

1	Chemische Bindung in organischen Molekülen	1
1.1	Einführung	1
1.2	Energie	1
1.3	Atomorbitale	1
1.3.1	s-Orbitale	2
1.3.2	p-Orbitale	3
1.3.3	Elektronenspin und PAULI-Prinzip	4
1.3.4	Elektronenkonfiguration leichter Atome	4
1.4	Molekülorbitale und kovalente Bindung	5
1.4.1	Arten der chemischen Bindung	5
1.4.2	Überlappung von Atomorbitalen	5
1.4.3	σ - und π -Molekülorbitale	7
1.5	Bindungsdaten	8
1.6	Hybridisierung der Atomorbitale des Kohlenstoffs	8
1.7	Kovalente Bindung in einfachen organischen Molekülen	11
1.7.1	CH-Bindungen des Methans	11
1.7.2	CC-Einfachbindung	12
1.7.3	CC-Doppelbindung	12
1.7.4	CC-Dreifachbindung	14
1.8	Reaktive Zwischenstufen	15
1.8.1	Methyl-Radikal	15
1.8.2	Methyl-Ionen	16
1.8.3	Carbene	17
1.9	Bindung in Ammoniak und Wasser	18
1.10	Polarität kovalenter Bindungen	18
1.10.1	Elektronegativität	18
1.10.2	Dipolmomente von Molekülen	18
1.10.3	Polarität von Verbindungen	19
1.11	Interionische und intermolekulare Wechsel- wirkungen	20
1.11.1	Interionische Wechselwirkung	20
1.11.2	Dipol-Dipol-Wechselwirkung und Wasserstoffbrücken	20
1.11.3	Ionen-Dipol-Wechselwirkung	21
1.11.4	VAN-DER-WAALS-Wechselwirkung	21
1.12	Physikalische Eigenschaften, Acidität und Basizität	22
1.12.1	Kristallgitter	22
1.12.2	Schmelzpunkt, Siedepunkt, Löslichkeit	22
1.12.3	Säuren und Basen, Elektrophile und Nucleophile	23
2	Alkane	24
2.1	Homologe Reihe, Konstitution, Nomenklatur	24
2.1.1	Homologe Reihe und Molekülmodelle der Alkane	24
2.1.2	Konstitutionsisomerie	26
2.1.3	Nomenklatur	27
2.2	Physikalische Eigenschaften	29
2.3	Molekülbau	30
2.4	Konformation	30
2.5	Industrielle Gewinnung der Alkane	32
2.5.1	Alkane aus Erdgas, Erdöl und Kohle	32

2.5.2	Treibstoffherstellung.....	33
2.6	Darstellung von Alkanen	34
2.6.1	Katalytische Hydrierung der Alkene.....	34
2.6.2	Reduktion von Halogenalkanen.....	34
2.6.3	Alkylierung metallorganischer Verbindungen	35
2.6.4	KOLBE-Elektrolyse	36
2.7	Reaktionen	36
2.7.1	Voilständige Oxidation (Verbrennung).....	37
2.7.2	Partielle Oxidation	38
2.7.3	Autoxidation.....	38
2.7.4	Photohalogenierung.....	39
2.7.5	Photosulfochlorierung	40
2.7.6	Nitrierung von Alkanen.....	40
3	Radikalische Substitution	41
3.1	Mechanismus der Chlorierung des Methans	41
3.2	Energetische Betrachtung der Photo- halogenierung	43
3.2.1	Aktivierungsenergie und Reaktionswärme	43
3.2.2	Startreaktion.....	43
3.2.3	Übergangszustände der Kettenreaktionsschritte.....	44
3.3	Reaktionsgeschwindigkeit.....	46
3.3.1	Äußere Einflüsse.....	46
3.3.2	Geschwindigkeitsbestimmender Schritt der Photohalogenierung	47
3.3.3	Relative Reaktionsgeschwindigkeiten der Photo- halogenierung	48
3.4	Regioselektivität der Monohalogenierung.....	48
3.5	Relative Stabilität von Alkyl-Radikalen	49
3.5.1	Relative Stabilität und Energiegehalt.....	49
3.5.2	Modelle zur Erklärung	50
3.6	Mechanismen weiterer radikalischer Substitutionen.....	51
4	Alkene.....	53
4.1	Nomenklatur und Konstitutionsisomerie der Alkene	53
4.2	Geometrie und Molekül-Orbital-Modell	54
4.3	Relative Konfiguration, Konfigurationsisomerie.....	55
4.3.1	(<i>Z,E</i>)-Isomere Alkene.....	55
4.3.2	Physikalische Eigenschaften von (<i>Z,E</i>)-Isomeren	56
4.4	Darstellung	57
4.4.1	Pyrolytische Dehydrierung und Spaltung von Alkanen (Cracking).....	57
4.4.2	Partielle Hydrierung von Alkinen.....	57
4.4.3	Alkenbildende β -Eliminierungen.....	58
4.4.4	Dehalogenierung von 1,2-Dihalogenalkanen	59
4.4.5	Reduktive Kupplung von Carbonyl-Verbindungen: MCMURRY-Reaktion	60
4.4.6	Carbonyl-Alkenylierungen.....	60
4.5	Reaktionen	61
4.5.1	Addition von Wasserstoff (Katalytische Hydrierung).....	61

