

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}C	54
2.4	Infrarotspektroskopie	57
2.4.1	Grundlagen	57
2.4.2	Interpretation von IR-Spektren	60
2.5	Ultravioletspektroskopie	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 von Alkanen	72
3.4	Nomenklatur von Alkanen mit funktionellen Gruppen	74
3.5	Konformationen von Alkanen	76
3.6	Löslichkeit, Siede- und Schmelzpunkte von Alkanen	79
3.7	NMR-Spektren von Alkanen	80
3.8	Vorkommen von Alkanen	81
3.9	Herstellung von Alkanen	82
3.10	Radikalische Substitutionen an Alkanen	82
3.10.1	Erzeugung von Radikalen	83
3.10.2	Halogenierung von Alkanen mit molekularem Halogen	84
3.10.3	Chlorierung von Alkanen mit Sulfurylchlorid	90
3.10.4	<i>Exkurs:</i> Reaktionsenthalpie der Halogenierung von Alkanen	91
3.10.5	Halogenierung von Alkenen in Allylstellung	93
3.10.6	Chlorierung von Alkanen in Gegenwart von Schwefeldioxid	95
3.10.7	Oxidation mit molekularem Sauerstoff	96

3.11 Pyrolyse von Alkanen	98
3.12 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 3.....	100

Kapitel 4 Cycloalkane

4.1 Einteilung der Cycloalkane	103
4.2 cis-trans-Isomerie bei Cycloalkanen	104
4.3 Konformation unsubstituierter Cycloalkane	105
4.4 Konformation substituierter Cyclohexane	107
4.5 Herstellung von Cycloalkanen	110
4.6 Reaktionen von Cycloalkanen	112
4.6.1 Verbrennung und Ringspannung.....	112
4.6.2 Ringöffnung kleiner Ringe	114
4.7 Polycyclische Alkane.....	115
4.8 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 4.....	117

Kapitel 5 Stereoisomerie

5.1 Einteilung von Isomeren. Chiralität	119
5.2 Moleküle mit einem Chiralitätszentrum. <i>R,S</i> -Nomenklatur.....	121
5.3 Moleküle mit zwei Chiralitätszentren. Diastereomere.....	124
5.4 Moleküle mit einer Chiralitätsachse.....	126
5.5 Symmetrieeigenschaften von chiralen Molekülen	127
5.6 Physikalische Unterschiede von Enantiomeren	130
5.7 Chemische Unterschiede von Enantiomeren.....	132
5.8 Auftrennung eines Racemats in Enantiomere	133

5.9 Prochiralität	137
5.9.1 Topizität von Substituenten.....	137
5.9.2 Topizität von Molekülseiten.....	141
5.9.3 Prochirale Moleküle.....	142
5.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 5.....	145

Kapitel 6

Alkene. Elektrophile Additionen

6.1 cis-trans-Isomerie von Alkenen	149
6.2 Nomenklatur von Alkenen.....	151
6.3 Hydrierung von Alkenen. Dehydrierung von Alkanen	153
6.4 Hydrierungswärme und Stabilität substituierter Alkene.....	155
6.5 Herstellung von Alkenen	157
6.6 Zur Reaktivität von Alkenen.....	159
6.7 Elektrophile Additionen an Alkene	160
6.7.1 Erzeugung und Stabilität von Carbenium-Ionen	160
6.7.2 Addition von Säuren an Alkene. Markownikow-Regel	162
6.7.3 Addition von Wasser an Alkene	166
6.7.4 Addition von Halogenen an Alkene.....	167
6.7.5 Addition von hypohalogeniger Säure an Alkene.....	170
6.7.6 <i>Exkurs</i> : Addition von Halogen an das Trien Myrcen	172
6.7.7 Addition von Boran an Alkene	174
6.7.8 Oxidation von Trialkylboranen	176
6.7.9 Addition von Carbenen oder Carbenoiden an Alkene.....	179
6.7.10 Elektrophile Additionen – ein stereochemischer Vergleich	185
6.8 Oxidation von Alkenen.....	185
6.8.1 Epoxidierung von Alkenen	185
6.8.2 Hydroxylierung von Alkenen.....	188
6.8.3 Ozonolyse von Alkenen	189
6.9 Radikalische Additionen an Alkene.....	192
6.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 6.....	195

