .....	409
14.14	Reaktionen der Seitenkette von Alkyларomaten .....	413
14.15	<i>Exkurs</i> : Herstellung des Süßstoffs Saccharin .....	417
14.16	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 14 .....	418

## Kapitel 15

### Nichtbenzoide Aromaten und Antiaromaten

15.1	Benzoide und nichtbenzoide Aromaten. Hückel-Regel .....	423
15.2	Antiaromaten .....	425
15.3	Elektronenkonfiguration und NMR-Spektren .....	428
15.4	Herstellung nichtbenzoider Aromaten/Antiaromaten .....	430
15.5	Reaktionen nichtbenzoider Aromaten .....	433
15.6	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 15 .....	434

**Kapitel 16****Metallorganische Verbindungen**

16.1	Bedeutung metallorganischer Verbindungen .....	437
16.2	Bindung in metallorganischen Verbindungen .....	438
16.2.1	Ionische Bindung in metallorganischen Verbindungen .....	438
16.2.2	Kovalente Bindung in metallorganischen Verbindungen .....	438
16.2.3	Mehrzentrenbindung in metallorganischen Verbindungen .....	439
16.2.4	$\pi$ -Bindung und 18-Elektronenregel .....	440
16.2.5	Löslichkeit metallorganischer Verbindungen .....	442
16.3	Darstellung metallorganischer Verbindungen .....	443
16.3.1	Metallorganische Verbindungen aus C–H-aciden Verbindungen	443
16.3.2	Metallorganische Verbindungen aus Halogenverbindungen ....	445
16.3.3	Metallorganische Verbindungen aus weiteren Vorstufen .....	447
16.4	Reaktionen metallorganischer Verbindungen .....	448
16.4.1	Reaktivität metallorganischer Verbindungen .....	448
16.4.2	Lithium- und magnesiumorganische Verbindungen .....	450
16.4.3	Kupferorganische Verbindungen .....	450
16.4.4	Aluminiumorganische Verbindungen .....	452
16.5	Übergangsmetallverbindungen als Katalysatoren .....	454
16.5.1	Homogene Hydrierung von Alkenen .....	457
16.5.2	Hydroformylierung von Alkenen .....	459
16.5.3	Metathese von Olefinen .....	461
16.5.4	Polymerisation von Alkenen .....	465
16.5.5	Palladiumkatalysierte C-C-Verknüpfungsreaktionen .....	467
16.6	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 16 .....	471

**Kapitel 17****Aldehyde und Ketone**

17.1	Aldehyde und Ketone im Alltag .....	473
17.2	$\pi$ -Bindung in Aldehyden und Ketonen .....	476
17.3	IR- und NMR-Spektren von Aldehyden und Ketonen .....	476
17.4	Darstellung von Aldehyden und Ketonen .....	477

17.5	Nucleophile Additionen an die Carbonylgruppe .....	481
17.5.1	Zur Reaktivität von Aldehyden und Ketonen .....	481
17.5.2	Addition von Wasser: <i>gem</i> -Dirole .....	483
17.5.3	Addition von Alkoholen. Halbacetale und Acetale .....	484
17.5.4	Addition von Thiolen. Thioacetale .....	487
17.5.5	Addition von Aminoverbindungen .....	488
17.5.6	<i>Exkurs</i> : Imine in der Zelle .....	493
17.5.7	Addition von Cyanwasserstoff und 1-Alkinen .....	494
17.5.8	Addition von metallorganischen Verbindungen .....	496
17.5.9	Addition von Yliden. Wittig-Reaktion .....	498
17.5.10	<i>Exkurs</i> : Technische Synthese von Vitamin A .....	501
17.6	Oxidation von Aldehyden und Ketonen .....	505
17.7	Reduktion von Aldehyden und Ketonen zu Alkoholen .....	508
17.8	Reduktion von Aldehyden und Ketonen zu Kohlenwasserstoffen .....	510
17.8.1	Reduktion mit Zink: Clemmensen-Reduktion .....	510
17.8.2	Reduktion mit Hydrazin: Wolff-Kishner-Reduktion .....	511
17.9	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 17 .....	513

## Kapitel 18

### Carbonsäuren

18.1	Übersicht und Nomenklatur von Carbonsäuren .....	517
18.2	Vorkommen und Eigenschaften von Carbonsäuren .....	519
18.3	Darstellung von Carbonsäuren .....	520
18.4	Reaktionen von Carbonsäuren .....	523
18.4.1	Acidität von Carbonsäuren .....	523
18.4.2	Salze von Carbonsäuren: Carboxylate .....	525
18.4.3	<i>Exkurs</i> : Tenside .....	526
18.4.4	Veresterung von Carbonsäuren mit Alkohol .....	529
18.4.5	Methylierung von Carbonsäuren mit Diazomethan .....	530
18.4.6	Überführung von Carbonsäuren in Carbonsäurehalogenide .....	531
18.4.7	Reduktion von Carbonsäuren zu primären Alkoholen .....	532
18.4.8	Decarboxylierung von Carbonsäuren .....	533
18.4.9	Zusammenfassung der Reaktionen an der Carboxylgruppe .....	535