Inhaltsverzeichnis

4.5.2	Addition von Boran (Hydroborierung).....	63
4.5.3	Addition von Halogen (Halogenierung).....	63
4.5.4	Elektrophile Addition von Halogenwasserstoff (Hydrohalogenierung).....	64
4.5.5	Elektrophile Addition von Wasser (Hydratisierung)...	64
4.5.6	Elektrophile Addition von Formaldehyd (PRINS- Reaktion).....	65
4.5.7	<i>cis</i> -Dihydroxylierung mit Osmiumtetroxid und Permanganat.....	65
4.5.8	<i>trans</i> -Dihydroxylierung über Oxirane.....	65
4.5.9	1,3-Dipolare Cycloaddition von Ozon (Ozonolyse)...	66
4.5.10	Radikalische Addition und Substitution.....	66
4.5.11	HECK-Reaktion.....	68
4.5.12	En-Reaktion.....	68
4.5.13	[2+2]-Cycloaddition.....	68
4.5.14	Metathese.....	68
4.5.15	Dimerisierung, Polymerisation.....	69
5	Eliminierung und Addition	71
5.1	Eliminierende Verbindungen, Abgangsgruppen.....	71
5.2	Mechanismen Alken-bildender Eliminierungen.....	71
5.2.1	Dehydratisierung von Alkoholen als monomolekulare β -Eliminierung.....	71
5.2.2	Umlagerungen bei Dehydratisierungen.....	74
5.2.3	Bimolekulare β -Eliminierung (E2-Mechanismus).....	76
5.3	Stereoselektivität Alken-bildender β -Eliminierungen.....	77
5.3.1	E1-Eliminierungen.....	77
5.3.2	E2-Eliminierungen.....	77
5.4	Elektrophile Addition.....	78
5.4.1	Mechanismus.....	78
5.4.2	Reaktivität der Alkene.....	79
5.4.3	Regioselektivität der Addition.....	79
5.4.4	Umlagerungen bei Additionen.....	80
5.4.5	Stereoselektivität von Additionen.....	81
6	Diene	82
6.1	Kumulation und Konjugation von Doppelbindungen.....	82
6.2	Struktur des 1,3-Butadiens.....	82
6.2.1	Strukturdaten.....	82
6.2.2	Molekülorbital-Modell, Mesomerie und thermodynamische Stabilität.....	82
6.3	Konformation des 1,3-Butadiens.....	84
6.4	Darstellung.....	85
6.4.1	Synthese konjugierter Diene.....	85
6.4.2	Synthese kumulierter Diene.....	86
6.5	Reaktionen konjugierter Diene.....	87
6.5.1	Elektrophile 1,2- und 1,4-Addition.....	87
6.5.2	Radikalische Addition.....	87
6.5.3	1,3-Dien-Polymerisation.....	88
6.5.4	[4+2]-Cycloaddition (DIELS-ALDER-Reaktion).....	88
6.5.5	[4+1]-Cycloaddition.....	88
7	Alkine	89
7.1	Nomenklatur und Konstitutionsisomerie der Alkine.....	89
7.2	Molekülgeometrie.....	89
7.3	Eigenschaften.....	89

7.4	Darstellung	90
7.4.1	Ethin-Synthesen	90
7.4.2	Doppelte Dehydrohalogenierung von Dihalogenalkanen	90
7.4.3	Doppelte Dehalogenierung von Tetrahalogenalkanen	91
7.4.4	Alkinylierung von Halogenalkanen	91
7.5	Reaktionen	91
7.5.1	CH-Acidität, Bildung von Alkynyliden	91
7.5.2	Hydrierung	92
7.5.3	Elektrophile Additionen	92
7.5.4	REPPE-Synthesen	94
7.5.5	Dimerisierung von Ethin	94
7.5.6	Cyclooligomerisierungen	95
7.5.7	BERGMAN-Cyclisierung von Endiinen	95
7.5.8	[2+2+1]-Cycloaddition (PAUSON-KHAND-Reaktion) ...	95
7.5.9	Isomerisierungen	96
7.5.10	Alkenylierung und Arylierung terminaler Alkine	96
7.5.11	Oxidationen	97
7.5.12	Oxidative Kupplung terminaler Alkine (GLASER-Kupplung)	97
7.6	Natürliche Alkine	97
8	Cycloalkane	98
8.1	Klassifizierung und Nomenklatur der Cycloalkane ...	98
8.2	Physikalische Eigenschaften	99
8.3	Konformation und Stabilität	99
8.3.1	Cyclopropan	99
8.3.2	Cyclobutan	100
8.3.3	Cyclopentan	102
8.3.4	Cyclohexan	102
8.3.5	Mittlere und große Ringe	105
8.4	Konfigurationsisomerie der Cycloalkane	105
8.4.1	Cyclopropan, Cyclobutan, Cyclopentan	105
8.4.2	Cyclohexan	106
8.4.3	<i>cis</i> - und <i>trans</i> -Decalin	107
8.5	Verbrennungswärmen	108
8.6	Cycloalkan-Synthesen	108
8.6.1	Dreiring-Synthesen	108
8.6.2	Vierring-Synthesen	110
8.6.3	Fünfring-Synthesen	111
8.6.4	Sechsring-Synthesen	111
8.6.5	Siebenring-Synthesen	113
8.6.6	Synthese mittlerer und großer Ringe	113
8.7	Reaktionen	115
8.7.1	Ringöffnungen	116
8.7.2	Ringerweiterungen	116
8.7.3	Transannulare Reaktionen mittlerer Ringe	117
8.7.4	Valenzisomerisierungen, Valenztautomere	117
8.8	Reizvolle Ringe	118
9	Benzen und Aromatizität	119
9.1	Struktur des Benzens	119
9.2	Hydrierwärme und Mesomerieenergie des Benzens	121
9.3	Valenzstrich-Formeln des Benzens	122
9.4	Molekülorbital-Modell des Benzens	123
9.5	Benzen-Formel	124
9.6	HÜCKEL-Regel	124
9.7	Aromatische Verbindungen, Überblick	126

10	Benzoide Aromaten	128
10.1	Nomenklatur benzoider Aromaten	128
10.1.1	Monosubstituierte Benzene.....	128
10.1.2	Mehrfach substituierte Benzene.....	128
10.2	Gewinnung aromatischer Kohlenwasserstoffe.....	129
10.2.1	Aus Steinkohle.....	129
10.2.2	Aus Erdöl	129
10.3	Eigenschaften.....	130
10.4	Benzen-Derivate durch elektrophile Substitution ...	130
10.4.1	Elektrophile aromatische Monosubstitution	131
10.4.2	Dipolmomente, Basizität und Reaktivität substituierter Benzene.....	131
10.4.3	Induktive Effekte von Substituenten am Benzen-Kern.....	133
10.4.4	Mesomere Effekte von Substituenten am Benzen-Kern.....	134
10.5	Regioselektivität elektrophiler Zweitsubstitutionen .	136
10.6	Darstellung von Alkylbenzenen.....	138
10.6.1	Alkylierung nach FRIEDEL-CRAFTS.....	138
10.6.2	Transalkylierung und thermodynamische Kontrolle von Alkylierungen.....	139
10.6.3	FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung	141
10.6.4	Reduktion von Alkenylbenzenen.....	142
10.6.5	Cyclotrimerisierung von Alkinen.....	142
10.6.6	Cyclokondensation von Ketonen.....	142
10.6.7	Alkylbenzen-Synthese nach WURTZ und FITTIG.....	142
10.6.8	Alkylierung über Arylmagnesiumhalogenide.....	143
10.7	Reaktionen der Alkylbenzene	143
10.7.1	Halogenierung am Kern und in der Seitenkette	143
10.7.2	Seitenketten-Halogenierung und Benzyl-Radikal ...	143
10.7.3	Triphenylmethyl-Radikal.....	144
10.7.4	Hydrierung und Oxidation.....	145
10.8	Darstellung der Alkenylbenzene	146
10.8.1	Styren-Synthese.....	146
10.8.2	Alkenylbenzene durch Eliminierung aus Phenylhalogenalkanen und Phenylalkanolen	146
10.8.3	Alkenylbenzene durch Alkylierung mit 1,3-Dienen .	147
10.9	Reaktionen der Alkenylbenzene	147
10.9.1	Elektrophile Addition an konjugierte Alkenyl- benzene.....	147
10.9.2	Radikalische Additionen an Alkenylbenzenen	148
10.9.3	Darstellung ringssubstituierter Alkenylbenzene.....	148
10.10	Darstellung der Alkylbenzene.....	148
10.11	Eigenschaften und Darstellung der Arylhalogenide.....	149
10.11.1	Physikalische Eigenschaften.....	149
10.11.2	Herstellung der Halogenaromaten	150
10.11.3	Chemische Eigenschaften von Halogenaromaten (Alkylhalogeniden).....	152
11	Substitutionen an Aromaten	154
11.1	Mechanismus elektrophiler Substitutionen an Aromaten	154
11.1.1	π -Komplex, Benzenium-Ion und Energieprofil	154
11.1.2	Nitrierung des Benzens	155
11.1.3	Sulfonierung des Benzens	156
11.1.4	Halogenierung des Benzens	157
11.1.5	Alkylierung nach FRIEDEL-CRAFTS.....	158
11.1.6	Acylierung nach FRIEDEL-CRAFTS.....	159