Kapitel 7**Alkine**

7.1 Übersicht und Nomenklatur von Alkinen.....	199
7.2 Struktur und IR-Spektren von Alkinen	200
7.3 Herstellung von Alkinen.....	202
7.4 Reaktionen von Alkinen	203
7.4.1 Einteilung der Reaktionen von Alkinen	203
7.4.2 Elektrophile Addition an die Dreifachbindung	205
7.4.3 Nucleophile Addition an die Dreifachbindung.....	209
7.4.4 Addition von Wasserstoff an die Dreifachbindung	210
7.4.5 Acidität von 1-Alkinen. Acetylide	212
7.4.6 <i>Exkurs:</i> Pheromone aus Alkinen. Retrosynthese.....	213
7.4.7 Oxidative Kupplung von 1-Alkinen zu 1,3-Dienen.....	215
7.4.8 Zusammenfassung der Reaktionen von Alkinen.....	216
7.4.9 Acetylen als industrielle Ausgangsverbindung	217
7.5 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 7	219

Kapitel 8**Konjugierte Diene und Polyene**

8.1 Einteilung und Nomenklatur.....	221
8.2 Stabilität konjugierter Diene	222
8.3 Konformation konjugierter Diene	224
8.4 UV-Spektren konjugierter Polyene.....	224
8.5 Konstitution und Farbe organischer Verbindungen	226
8.6 Herstellung konjugierter Diene	228
8.7 Reaktionen konjugierter Diene.....	230
8.7.1 Addition von Bromwasserstoff an konjugierte Diene	231
8.7.2 Kinetische/thermodynamische Steuerung der HBr-Addition	232
8.7.3 Weitere Additionen an konjugierte Diene	233
8.7.4 Diels-Alder-Reaktion.....	234
8.8 <i>Exkurs:</i> Die Photochemie des Sehvorgangs	240
8.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 8.....	242

Kapitel 9

Halogenkohlenwasserstoffe

9.1 Bedeutung von Halogenkohlenwasserstoffen.....	245
9.2 Herstellung von Halogenkohlenwasserstoffen.....	247
9.3 Halogenkohlenwasserstoffe im Alltag.....	249
9.4 Reaktionen – ein Überblick.....	253
9.5 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 9.....	253

Kapitel 10

Nucleophile Substitutionen

10.1 Nucleophile Substitutionen – Übersicht.....	255
10.2 Die S _N 2-Reaktion	256
10.3 Die S _N 1-Reaktion	258
10.4 Einfluss des Substrats auf die Substitution	261
10.4.1 Reaktivität gesättigter Alkylhalogenide.....	261
10.4.2 Reaktivität von Allyl- und Benzylhalogeniden.....	263
10.5 Das Nucleophil	265
10.6 Die Abgangsgruppe	268
10.7 Einfluss des Lösungsmittels	269
10.8 Vergleich von S _N 1- und S _N 2-Reaktionen.....	271
10.9 <i>Exkurs:</i> Pestizide durch nucleophile Substitution.....	274
10.10 <i>Exkurs:</i> Nucleophile Methylierungen in der Zelle.....	276
10.11 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 10	278

Kapitel 11 **β -Eliminierungen**

11.1 α - und β -Eliminierungen	281
11.2 β -Eliminierungen zur Herstellung von Alkenen	282
11.3 Mechanistische Abläufe von β -Eliminierungen	283
11.4 Die E2-Reaktion	284
11.4.1 Regioselektivität bei E2-Reaktionen	284
11.4.2 Stereoselektivität bei E2-Reaktionen	286
11.5 Die E1-Reaktion	289
11.6 Die E1cB-Reaktion	290
11.7 <i>Exkurs</i> : Kinetische Isotopeneffekte	292
11.8 β -Eliminierung und Substitution in Konkurrenz	293
11.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 11	295