18.5 Peroxycarbonsäuren .....	535
18.6 Dicarbonsäuren .....	537
18.6.1 Darstellung von Dicarbonsäuren .....	538
18.6.2 Reaktionen von Dicarbonsäuren .....	540
18.7 Hydroxy- und Ketocarbonsäuren .....	541
18.8 <i>Exkurs</i> : Synthese des Konservierungsstoffs Sorbinsäure .....	543
18.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 18 .....	544

## Kapitel 19

### Derivate von Carbonsäuren

19.1 Zur Reaktivität von Carbonsäurederivaten .....	547
19.2 Carbonsäurehalogenide .....	549
19.2.1 Herstellung von Carbonsäurechloriden .....	549
19.2.2 Reaktionen von Carbonsäurechloriden .....	550
19.3 Carbonsäureanhydride .....	555
19.3.1 Herstellung von Carbonsäureanhydriden .....	555
19.3.2 Reaktionen von Carbonsäureanhydriden .....	557
19.4 Carbonsäureester .....	557
19.4.1 Nomenklatur und Vorkommen .....	557
19.4.2 Herstellung von Estern .....	558
19.4.3 Reaktionen an der Estergruppe .....	559
19.4.4 Lactone .....	565
19.5 Thiocarbonsäureester .....	567
19.6 Carbonsäureamide .....	568
19.6.1 Struktur und Vorkommen .....	568
19.6.2 Bindung und Wasserstoffbrücken bei Carbonsäureamiden ....	569
19.6.3 <sup>1</sup> H-NMR-Spektren von Carbonsäureamiden .....	570
19.6.4 Herstellung von Carbonsäureamiden .....	571
19.6.5 Reaktionen von Carbonsäureamiden .....	572
19.6.6 Lactame .....	578
19.6.7 <i>Exkurs</i> : Herstellung des Süßstoffs Aspartam .....	580

19.7	Nitrile .....	582
19.7.1	Herstellung von Nitrilen .....	582
19.7.2	Reaktionen von Nitrilen .....	583
19.8	Kohlensäurederivate .....	585
19.9	Vergleich der Reaktionen von Carbonylverbindungen mit metallorganischen Verbindungen .....	586
19.10	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 19 .....	590

## Kapitel 20

### Reaktionen am $\alpha$ -C-Atom von Carbonylverbindungen

20.1	$\alpha$ -CH-Acidität von Carbonylverbindungen, Nitrilen .....	595
20.2	Keto-Enol-Tautomerie .....	598
20.3	Racemisierung $\alpha$ -chiraler Carbonylverbindungen .....	602
20.4	$\alpha$ -Halogenierung von Aldehyden und Ketonen .....	603
20.5	$\alpha$ -Halogenierung von Carbonsäuren .....	607
20.6	Alkylierung von Malonester und Acetessigester .....	608
20.7	$\alpha$ -Alkylierung von Ketonen, Monoestern und Nitrilen .....	612
20.8	$\alpha$ -Alkylierung und $\alpha$ -Acylierung über Enamine .....	615
20.9	Aldoladdition und Aldolkondensation .....	616
20.9.1	Gemischte Aldolreaktion .....	620
20.9.2	Aldole als technisch wichtige Zwischenprodukte .....	624
20.9.3	<i>Exkurs</i> : Aldoladdition in der lebenden Zelle .....	625
20.10	$\alpha$ -Aminomethylierung von Aldehyden und Ketonen .....	628
20.11	Esterkondensation nach Claisen .....	629
20.12	Knoevenagel-Kondensation .....	635
20.13	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 20 .....	637

**Kapitel 21** **$\alpha,\beta$ -Ungesättigte Carbonylverbindungen**

21.1 Übersicht und Herstellung .....	641
21.2 Reaktivität $\alpha,\beta$ -ungesättigter Carbonylverbindungen .....	643
21.3 Elektrophile Additionen .....	644
21.4 Nucleophile Additionen .....	645
21.4.1 Verlauf nucleophiler Additionen .....	645
21.4.2 Addition von Sauerstoff-, Stickstoff- u. Schwefel-Nucleophilen	645
21.4.3 Addition CH-acider Verbindungen: die Michael-Addition .....	647
21.4.4 Die Robinson-Anellierung .....	651
21.4.5 Addition von Aldehyden: die Stetter-Reaktion .....	652
21.4.6 Addition metallorganischer Verbindungen .....	653
21.5 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 21 .....	655