11.1.7	Aktivierende und deaktivierende Substituenten....	160
11.1.8	Orientierende Effekte	161
11.1.9	Darstellung mehrfach substituierter Benzene	167
11.2	Mechanismen nucleophiler Substitutionen am Aromaten.....	167
11.2.1	Nucleophile Substitutionen an Arylhalogeniden	167
11.2.2	Mechanismus der bimolekularen nucleophilen Substitution am Aromaten	169
11.2.3	Monomolekulare nucleophile Substitution am Aromaten.....	171
11.3	Eliminierungs-Additions-Mechanismus	172
11.3.1	Mechanismus der Aminierung des Brombenzens..	172
11.3.2	Weitere nucleophile Substitutionen an nicht aktivierten Aromaten	174
12	Polycyclische Aromaten	175
12.1	Nomenklatur polycyclischer Aromaten	175
12.2	Bindungszustand und Mesomerie	176
12.3	Gewinnung polycyclischer Aromaten.....	178
12.4	Typische Reaktionen.....	178
12.4.1	Elektrophile aromatische Substitutionen des Naphthalens	178
12.4.2	Oxidation des Naphthalens.....	180
12.4.3	Reduktion des Naphthalens.....	180
12.4.4	Reaktionen des Anthracens und Phenanthrens	180
12.4.5	Enzymatische Epoxidation des Benzo[a]pyrens.....	182
12.5	Ring-Synthesen (Benzoanellierungen).....	182
12.5.1	Anthrachinon-Synthese.....	182
12.5.2	HAWORTH-Synthese von Phenanthren-Derivaten...	183
12.5.3	ELBS-Reaktion	183
12.5.4	DÖTZ-Reaktion	183
12.6	Graphit und Fullerene	184
13	Halogenalkane (Alkylhalogenide)	185
13.1	Klassifizierung der Halogenalkane	185
13.2	Eigenschaften	185
13.3	Darstellung	186
13.3.1	Radikalische Halogenierung von Alkanen	186
13.3.2	Addition von Halogenwasserstoff an Alkene	187
13.3.3	Addition von Halogen an Alkene.....	187
13.3.4	Additionen an Diene.....	188
13.3.5	Addition von HX und X ₂ an Alkine.....	188
13.3.6	Halogenalkene durch Dehydrohalogenierung	188
13.3.7	Radikalische Bromierung in Allyl-Stellung durch N-Bromsuccinimid	189
13.3.8	Darstellung von Fluoralkanen	190
13.3.9	Darstellung von Iodalkanen	191
13.3.10	Halogenalkane aus Alkoholen	191
13.3.11	Bromalkane durch HUNSDIECKER- Decarboxylierung	193
13.3.12	Darstellung und Eigenschaften von Oligohalogenmethanen	193
13.4	Reaktionen	194
13.4.1	Nucleophile Substitution und Eliminierung in Konkurrenz.....	194
13.4.2	Nucleophile Substitutionen	195
13.4.3	GRIGNARD-Reaktion.....	195
13.4.4	CC-Verknüpfungen mit Organohalogen- Verbindungen	196

14	Nucleophile Substitution an Aliphaten	198
14.1	Übersicht nucleophiler Substitutionen an Aliphaten.....	198
14.2	Mechanismen	199
14.2.1	Bimolekularer Mechanismus S_N2	199
14.2.2	Monomolekularer Mechanismus S_N1	201
14.3	Struktur und Reaktivität	203
14.3.1	Effekte der Alkyl-Gruppen	203
14.3.2	Effekte der austretenden Gruppe	204
14.3.3	Nucleophilie	205
14.3.4	Lösemittelabhängigkeit.....	206
14.3.5	S_N1 - und S_N2 -Reaktionen in Konkurrenz	207
14.4	Spezielle Substitutionsmechanismen.....	208
14.4.1	Substitutionen an Allyl-Verbindungen	208
14.4.2	S_{Ni} -Mechanismus	209
14.4.3	Reaktivität von Vinyl- und Alkynyl-Verbindungen ...	209
15	Alkohole und Glykole	210
15.1	Klassifizierung der Alkohole	210
15.2	Nomenklatur	210
15.3	Struktur und thermodynamische Eigenschaften	211
15.4	Darstellung von Alkoholen.....	214
15.4.1	Technische Synthesen von Methanol und Ethanol.	214
15.4.2	Ethanol durch alkoholische Gärung	214
15.4.3	Hydratisierung von Alkenen	214
15.4.4	Hydroborierung und Oxidation	215
15.4.5	Reduktion von Carbonyl-Verbindungen	216
15.4.6	Alkohole aus Carbonyl-Verbindungen und Alkylmagnesiumhalogeniden (GRIGNARD- Verbindungen)	217
15.4.7	Alkohole aus Epoxiden und Alkylmagnesium- halogeniden	218
15.4.8	Hydrolyse von Halogenalkanen	218
15.5	Darstellung von 1,2-Diolen	219
15.5.1	Dihydroxylierung von Alkenen.....	219
15.5.2	Hydrolyse von Halohydrinen	219
15.5.3	Bimolekulare Reduktion von Aldehyden und Ketonen	220
15.6	Reaktionen der Alkohole	220
15.6.1	Alkohole als LEWIS-Basen	220
15.6.2	Alkohole als Säuren.....	221
15.6.3	Oxidation von Alkoholen.....	221
15.6.4	Veresterung von Alkoholen	222
15.6.5	Nucleophile Substitution der Hydroxy-Gruppe durch Halogen	223
15.6.6	Dehydratisierung von Alkoholen.....	225
15.7	Glykolspezifische Reaktionen	227
15.7.1	Glykolspaltung	227
15.7.2	Pinakol-Dehydratisierung und Umlagerung	228
16	Ether	229
16.1	Nomenklatur der Ether	229
16.2	Struktur und physikalische Eigenschaften	230
16.3	Darstellung.....	231
16.3.1	Bimolekulare Dehydratisierung von Alkoholen	231
16.3.2	Nucleophile Substitution von Halogenalkanen durch Alkoholate und Phenolate (WILLIAMSON-Synthese).....	232
16.3.3	Veretherung von Halogenalkanen mit Silbercarbonat.....	233