Kapitel 12**Alkohole**

12.1 Einteilung und Nomenklatur von Alkoholen	299
12.2 Wasserstoffbrücken und IR-Spektren von Alkoholen	300
12.3 NMR-Unterscheidung von alkoholischen Gruppen	302
12.4 Eigenschaften und Verwendung von Alkoholen	304
12.5 Herstellung von Alkoholen	305
12.6 Reaktionen von Alkoholen	308
12.6.1 Acidität von Alkoholen. Alkoholate	308
12.6.2 Veresterung von Alkoholen mit Carbonsäuren	310
12.6.3 Veresterung von Alkoholen mit Sulfonsäurechloriden	310
12.6.4 Umwandlung von Alkoholen in Alkylhalogenide	312
12.6.5 Dehydratisierung von Alkoholen zu Alkenen	314
12.6.6 Dehydratisierung von Alkoholen zu Ethern	317
12.6.7 Oxidation von Alkoholen	318
12.6.8 <i>Exkurs</i> : Dehydrierung von Alkoholen in der biologischen Zelle ..	321

12.7 Mehrwertige Alkohole	323
12.7.1 Herstellung und Verwendung mehrwertiger Alkohole.....	324
12.7.2 Glykolspaltung von 1,2-Diolen.....	325
12.8 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 12	327

Kapitel 13

Ether, Epoxide, Organoschwefelverbindungen

13.1 Übersicht und Nomenklatur von Ethern.....	331
13.2 Herstellung von Ethern.....	333
13.3 Reaktionen von Ethern	336
13.3.1 Bildung von Oxoniumsalzen	336
13.3.2 Etherspaltung durch starke Säuren.....	337
13.3.3 Autoxidation von Ethern.....	338
13.4 Kronenether.....	339
13.5 <i>Exkurs:</i> Cyclische Ether als Ionophore.....	341
13.6 Epoxide.....	342
13.6.1 Darstellung von Epoxiden.....	342
13.6.2 Reaktionen von Epoxiden.....	345
13.7 <i>Exkurs:</i> Vom chiralen Epoxid zum chiralen Arzneistoff.....	349
13.8 Organische Schwefelverbindungen	350
13.9 <i>Exkurs:</i> Schwefelverbindungen in der Biochemie	355
13.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 13	357

Kapitel 14

Benzol und Aromatizität

14.1 Aromaten im Überblick	361
14.2 Nomenklatur substituierter Aromaten.....	362
14.3 <i>Exkurs:</i> Krebserregende Aromaten	364
14.4 Bindung in Benzol	365

14.5 Benzoiden und nichtbenzoiden Aromaten. Hückel-Regel	368
14.6 Antiaromaten	370
14.7 NMR-Spektren von Aromaten und Antiaromaten	373
14.8 Gewinnung von Aromaten aus Erdöl und Teer	375
14.9 Gewinnung von Aromaten durch Synthese.....	376
14.9.1 Synthese von benzoiden Aromaten	376
14.9.2 Synthese von nichtbenzoiden Aromaten/Antiaromaten.....	377
14.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 14	379

Kapitel 15

Reaktionen von Aromaten

15.1 Reaktivität von Benzol	381
15.2 Reaktionen von Aromaten im Überblick	381
15.3 Elektrophile Substitution am Benzolring	382
15.3.1 Nitrierung von Benzol	384
15.3.2 Halogenierung von Benzol	385
15.3.3 Sulfonierung von Benzol	387
15.3.4 Sulfochlorierung von Benzol	389
15.3.5 Acylierung von Benzol durch Friedel-Crafts-Reaktion	390
15.3.6 Alkylierung von Benzol durch Friedel-Crafts-Reaktion	395
15.3.7 Zusammenfassung elektrophiler Substitutionen von Benzol	401
15.4 Elektrophile Zweitsubstitution am Benzolring	402
15.4.1 Lenkung der Zweitsubstitution durch Ersts substituenten	402
15.4.2 Mechanismus der Zweitsubstitution	406
15.4.3 Geschwindigkeit der Zweitsubstitution	408
15.4.4 <i>Exkurs:</i> Schmerzmittel Ibuprofen durch Friedel-Crafts-Acylierung	409
15.5 Elektrophile Substitution an kondensierten Aromaten	410
15.6 Nucleophile Substitution an Aromaten	413
15.7 Eliminierung an Aromaten: Arine	416