**Kapitel 22****Amine**

22.1 Einteilung und Nomenklatur von Aminen .....	659
22.2 Struktur und Inversion von Aminen .....	661
22.3 <i>Exkurs</i> : Pharmakologische Wirkung von Aminen .....	663
22.4 Darstellung von Aminen .....	664
22.5 Reaktionen von Aminen .....	670
22.5.1 Amine als schwache Basen .....	671
22.5.2 Amine als schwache Säuren .....	674
22.5.3 Reaktion von Aminen mit Alkylhalogeniden .....	675
22.5.4 Quartäre Ammoniumsalze .....	677
22.5.5 Quartäre Ammoniumsalze und Phasentransfer .....	680
22.5.6 Reaktion von Aminen mit Carbonsäure- oder Sulfonsäurechlorid .....	681
22.5.7 <i>Exkurs</i> : Sulfonamide als Arzneimittel .....	684
22.5.8 Elektrophile Substitution an aromatischen Aminen .....	686
22.5.9 <i>Exkurs</i> : Vom Anilin zum Arzneistoff Diclofenac .....	688

22.6	Diazoniumverbindungen .....	689
22.6.1	Reaktion von aliphatischen Aminen mit salpetriger Säure .....	690
22.6.2	Reaktion von aromatischen Aminen mit salpetriger Säure .....	692
22.6.3	Substitution der Diazoniumgruppe. Sandmeyer-Reaktion .....	693
22.6.4	Reduktion der Diazoniumgruppe .....	697
22.6.5	Azofarbstoffe aus Diazoniumverbindungen .....	698
22.7	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 22 .....	702

## Kapitel 23

### Phenole

23.1	Einführung und Nomenklatur .....	707
23.2	Herstellung von Phenolen .....	709
23.3	Reaktionen von Phenolen .....	712
23.3.1	Acidität von Phenolen .....	712
23.3.2	Reaktionen der phenolischen OH-Gruppe .....	714
23.3.3	Claisen-Umlagerung von Allyl-phenyl-ethern .....	716
23.3.4	Elektrophile Substitution am Benzolring von Phenolen .....	718
23.3.5	Oxidation von Phenolen. Chinone .....	722
23.3.6	Zusammenfassung der Reaktionen von Phenolen .....	727
23.4	<i>Exkurs</i> : Herstellung des Aromastoffs Menthol .....	727
23.5	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 23 .....	730

## Kapitel 24

### Aromatische Heterocyklen

24.1	Übersicht .....	733
24.2	Furan, Thiophen und Pyrrol .....	734
24.2.1	Bindung in Furan, Thiophen und Pyrrol .....	734
24.2.2	Darstellung von Furan-, Thiophen- und Pyrrolverbindungen ....	735
24.2.3	Zur Reaktivität von Furan, Thiophen und Pyrrol .....	738
24.2.4	Reaktionen des Furans .....	739
24.2.5	Reaktionen des Thiophens .....	740
24.2.6	Reaktionen des Pyrrols .....	741

24.3 Pyridin und Pyridinverbindungen .....	742
24.3.1 Bindung im Pyridin .....	742
24.3.2 Gewinnung von Pyridinverbindungen .....	742
24.3.3 Reaktionen von Pyridinverbindungen .....	744
24.4 Kondensierte Ringe: Chinolin, Isochinolin und Indol .....	749
24.5 <i>Exkurs</i> : Kombinatorische Synthese: Benzodiazepine .....	751
24.6 <i>Exkurs</i> : Herstellung des Farbstoffs Indigo .....	754
24.7 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 24 .....	756

## **Kapitel 25**

### **Kohlenhydrate und Nucleinsäuren**

25.1 Einteilung der Kohlenhydrate .....	759
25.2 Struktur von Monosacchariden .....	759
25.3 Furanosen und Pyranosen .....	764
25.4 Monosaccharide .....	767
25.5 Reaktionen von Monosacchariden .....	768
25.5.1 Veresterung von Monosacchariden .....	768
25.5.2 Glykosidierung von Monosacchariden .....	769
25.5.3 Reduktion von Monosacchariden .....	771
25.5.4 Oxidation von Monosacchariden .....	772
25.6 <i>Exkurs</i> : Ascorbinsäure aus Glucose .....	773
25.7 Disaccharide .....	774
25.8 Cyclische Saccharide: Cyclodextrine .....	776
25.9 Polysaccharide .....	777
25.10 Polysaccharide: Sekundärstruktur und Hydrolyse .....	779
25.11 Nucleinsäuren .....	781
25.12 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 25 .....	784