16.3.4	O-Methylierung von Alkoholen und Phenolen durch Diazomethan	233
16.3.5	Synthesen von Ethern mit GRIGNARD-Verbindungen	234
16.3.6	Alkenylether durch Addition von Alkoholen an Alkine	234
16.3.7	Enolether durch Eliminierung von Alkohol aus Acetalen.....	234
16.4	Darstellung von Epoxiden (Oxiranen)	235
16.4.1	Katalytische Oxidation von Alkenen.....	235
16.4.2	Eliminierung von Halogenwasserstoff aus Halohydrinen	235
16.4.3	Epoxidation von Alkenen mit Peroxycarbonsäuren ..	235
16.5	Reaktionen	235
16.5.1	Bildung von Oxonium-Verbindungen	235
16.5.2	Autoxidation.....	236
16.5.3	Ether-Spaltung	236
16.5.4	Ether-Umlagerungen	237
16.6	Ether als Schutzgruppen.....	238
16.7	Methylvinylether und Ethylenoxid als Schlüsselprodukte der organischen Synthese.....	239
16.7.1	Synthesen mit Methylvinylether	239
16.7.2	Synthesen mit Oxiran (Ethylenoxid).....	239
17	Carbonsäuren und ihre Derivate	240
17.1	Nomenklatur der Carbonsäuren.....	240
17.2	Wasserstoffbrücken-Bindung von Carbonsäuren...	243
17.3	Struktur der Carboxy-Gruppe.....	243
17.4	Carbonsäure-Derivate	244
17.5	Synthese von Carbonsäuren	244
17.5.1	Einführung der Carboxy-Gruppe durch Kohlenmonoxid (Carbonylierung)	244
17.5.2	Einführung der Carboxy-Gruppe durch Kohlendioxid (Carboxylierung).....	246
17.5.3	Acylierung von Aromaten mit Säureanhydriden	246
17.5.4	Carbonsäuren durch Oxidation	247
17.5.5	Hydrolyse von Carbonsäure-Derivaten.....	248
17.5.6	Homologisierung (Kettenverlängerung) von Carbonsäuren.....	248
17.5.7	Alkylierung von Malonsäureestern.....	249
17.5.8	α,β -Ungesättigte Carbonsäuren durch KNOEVENAGEL-Kondensation von Malonsäureestern	250
17.5.9	α,β -Ungesättigte Carbonsäuren durch PERKIN-Reaktion.....	250
17.6	Acidität von Carbonsäuren.....	251
17.6.1	Dissoziationsgleichgewicht in wäßrigen Lösungen	251
17.6.2	Salze der Carbonsäuren	251
17.6.3	Struktur und Modell des Carboxylat-Anions	252
17.6.4	Einflüsse von Substituenten auf die Acidität.....	252
17.6.5	Acidität von Dicarbonsäuren	254
17.7	Reaktionen der Carboxy-Gruppe	254
17.7.1	Veresterung, Ester, Lactone	254
17.7.2	Reduktion zu primären Alkoholen	255
17.7.3	Carbonsäurehalogenierung	255
17.7.4	Bildung von Säureanhydriden.....	256
17.7.5	Bildung von Säureamiden	257
17.7.6	Decarboxylierung	257
17.8	Nucleophile Substitution von Carbonsäurehalogeniden.....	258
17.8.1	Hydrolyse und Perhydrolyse	258

17.8.2	Alkoholyse	259
17.8.3	Ammonolyse und Aminolyse	259
17.8.4	Hydrazinolyse	260
17.8.5	Reaktion mit Hydroxylamin.....	260
17.8.6	Reaktion mit Alkylaziden	260
17.8.7	Katalytische Hydrierung (ROSENMUND-Reduktion)..	260
17.8.8	Carbonsäurehalogenide als Reagenzien zur C-Acylierung	261
17.9	Nucleophile Substitution von Carbonsäureestern...	261
17.9.1	Esterverseifung.....	261
17.9.2	Ammonolyse (Aminolyse) von Estern	262
17.9.3	Umesterung	262
17.9.4	Reaktion mit GRIGNARD-Verbindungen	263
17.10	Reduktion von Carbonsäureestern	263
17.10.1	Reduktion zu primären Alkoholen	263
17.10.2	Reduktive Kupplung (Acyloin-Kondensation).....	264
17.11	CH-Acidität von Carbonsäureestern, Folgereaktionen.....	265
17.11.1	C-Alkylierung von Malonestern	266
17.11.2	KNOEVENAGEL-Alkenylierung	266
17.11.3	MICHAEL-Addition.....	266
17.11.4	CLAISEN-Esterkondensation	267
17.11.5	Intramolekulare Kondensation von Diestern (DIECKMANN-Kondensation).....	267
17.12	Spezielle Reaktionen von Dicarbonsäuren und Derivaten	268
17.12.1	Thermische Decarboxylierung und Cyclokondensation.....	268
17.12.2	Bildung cyclischer Dicarbonsäureimide	269
17.12.3	Reaktionen cyclischer Dicarbonsäureimide.....	269
17.12.4	Maleinsäureanhydrid als elektronenarmes Dienophil.....	270
17.12.5	Maleinsäureanhydrid als elektronenarmes Enophil bei En-Reaktionen.....	270
18	Chiralität	271
18.1	Asymmetrische C-Atome und Chiralität	271
18.2	Optische Aktivität und spezifische Drehung.....	271
18.3	Bezeichnung der absoluten Konfiguration	272
18.3.1	CAHN-INGOLD-PRELOG-Konvention ("CIP", (R)- und (S)-Deskriptoren	272
18.3.2	FISCHER-Konvention (D- und L-Deskriptoren).....	273
18.3.3	Übersetzung der D,L- in die R,S-Deskriptoren	274
18.3.4	Racemate	275
18.4	Bestimmung der absoluten Konfiguration	275
18.5	Verbindungen mit mehreren Asymmetriezentren ...	276
18.5.1	Zwei verschiedene asymmetrische C-Atome.....	276
18.5.2	Zwei gleiche asymmetrische C-Atome.....	277
18.5.3	Enantiomere Cycloalkane	278
18.6	Enantiomere ohne asymmetrische C-Atome	279
18.6.1	Heteroatome als Asymmetriezentren.....	279
18.6.2	Axiale Chiralität.....	280
18.6.3	Planare Chiralität und Helicität	281
18.7	Racemat-Trennungen	282
18.7.1	Die klassische Methode von PASTEUR	282
18.7.2	Trennung nach Bildung von Diastereomeren	282
18.7.3	Enzymatische Racemat-Trennungen.....	284
18.7.4	Chromatographische Racemat-Trennungen.....	285
18.8	Prochiralität, Enantiotopie und Diastereotopie.....	285
18.8.1	Prochiralität am tetraedrischen C-Atom	285