15.8 Additionen an Aromaten	419
15.9 Reaktionen der Seitenkette von Alkylaromaten	423
15.10 <i>Exkurs</i> : Süßstoff Saccharin durch Sulfochlorierung	427
15.11 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 15	428

Kapitel 16

Metallorganische Verbindungen

16.1 Bedeutung metallorganischer Verbindungen	433
16.2 Bindung in metallorganischen Verbindungen	433
16.2.1 Ionische Bindung	433
16.2.2 Kovalente Bindung	434
16.2.3 Mehrzentrenbindung	435
16.2.4 π -Bindung und 18-Elektronenregel	435
16.3 Darstellung metallorganischer Verbindungen	437
16.3.1 Metallorganische Verbindungen aus C–H-aciden Verbindungen	437
16.3.2 Metallorganische Verbindungen aus Halogenverbindungen	438
16.3.3 Metallorganische Verbindungen aus weiteren Vorstufen	441
16.4 Reaktionen metallorganischer Verbindungen	442
16.4.1 Reaktivität metallorganischer Verbindungen	442
16.4.2 Lithium- und magnesiumorganische Verbindungen	443
16.4.3 Kupferorganische Verbindungen	443
16.4.4 Aluminiumorganische Verbindungen	445
16.5 Übergangsmetallverbindungen als Katalysatoren	447
16.5.1 Homogene Hydrierung von Alkenen	449
16.5.2 Hydroformylierung von Alkenen	452
16.5.3 Metathese von Olefinen	453
16.5.4 Polymerisation von Alkenen	456
16.5.5 Palladiumkatalysierte C-C-Verknüpfungsreaktionen	459
16.6 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 16	464

Kapitel 17

Aldehyde und Ketone

17.1 Aldehyde und Ketone im Alltag	467
17.2 π -Bindung in Aldehyden und Ketonen	470
17.3 IR- und NMR-Spektren von Aldehyden und Ketonen	470
17.4 Herstellung von Aldehyden und Ketonen	471
17.5 Nucleophile Additionen an die Carbonylgruppe	475
17.5.1 Zur Reaktivität von Aldehyden und Ketonen	475
17.5.2 Addition von Wasser. <i>gem</i> -Diole	477
17.5.3 Addition von Alkoholen. Halbacetale und Acetale	479
17.5.4 Addition von Thiolen. Thioacetale	481
17.5.5 Addition von Aminoverbindungen. Imine und Enamine	483
17.5.6 <i>Exkurs</i> : Imine in der Zelle	487
17.5.7 Addition von Cyanwasserstoff oder 1-Alkinen	489
17.5.8 Addition von metallorganischen Verbindungen	491
17.5.9 Addition von Yliden. Wittig-Reaktion	493
17.5.10 Addition von Phosphonatcarbanionen	496
17.5.11 <i>Exkurs</i> : Technische Synthese von Vitamin A	498
17.6 Oxidation von Aldehyden und Ketonen	501
17.7 Reduktion von Aldehyden und Ketonen zu Alkoholen	503
17.8 Reduktion von Aldehyden und Ketonen zu Kohlenwasserstoffen	506
17.8.1 Reduktion mit Zink: Clemmensen-Reduktion	506
17.8.2 Reduktion mit Hydrazin: Wolff-Kishner-Reduktion	507
17.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 17	509

Kapitel 18

Carbonsäuren

18.1 Übersicht und Nomenklatur von Carbonsäuren	513
18.2 Vorkommen und Eigenschaften von Carbonsäuren	515
18.3 Herstellung von Carbonsäuren	516