**Kapitel 26****Lipide**

26.1	Eigenschaften von Lipiden .....	787
26.2	Fette und Öle .....	787
26.2.1	Reaktionen an der Estergruppe .....	790
26.2.2	Reaktionen an der ungesättigten Seitenkette. Fetthärtung .....	791
26.3	Wachse .....	793
26.4	Phospholipide und Zellmembrane .....	793
26.5	<i>Exkurs</i> : Nachwachsende Rohstoffe .....	795
26.6	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 26 .....	796

**Kapitel 27****Aminosäuren, Peptide, Proteine**

27.1	Aminosäuren .....	797
27.1.1	Struktur von Aminosäuren .....	797
27.1.2	Konfiguration von Aminosäuren .....	799
27.1.3	Verwendung von Aminosäuren .....	800
27.1.4	Herstellung racemischer Aminosäuren .....	800
27.1.5	Herstellung enantiomerenreiner Aminosäuren .....	803
27.1.6	Säure-Base-Verhalten von Aminosäuren .....	810
27.1.7	Veresterung und Acetylierung von Aminosäuren .....	815
27.1.8	Nachweis von Aminosäuren: die Ninhydrin-Reaktion .....	816
27.2	Peptide .....	816
27.2.1	Struktur und Nomenklatur von Peptiden .....	816
27.2.2	Bedeutung von Peptiden .....	818
27.2.3	Herstellung von Peptiden in Lösung .....	819
27.2.4	Herstellung von Peptiden am Träger. Merrifield-Synthese .....	826
27.2.5	Chemische und enzymatische Hydrolyse von Peptiden .....	828
27.2.6	Sequenzanalyse von Peptiden durch Edman-Abbau .....	830
27.2.7	<i>Exkurs</i> : Sequenzanalyse durch Massenspektrometrie .....	832
27.3	Proteine .....	834
27.3.1	Primärstruktur von Proteinen .....	835
27.3.2	Sekundärstruktur von Proteinen .....	835

27.3.3 Tertiärstruktur und Domänen von Proteinen .....	837
27.3.4 Quartärstruktur von Proteinen .....	839
27.3.5 Konjugierte Proteine .....	840
27.3.6 Proteine als Enzyme .....	840
27.4 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 27 .....	841

## **Kapitel 28**

### **Naturstoffe**

28.1 Einteilung der Naturstoffe .....	845
28.2 Terpene und Isoprenregel .....	846
28.3 Steroide .....	850
28.4 Hormone .....	852
28.4.1 Steroidhormone .....	852
28.4.2 Amin- und Peptidhormone .....	854
28.4.3 Prostaglandinhormone .....	855
28.5 Stickstoffheterocyclen .....	856
28.5.1 Alkaloide .....	856
28.5.2 Porphyrinfarbstoffe .....	859
28.6 Antibiotika .....	862
28.7 Vitamine .....	863
28.8 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 28 .....	867

## **Kapitel 29**

### **Pericyclische Reaktionen**

29.1 Einteilung pericyclischer Reaktionen .....	869
29.2 Elektrocyclische Reaktionen .....	870
29.2.1 Stereochemie elektrocyclischer Reaktionen .....	871
29.2.2 Orbitalsymmetrie und Drehrichtung .....	872
29.2.3 Regeln für elektrocyclische Reaktionen .....	873

29.3 Cycloadditionen .....	875
29.3.1 Synchrone Cycloadditionen .....	875
29.3.2 Stereochemie synchroner Cycloadditionen .....	876
29.3.3 Orbitalsymmetrie synchroner Cycloadditionen .....	878
29.3.4 Regeln für synchrone Cycloadditionen .....	880
29.3.5 Stufenweise Cycloadditionen .....	880
29.4 Sigmatrope Umlagerungen .....	881
29.4.1 Stereochemie sigmatroper Umlagerungen .....	881
29.4.2 Orbitalsymmetrie sigmatroper Umlagerungen .....	882
29.4.3 Regeln für sigmatrope Umlagerungen .....	885
29.5 <i>Exkurs</i> : Pericyclische Reaktionen in der Biochemie .....	885
29.6 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 29 .....	887

## **Kapitel 30**

### **Synthetische Polymere**

30.1 Einteilung von synthetischen Polymeren .....	889
30.2 Polyolefine .....	889
30.2.1 Polyolefine durch kationische Polymerisation .....	890
30.2.2 Polyolefine durch anionische Polymerisation .....	891
30.2.3 Polyolefine durch radikalische Polymerisation .....	892
30.2.4 Polyolefine durch koordinative Polymerisation .....	894
30.3 Polyolefine aus Dienen .....	896
30.4 Verwendung von Polyolefinen .....	897
30.5 Copolymere .....	899
30.6 Polyepoxide .....	900
30.7 Polyester .....	901
30.8 Polyamide .....	902
30.9 Polyurethane .....	907
30.10 Phenol-Formaldehyd-Harze .....	908
30.11 Harnstoff-Formaldehyd-Harze .....	909
30.12 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 30 .....	910