18.8.2	Prochiralität am trigonalen C-Atom	286
18.9	Stereo- und Enantioselektivität von Reaktionen	287
18.9.1	Inversion, Retention und Racemisierung	287
18.9.2	Stereoselektivität, Stereospezifität	289
18.9.3	Asymmetrische (enantioselektive) Synthesen	289
19	Substituierte Carbonsäuren	293
19.1	Nomenklatur substituierter Carbonsäuren	293
19.2	Physikalische Eigenschaften und Acidität	293
19.3	Halogencarbonsäuren	295
19.3.1	Synthesen	295
19.3.2	Reaktionen	297
19.4	Hydroxycarbonsäuren	298
19.4.1	Synthesen	298
19.4.2	Reaktionen	299
19.5	Oxocarbonsäuren und ihre Ester	302
19.5.1	Synthesen	302
19.5.2	Reaktionen der Oxocarbonsäuren	303
19.5.3	Oxo-Enol-Tautomerie des Acetessigesters	306
20	Aldehyde und Ketone	308
20.1	Übersicht	308
20.2	Nomenklatur	308
20.2.1	IUPAC-Bezeichnungen	308
20.2.2	Trivialnamen	309
20.3	Molekülorbital-Modell der Carbonyl-Gruppe	309
20.4	Physikalische Eigenschaften	310
20.5	Darstellung von Aldehyden	312
20.5.1	Oxidation von Methyl- und Hydroxymethyl- Gruppen	312
20.5.2	Überführung der Halomethyl- in die Formyl- Gruppe	313
20.5.3	NEF-Reaktion	313
20.5.4	Reduktion von Carbonsäure-Derivaten und Nitrilen	314
20.5.5	Spaltung von Glykolen und Ozoniden	315
20.5.6	Hydrolyse von Sauerstoff-Heterocyclen	315
20.5.7	Formylierung von Alkenen mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff	315
20.5.8	Formylierung mit Orthoameisensäureestern	316
20.5.9	Formylierung von Aromaten durch Formanilide (VILSMEIER-Formylierung)	316
20.5.10	Formylierung von Aromaten durch Formylhalogenide	317
20.5.11	Formylierung von Aromaten durch Cyanid und Chlorwasserstoff	317
20.5.12	Formylierung von Aromaten durch Chloroform	317
20.5.13	Industrielle Verfahren zur Herstellung von Acet- und Benzaldehyd	318
20.6	Darstellung von Ketonen	318
20.6.1	Oxidation sekundärer Alkohole	318
20.6.2	Oxidation aktivierter Methylen-Gruppen	319
20.6.3	Bimolekulare Decarboxylierung und Dehydratisierung von Carbonsäuren	319
20.6.4	Addition von GRIGNARD-Verbindungen an Nitrile	319
20.6.5	Acylierung von Dialkylcadmium	320
20.6.6	Spaltung der Ozonide von Tetraalkylethenen	320
20.6.7	Acylierung von Alkenen	320
20.6.8	Acylierung von Aromaten mit Carbonsäurehalogeniden	320

Inhaltsverzeichnis

20.6.9	Acylierung von Aromaten durch Nitrile	321
20.7	Reaktivität der Carbonyl-Gruppe	321
20.8	Reaktionen von Aldehyden und Ketonen mit Basen	322
20.8.1	Bildung von Hydraten	322
20.8.2	Bildung von Acetalen und Ketalen	323
20.8.3	Addition von Hydrogensulfit	324
20.8.4	Bildung von Iminen mit Ammoniak und primären Aminen	325
20.8.5	Bildung von Hydrazonen, Azinen, Oximen und Semicarbazonen	326
20.8.6	Bildung von Enaminen mit sekundären Aminen	327
20.9	Reaktionen mit Hydrid-Anionen	328
20.9.1	Reduktion mit komplexen Metallhydriden	328
20.9.2	MEERWEIN-PONNDORF-VERLEY-Reduktion von Ketonen	328
20.9.3	CANNIZZARO-Disproportionierung aromatischer Aldehyde	328
20.10	Reaktionen mit Carbanionen und CH-Säuren	329
20.10.1	1,2-Addition von GRIGNARD-Verbindungen	329
20.10.2	Carbonyl-Alkenylierungen	330
20.10.3	Aldol-Reaktionen	331
20.10.4	Cyanhydrin-Reaktion	333
20.10.5	Benzoin- und STETTER-Reaktion der Arenaldehyde	335
20.10.6	Alkinylierung von Carbonyl-Verbindungen	336
20.10.7	PASSERINI- und UGI-Reaktionen mit Isocyaniden	336
20.10.8	Homologisierung von Aldehyden und Ketonen mit Diazomethan	337
20.10.9	KNOEVENAGEL-Alkenylierung	338
20.10.10	PERKIN-Reaktion	338
20.10.11	MANNICH-Reaktion	338
20.10.12	BAYLIS-HILLMAN-Hydroxyalkylierung	339
20.10.13	Anellierung von Cycloalkanonen	340
20.11	Oxidation und Reduktion der Carbonyl-Gruppe	340
20.11.1	Oxidation von Aldehyden	340
20.11.2	BAEYER-VILLIGER-Oxidation von Ketonen	341
20.11.3	WILLGERODT- UND WILLGERODT-KINDLER-Reaktion von Alkylarylketonen	341
20.11.4	CLEMMENSEN-Reduktion	342
20.11.5	MCMURRY-Reaktion	342
20.11.6	WOLFF-KISHNER-Reduktion	343
20.11.7	BAMFORD-STEVENSON- und SHAPIRO-Reaktion zur Synthese von Alkenen	343
20.12	CH-Acidität und Keto-Enol-Tautomerie der 1,3-Diketone	344
21	Phenole und Chinone	346
21.1	Klassifizierung der Phenole	346
21.2	Nomenklatur der Phenole	346
21.3	Physikalische Eigenschaften der Phenole	347
21.4	Darstellung von Phenolen	349
21.4.1	Technische Phenol-Synthese (HOCK-Prozeß)	349
21.4.2	Hydrolyse von Chlorbenzen-Derivaten	350
21.4.3	Katalytische Oxidation methylierter Aromaten	351
21.4.4	Alkali-Schmelze von Arensulfonaten	351
21.4.5	Phenole aus Arenaminen	352
21.4.6	Dienon-Phenol-Umlagerung	352
21.5	Mesomerie und Acidität der Phenole	352
21.5.1	Mesomerie	352