18.4	Reaktionen von Carbonsäuren	519
18.4.1	Acidität von Carbonsäuren	519
18.4.2	Carboxylate – Salze von Carbonsäuren	521
18.4.3	<i>Exkurs:</i> Tenside	522
18.4.4	Veresterung von Carbonsäuren mit Alkohol	525
18.4.5	Methylierung von Carbonsäuren mit Diazomethan	526
18.4.6	Überführung von Carbonsäuren in Carbonsäurehalogenide	527
18.4.7	Reduktion von Carbonsäuren zu primären Alkoholen	528
18.4.8	Decarboxylierung von Carbonsäuren durch Erhitzen	529
18.4.9	Decarboxylierung von Carboxylaten durch Elektrolyse	530
18.4.10	Zusammenfassung der Reaktionen an der Carboxylgruppe	531
18.5	Peroxycarbonsäuren	532
18.6	Dicarbonsäuren	533
18.6.1	Herstellung von Dicarbonsäuren	535
18.6.2	Reaktionen von Dicarbonsäuren	536
18.7	Hydroxy- und Ketocarbonsäuren	538
18.8	<i>Exkurs:</i> Synthese des Konservierungsstoffs Sorbinsäure	539
18.9	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 18	541

Kapitel 19

Derivate von Carbonsäuren

19.1	Carbonsäurederivate und ihre Reaktivität	545
19.2	Carbonsäurehalogenide	547
19.2.1	Herstellung von Carbonsäurechloriden	547
19.2.2	Reaktionen von Carbonsäurechloriden	548
19.3	Carbonsäureanhydride	553
19.3.1	Herstellung von Carbonsäureanhydriden	553
19.3.2	Reaktionen von Carbonsäureanhydriden	555
19.3.3	<i>Exkurs:</i> Herstellung des Süßstoffs Aspartam	556
19.4	Carbonsäureester	558
19.4.1	Nomenklatur und Vorkommen	558
19.4.2	Herstellung von Estern	559
19.4.3	Reaktionen an der Estergruppe	560
19.4.4	Lactone	566

19.5 Thiocarbonsäureester	569
19.6 Carbonsäureamide	570
19.6.1 Struktur und Vorkommen	570
19.6.2 Bindung und Wasserstoffbrücken bei Carbonsäureamiden	571
19.6.3 ¹ H-NMR-Spektren von Carbonsäureamiden	573
19.6.4 Herstellung von Carbonsäureamiden	574
19.6.5 Reaktionen von Carbonsäureamiden	574
19.6.6 Lactame	580
19.7 Nitrile	582
19.7.1 Herstellung von Nitrilen	583
19.7.2 Reaktionen von Nitrilen	584
19.8 Kohlensäurederivate	585
19.9 Vergleich: Metallorganische Additionen an Carbonylverbindungen	586
19.10 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 19	590

Kapitel 20

Reaktionen am α -C-Atom von Carbonylverbindungen

20.1 α -CH-Acidität von Carbonylverbindungen, Nitrilen, Nitroverbindungen	595
20.2 Keto-Enol-Tautomerie	598
20.3 Racemisierung α -chiraler Carbonylverbindungen	602
20.4 α -Halogenierung von Aldehyden und Ketonen	603
20.5 α -Halogenierung von Carbonsäuren	607
20.6 Alkylierung von Malonester und Acetessigester	608
20.7 α -Alkylierung von Ketonen, Monoestern und Nitrilen	612
20.8 α -Alkylierung und α -Acylierung von Aldehyden/Ketonen über Enamine	615
20.9 Aldoladdition und Aldolkondensation	616
20.9.1 Gemischte Aldolreaktion	620
20.9.2 Aldole: technisch wichtige Zwischenprodukte	623
20.9.3 <i>Exkurs</i> : Aldoladdition in der lebenden Zelle	625

20.10 Knoevenagel-Kondensation	628
20.11 α -Aminomethylierung von Aldehyden und Ketonen	629
20.12 Esterkondensation nach Claisen	631
20.13 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 20	637

Kapitel 21

α,β -Ungesättigte Carbonylverbindungen

21.1 Übersicht und Herstellung	641
21.2 Reaktivität α,β -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 Alkoholen, Aminen, Thiolen	645
21.4.3 Addition CH-acider Verbindungen. 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 Herstellung 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	679
22.5.6	Reaktion von Aminen mit Carbonsäurechloriden und mit Sulfonsäurechloriden	680
22.5.7	<i>Exkurs:</i> Sulfonamide als Arzneimittel	683
22.5.8	Elektrophile Substitution an aromatischen Aminen	685
22.5.9	<i>Exkurs:</i> Vom Anilin zum Arzneistoff Diclofenac	687
22.6	Diazoniumverbindungen	688
22.6.1	Reaktion von aliphatischen Aminen mit salpetriger Säure	689
22.6.2	Reaktion von aromatischen Aminen mit salpetriger Säure	691
22.6.3	Substitution der Diazoniumgruppe. Sandmeyer-Reaktion	692
22.6.4	Reduktion der Diazoniumgruppe	696
22.6.5	Von Diazoniumverbindungen zu Azofarbstoffen	697
22.7	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 22	701