21.5.2	Acidität.....	353
21.5.3	Substituenteneinflüsse auf die Acidität.....	354
21.6	Reaktionen der Phenole.....	355
21.6.1	Veretherung.....	355
21.6.2	Veresterung.....	355
21.6.3	Phenole als Enole.....	356
21.6.4	Oxidation zu Chinonen.....	356
21.6.5	Oxidation zu Aroxyl-Radikalen und Peroxiden.....	357
21.6.6	Elektrophile Substitutionen.....	358
21.6.7	BUCHERER-Reaktion der Naphthole.....	358
21.7	Nomenklatur und einige Eigenschaften der Chinone.....	360
21.8	Darstellung von Chinonen.....	361
21.8.1	Oxidation von Phenolen und primären aromatischen Aminen.....	361
21.8.2	Oxidation von Arenen.....	362
21.8.3	FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung von Arenen durch Phthalsäureanhydrid.....	363
21.9	Reaktionen der Chinone.....	363
21.9.1	Redoxgleichgewicht Chinon-Hydrochinon.....	363
21.9.2	Additionen.....	364
21.9.3	Carbonyl-Reaktionen.....	364
21.9.4	HOOKEr-Oxidation.....	365
22	Amine	366
22.1	Amine als Derivate des Ammoniaks.....	366
22.2	Nomenklatur.....	366
22.3	Struktur und physikalische Eigenschaften.....	368
22.3.1	Geometrie und Molekülorbital-Modell.....	368
22.3.2	Inversion von Aminen.....	369
22.3.3	Enantiomere Ammonium-Salze und Amin-N-oxide.....	369
22.3.4	Physikalische Eigenschaften.....	370
22.4	Darstellung.....	372
22.4.1	Alkylierung von Ammoniak.....	372
22.4.2	Alkylierung von Kalium-Phthalimid (GABRIEL- Synthese).....	373
22.4.3	Palladium-katalysierte Aminierung von Arylhalogeniden.....	373
22.4.4	Addition von Ammoniak und Aminen an Doppelbindungen.....	374
22.4.5	Addition von Ammoniak und Aminen an Oxiran.....	374
22.4.6	Reduktion von Nitro-Verbindungen.....	375
22.4.7	Reduktion von Oximen, Nitrilen und Carbonsäureamiden.....	376
22.4.8	Reduktive Aminierung von Carbonyl- Verbindungen.....	377
22.4.9	Reduktive Alkylierung von Aminen (LEUCKART- WALLACH-Reaktion).....	378
22.4.10	Synthese primärer Amine durch Umlagerungen.....	378
22.4.11	Synthese von Benzidin-Derivaten durch Benzidin-Umlagerung.....	381
22.5	Basizität.....	382
22.5.1	Basizitätskonstante.....	382
22.5.2	Basizität aliphatischer Amine.....	383
22.5.3	Basizität aromatischer Amine.....	383
22.5.4	Substituenteneinflüsse auf die Basizität aromatischer Amine.....	384
22.6	Reaktionen.....	385
22.6.1	Bildung N-substituierter Ammonium-Salze.....	385

22.6.2	Reaktion mit salpetriger Säure	385
22.6.3	N-Oxidation	386
22.6.4	N-Halogenierung	387
22.6.5	N-Acylierung	388
22.6.6	N-Alkylierung	389
22.6.7	HOFMANN-Eliminierung von Tetraalkylammonium- hydroxiden	390
22.6.8	COPE-Eliminierung tertiärer Amin-N-oxide	391
22.6.9	Elektrophile Substitution aromatischer Amine	392
23	Organostickstoff-Verbindungen	393
23.1	Diazoalkane	393
23.1.1	Konstitution und Eigenschaften	393
23.1.2	Darstellung	393
23.1.3	Reaktionen der Diazoalkane	394
23.2	Diazocarbonsäureester	397
23.2.1	Bildung	397
23.2.2	Reaktivität	398
23.3	Diazoketone	399
23.3.1	Bildung	399
23.3.2	Reaktivität	399
23.4	Azoalkan-Derivate	400
23.4.1	Klassifizierung und Bildung	400
23.4.2	Reaktionen	400
23.5	Aryldiazonium-Salze	402
23.6	Radikalische Spaltung von Aryldiazonium-Ionen ...	402
23.6.1	Darstellung von Halogenaromaten aus Aryldiazonium-Salzen (SANDMEYER-Reaktion)	402
23.6.2	Mercurierung über Aryldiazonium-Salze (NESMEJANOW-Reaktion)	403
23.6.3	Arylierung von Aromaten durch Aryldiazonium- Salze (GOMBERG-BACHMANN-Reaktion)	403
23.7	Ionische Spaltung von Aryldiazonium-Ionen	404
23.7.1	Bildung von Phenolen über Aryldiazonium-Salze ...	404
23.7.2	Bildung von Fluorarenen aus Aryldiazonium- tetrafluorboraten (BALZ-SCHIEMANN-Reaktion)	405
23.7.3	Bildung von Arylaziden über Aryldiazonium-Salze .	405
23.7.4	Reduktion von Aryldiazonium-Salzen	405
23.8	Azo-Aromaten, Azo-Kupplung	406
23.8.1	Struktur der Azo-Arene	406
23.8.2	Darstellung von Azo-Arenen durch Azo-Kupplung .	406
23.8.3	Andere Methoden zur Darstellung aromatischer Azo-Verbindungen	410
23.9	Organostickstoff-Verbindungen, Übersicht	410
24	Organoschwefel-Verbindungen	412
24.1	Übersicht, Nomenklatur und Vorkommen	412
24.2	Thiole	412
24.2.1	Darstellung	412
24.2.2	Thermodynamische Eigenschaften	414
24.2.3	Reaktionen	415
24.3	Thiophenole	416
24.3.1	Darstellung	416
24.3.2	Reaktionen	416
24.4	Thioether (Dialkylsulfide)	417
24.4.1	Darstellung	417
24.4.2	Reaktionen	418
24.5	Disulfide	419
24.5.1	Darstellung	419
24.5.2	Reaktionen	420

24.6	Thioaldehyde, Thioketone, Thioacetale, Thioketale	420
24.7	Dithiocarbonsäuren, Thiol- und Thionsäuren	421
24.8	Sulfoxide (S-Oxide)	422
24.8.1	Darstellung	422
24.8.2	Physikalische Eigenschaften	422
24.8.3	Reaktionen	422
24.9	Sulfone (S-Dioxide)	425
24.9.1	Darstellung	425
24.9.2	Reaktionen	426
24.10	Sulfensäure-Derivate	426
24.10.1	Bildung	426
24.10.2	Reaktionen	427
24.11	Sulfinsäuren	427
24.11.1	Bildung	427
24.11.2	Stabilität, Acidität, optische Aktivität	428
24.11.3	Reaktionen	428
24.12	Sulfonsäuren	428
24.12.1	Darstellung der Säuren und ihrer Chloride	428
24.12.2	Acidität und Wasserlöslichkeit von Sulfonsäuren ...	430
24.12.3	Reaktionen der Sulfonsäuren und Sulfochloride ...	431
25	Kohlensäure-Derivate	433
25.1	Kohlensäure	433
25.2	Kohlensäurehalogenide	433
25.2.1	Phosgen	433
25.2.2	Reaktionen von Phosgen	434
25.3	Kohlensäureesterchloride	435
25.4	Kohlensäureester	436
25.5	Carbaminsäure, Urethane	436
25.6	Harnstoffe	437
25.6.1	Bildung von Harnstoff	437
25.6.2	Reaktionen von Harnstoff	438
25.6.3	Alkylharnstoffe	439
25.7	Guanidin	440
25.7.1	Basizität und Bindungszustand	440
25.7.2	Darstellung	440
25.7.3	Reaktionen	441
25.8	Kohlensäurehydrazide	441
25.8.1	Semicarbazid	442
25.8.2	Carbazide	442
25.8.3	Esterhydrazide der Kohlensäure	442
25.9	Azidokohlensäureester	442
25.10	Thiokohlensäure-Derivate	443
25.11	Dithiokohlensäure-Derivate	444
25.12	Trithiokohlensäure	444
25.13	Carbodiimide	445
26	Umlagerungen	446
26.1	Anionotrope 1,2-Verschiebungen	446
26.1.1	Allgemeine Mechanismen anionotroper 1,2-Verschiebungen (Sextett-Umlagerungen)	446
26.1.2	1,2-Verschiebungen von C zu C	447
26.1.3	1,2-Verschiebungen von C zu N über Nitrene und Nitrenium-Ionen	450
26.1.4	Verschiebungen von C zu O	451
26.2	Kationotrope 1,2-Verschiebungen über Carbanionen	452
26.2.1	FAVORSKII-Umlagerung (von C nach C)	452
26.2.2	STEVENS-Umlagerung (von N nach C)	453

Inhaltsverzeichnis

26.2.3	WITTIG-Umlagerung (von O nach C)	453
26.3	Radikalische 1,2-Verschiebungen	453
26.4	Umlagerungen an benzoiden Ringen	454
26.4.1	Umlagerungen vom S_E -Typ	454
26.4.2	Umlagerungen vom S_N -Typ	455
26.5	Sigmatrope Umlagerungen	456
26.5.1	[1,5]-sigmatrope Verschiebung	456
26.5.2	COPE-Umlagerung als [3,3]-sigmatrope Verschiebung	456
26.5.3	Hetero-COPE-Umlagerungen	457
27	Orbitalsymmetrie	
	bei konzertierten Reaktionen	458
27.1	Phasenbeziehung von p-Orbitalen	458
27.2	Elektrocyclische Reaktionen	460
27.2.1	Definitionen	460
27.2.2	WOODWARD-HOFFMANN-Regeln für elektrocyclische Reaktionen	462
27.3	Cycloadditionen	465
27.3.1	Definitionen	465
27.3.2	WOODWARD-HOFFMANN-Regeln für konzertierte Cycloadditionen	466
27.3.3	Cycloreversionen	469
27.4	Sigmatrope Reaktionen	470
27.4.1	Definitionen	470
27.4.2	WOODWARD-HOFFMANN-Regeln für sigmatrope Reaktionen	471
27.4.3	Beispiele zu den Auswahlregeln	474
27.4.4	Inversion und Retention bei sigmatropen Verschiebungen	474
27.4.5	En-Reaktion	476
28	Molekülspektroskopie zur Strukturaufklärung ..	478
28.1	Überblick	478
28.2	UV- und Lichtabsorptions-Spektrometrie	479
28.2.1	Spektralbereich	479
28.2.2	Meßmethodik	480
28.2.3	Elektronenübergänge in organischen Molekülen ..	481
28.2.4	Chromophore, Auxochrome	482
28.2.5	Lichtabsorption und Farbe	484
28.2.6	Anwendungsbereiche	485
28.3	Infrarotspektroskopie	487
28.3.1	Spektralbereich	487
28.3.2	Meßmethodik	487
28.3.3	Gruppenschwingungen in organischen Molekülen	488
28.3.4	Fingerabdruck-Bereich des Infrarotspektrums	490
28.3.5	Anwendungsbereiche	492
28.4	RAMAN-Spektroskopie	497
28.4.1	RAMAN-Streuung	497
28.4.2	RAMAN-Spektrum	497
28.4.3	Anwendung von RAMAN-Spektren	497
28.5	Kernmagnetische Resonanz	499
28.5.1	Kernpräzession und Kernspin-Zustände	499
28.5.2	NMR-Spektrometer und NMR-Spektrum	500
28.5.3	Chemische Verschiebungen	501
28.5.4	Messung chemischer Verschiebungen	501
28.5.5	Integration der Signale und quantitative Analyse ..	503
28.5.6	Konstitutionsmerkmale und Protonen- Verschiebung	504
28.5.7	Kopplungskonstanten	513