Kapitel 23

Phenole

23.1	Einführung und Nomenklatur	705
23.2	Herstellung von Phenolen	707
23.3	Reaktionen von Phenolen	710
23.3.1	Acidität von Phenolen	710
23.3.2	Reaktionen der phenolischen OH-Gruppe	712
23.3.3	Claisen-Umlagerung von Allyl-phenyl-ethern	714
23.3.4	Elektrophile Substitution am Benzolring von Phenolen	715
23.3.5	Oxidation von Phenolen. Chinone	720
23.3.6	Zusammenfassung der Reaktionen von Phenolen	724
23.4	<i>Exkurs:</i> Herstellung des Aromastoffs Menthol	725
23.5	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 23	728

Kapitel 24

Aromatische Heterocyklen

24.1	Übersicht	731
24.2	Furan, Thiophen und Pyrrol	732
24.2.1	Bindung in Furan, Thiophen und Pyrrol	732
24.2.2	Herstellung von Furan-, Thiophen- und Pyrrolverbindungen	733

24.2.3	Zur Reaktivität von Furan, Thiophen und Pyrrol.....	736
24.2.4	Reaktionen des Furans.....	737
24.2.5	Reaktionen des Thiophens.....	738
24.2.6	Reaktionen des Pyrrols.....	739
24.3	Pyridin und Pyridinverbindungen.....	740
24.3.1	Bindung im Pyridin.....	740
24.3.2	Gewinnung von Pyridinverbindungen.....	740
24.3.3	Reaktionen von Pyridinverbindungen.....	742
24.4	Kondensierte Ringe: Chinolin, Isochinolin und Indol.....	747
24.5	<i>Exkurs:</i> Benzodiazepine. Kombinatorische Synthese.....	750
24.6	<i>Exkurs:</i> der Farbstoff Indigo und seine Herstellung.....	752
24.7	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 24.....	754

Kapitel 25

Kohlenhydrate

25.1	Einteilung der Kohlenhydrate.....	757
25.2	Struktur von Monosacchariden.....	757
25.3	Furanosen und Pyranosen.....	762
25.4	Vorkommen von Monosacchariden.....	765
25.5	Reaktionen von Monosacchariden.....	766
25.5.1	Veresterung von Monosacchariden.....	766
25.5.2	Glykosidierung von Monosacchariden.....	767
25.5.3	Reduktion von Monosacchariden.....	769
25.5.4	Oxidation von Monosacchariden.....	770
25.6	<i>Exkurs:</i> Ascorbinsäure aus Glucose.....	771
25.7	Disaccharide.....	772
25.8	Cyclische Saccharide: Cyclodextrine.....	774
25.9	Polysaccharide.....	775
25.10	Polysaccharide: Sekundärstruktur und Hydrolyse.....	777
25.11	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 25.....	779

Kapitel 26**Lipide**

26.1	Eigenschaften von Lipiden	781
26.2	Fette und Öle	781
26.2.1	Reaktionen an der Estergruppe von Fetten	784
26.2.2	Reaktionen an der ungesättigten Seitenkette. Fetthärtung	785
26.3	Wachse	787
26.4	Phospholipide und Zellmembrane	787
26.5	<i>Exkurs:</i> Nachwachsende Rohstoffe	789
26.6	Lösung der Aufgaben zu Kapitel 26	790

Kapitel 27**Aminosäuren, Peptide, Proteine**

27.1	Aminosäuren	791
27.1.1	Struktur von Aminosäuren	791
27.1.2	Konfiguration von Aminosäuren	793
27.1.3	Verwendung von Aminosäuren	794
27.1.4	Herstellung racemischer Aminosäuren	794
27.1.5	Herstellung enantiomerenreiner Aminosäuren	797
27.1.6	Säure-Base-Verhalten von Aminosäuren	804
27.1.7	Veresterung und Acetylierung von Aminosäuren	809
27.1.8	Nachweis von Aminosäuren: die Ninhydrin-Reaktion	810
27.2	Peptide	810
27.2.1	Struktur und Nomenklatur von Peptiden	810
27.2.2	Bedeutung von Peptiden	812
27.2.3	Herstellung von Peptiden in Lösung	813
27.2.4	Herstellung von Peptiden an fester Phase. Merrifield-Synthese ..	820
27.2.5	Chemische und enzymatische Hydrolyse von Peptiden	822
27.2.6	Sequenzanalyse von Peptiden durch Edman-Abbau	824
27.2.7	<i>Exkurs:</i> Sequenzanalyse durch Massenspektrometrie	826
27.3	Proteine	828
27.3.1	Primärstruktur von Proteinen	829
27.3.2	Sekundärstruktur von Proteinen	829

27.3.3 Tertiärstruktur und Domänen von Proteinen	831
27.3.4 Quartärstruktur von Proteinen	833
27.3.5 Konjugierte Proteine	834
27.3.6 Proteine als Enzyme	835
27.4 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 27	836

Kapitel 28

Naturstoffe

28.1 Einteilung der Naturstoffe	839
28.2 Terpene und Isoprenregel	840
28.3 Steroide	844
28.4 Hormone	846
28.4.1 Steroidhormone	846
28.4.2 Amin- und Peptidhormone	848
28.4.3 Prostaglandinhormone	849
28.5 Stickstoffheterocyclen	850
28.5.1 Alkaloide	850
28.5.2 Porphyrinfarbstoffe	853
28.6 Nucleinsäuren	856
28.7 Antibiotika	859
28.8 Vitamine	861
28.9 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 28	865

Kapitel 29

Pericyclische Reaktionen

29.1 Einteilung pericyclischer Reaktionen	867
29.2 Elektrocyclische Reaktionen	868
29.2.1 Stereochemie elektrocyclischer Reaktionen	869
29.2.2 Orbitalsymmetrie und Drehrichtung	870
29.2.3 Regeln für elektrocyclische Reaktionen	871

29.3 Cycloadditionen.....	873
29.3.1 Synchrone Cycloadditionen.....	873
29.3.2 Stereochemie synchroner Cycloadditionen.....	874
29.3.3 Orbitalsymmetrie synchroner Cycloadditionen.....	876
29.3.4 Regeln für synchrone Cycloadditionen	878
29.3.5 Thermisch erlaubte [2+2]Cycloadditionen	878
29.3.6 Stufenweise Cycloadditionen.....	879
29.4 Sigmatrope Umlagerungen.....	880
29.4.1 Stereochemie sigmatroper Umlagerungen.....	880
29.4.2 Orbitalsymmetrie sigmatroper Umlagerungen.....	881
29.4.3 Regeln für sigmatrope Umlagerungen	884
29.5 <i>Exkurs:</i> Pericyclische Reaktionen in der Biochemie.....	884
29.6 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 29	886

Kapitel 30

Synthetische Polymere

30.1 Einteilung von synthetischen Polymeren	887
30.2 Vinylpolymere	887
30.2.1 Vinylpolymere durch kationische Polymerisation	888
30.2.2 Vinylpolymere durch anionische Polymerisation	889
30.2.3 Vinylpolymere durch radikalische Polymerisation.....	890
30.2.4 Vinylpolymere durch koordinative Polymerisation	892
30.2.5 Verwendung von Vinylpolymeren.....	894
30.3 Polymere aus 1,3-Dienen.....	896
30.4 Copolymere.....	897
30.5 Polyether	898
30.6 Polyester.....	899
30.7 Polyamide	900
30.8 Polyurethane.....	904
30.9 Phenol-Formaldehyd-Harze.....	905
30.10 Harnstoff-Formaldehyd-Harze	907
30.11 Weichmacher	907
30.12 Lösung der Aufgaben zu Kapitel 30	908

Sachregister