28.5.8	Strukturmerkmale und Kopplungskonstanten.....	517
28.5.9	Beispiel zur Herleitung der Konstitution aus dem $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum.....	524
28.5.10	Chemische Methoden der Signalzuordnung.....	526
28.5.11	Besondere Meßtechniken	527
28.6	Kohlenstoff-13-Resonanz.....	531
28.6.1	Wichtigste Meßmethoden	531
28.6.2	^{13}C -Verschiebungen	536
28.6.3	CH-Kopplungskonstanten	538
28.6.4	Beispiel zur Konstitutionsermittlung durch Kohlenstoff-13-Resonanz	539
28.7	Massenspektrometrie	541
28.7.1	Meßmethodik.....	541
28.7.2	Isotopenpeaks	543
28.7.3	Molekül-Peak, Molekül-Ion.....	544
28.7.4	Fragment- und metastabile Ionen	544
28.7.5	Fragmentierungen organischer Molekül-Ionen.....	545
28.7.6	Erkennung funktioneller Gruppen	551
28.7.7	Herleitung der Konstitution aus dem Massenspektrum	551
29	Photoreaktionen	555
29.1	Anregung von Photoreaktionen	555
29.1.1	Energiebedarf.....	555
29.1.2	Verhalten angeregter Moleküle	555
29.2	Photosensibilisierung	558
29.3	Quantenausbeute	559
29.4	Blitzlicht-Photolyse	560
29.5	Präparative Photochemie.....	560
29.5.1	Photoinduzierte Einführung funktioneller Gruppen ..	560
29.5.2	Photofragmentierungen.....	562
29.5.3	Photoisomerisierungen	563
29.5.4	Photodehydrocyclisierungen.....	564
29.5.5	Photoadditionen	565
29.5.6	Photocycloadditionen	566
29.5.7	Photooxidation mit und Photoaddition von Sauerstoff	569
29.5.8	Photoreduktionen	570
29.6	Biologische Photoreaktionen	571
29.6.1	Sehvorgang	571
29.6.2	Photosynthese.....	572
29.7	Chemolumineszenz.....	573
30	Nichtbenzoide Aromaten	575
30.1	Übersicht nichtbenzoider Aromaten.....	575
30.2	Cyclopropenium-Kationen.....	576
30.2.1	Synthese	576
30.2.2	Molekülorbital-Modell und Strukturmerkmale	576
30.2.3	Reaktivität.....	577
30.3	Quadratsäure und Oxokohlenstoff-Dianionen	577
30.4	Cyclopentadienid	578
30.4.1	Herstellung	578
30.4.2	Strukturmerkmale	578
30.4.3	Reaktivität.....	578
30.5	Cyloheptatrienium-Kationen.....	580
30.5.1	Strukturmerkmale und Formulierung	580
30.5.2	Herstellungsmethoden	581
30.5.3	Reaktivität.....	582
30.6	Cyclooctatetraendiid.....	583
30.6.1	Bildung.....	583

30.6.2	NMR-Daten.....	583
30.6.3	Reaktionen	583
30.7	Cyclononatetraenid	584
30.7.1	Bildung.....	584
30.7.2	NMR-Daten.....	584
30.7.3	Reaktionen	584
30.8	Vergleich der chemischen Verschiebungen.....	585
30.9	Azulen.....	585
30.9.1	Formulierung und physikalische Eigenschaften	585
30.9.2	Azulen-Synthese	586
30.9.3	Reaktionen	587
30.10	Aromatische Annulene	587
30.10.1	Definition.....	587
30.10.2	[10]-Annulen	588
30.10.3	[14]-Annulene	589
30.10.4	[18]-Annulen	591
30.10.5	Heteroüberbrückte [18]-Annulene und höhere Annulene	592
30.11	Natürliche nichtbenzoide Aromaten	593
30.11.1	Tropolone	593
30.11.2	Azulene.....	593
30.12	Antiaromatizität.....	593
31	Organosilicium-Verbindungen.....	595
31.1	Organo-Si- und C-Verbindungen im Vergleich	595
31.2	Herstellung der Silane	596
31.2.1	Halogensilane	596
31.2.2	Alkyl- und Arylsilane	597
31.3	Nucleophile Substitution am Silicium	597
31.3.1	Mechanismen	597
31.3.2	Hydrid als Nucleophil.....	598
31.3.3	Reaktionen mit Kohlenstoff-Nucleophilen	598
31.3.4	Reaktionen mit Sauerstoff-Nucleophilen.....	598
31.3.5	Reaktionen mit Stickstoff-Nucleophilen.....	600
31.3.6	Desilylierung von Alkynyl- und Arylsilanen	600
31.4	Präparative Bedeutung der Trimethylsilyl- Verbindungen	601
31.4.1	Reagenzien zur Trimethylsilylierung	601
31.4.2	Trimethylsilylazid als Ersatzreagenz	601
31.4.3	Silylenolether als Synthesereagenzien	601
31.4.4	IRELAND-CLAISEN-Umlagerung.....	603
31.4.5	SAKURAI-Reaktion der Allylsilane	604
31.4.6	PETERSON-Alkenylierung	605
31.5	Silicone	605
32	Organometall-Verbindungen.....	606
32.1	Definition und Nomenklatur	606
32.2	Bindungszustand	606
32.2.1	Übersicht.....	606
32.2.2	Molekülorbital-Modelle	607
32.3	Eigenschaften metallorganischer Verbindungen	608
32.3.1	Alkylmetalle	608
32.3.2	Metallorganische Elektronenmangel- Verbindungen	608
32.3.3	GRIGNARD-Verbindungen.....	609
32.4	Allgemeine Methoden zur Herstellung	609
32.4.1	Reaktion von Kohlenwasserstoff und Metall	609
32.4.2	Reaktion von Halogenalkan und Metall	610
32.4.3	Reaktion von Organometall-Verbindung und Metallhalogenid	610

32.4.4	Metall-Metall-Austausch.....	611
32.4.5	Halogen-Metall-Austausch.....	611
32.4.6	Wasserstoff-Metall-Austausch.....	612
32.4.7	Addition von Metallhydriden an Alkene.....	612
32.5	Reaktionen von Alkyl- und Arylmetall- Verbindungen.....	612
32.5.1	Reaktion mit Sauerstoff.....	612
32.5.2	Reaktion mit Halogen.....	612
32.5.3	Hydrolyse und Alkoholyse.....	613
32.5.4	Reaktion mit CH-Säuren.....	614
32.5.5	Reaktionen zwischen Organometall- Verbindungen.....	614
32.5.6	Reaktion mit Carbonsäurehalogeniden.....	615
32.5.7	Addition an CC-Doppelbindungen.....	615
32.5.8	Addition an CX-Doppelbindungen.....	615
32.5.9	Addition an CX-Dreifachbindungen.....	617
32.5.10	Nucleophile Öffnung von Oxiran- und Oxetan-Ringen.....	618
32.5.11	Nucleophile Substitution.....	618
32.6	Übergangsmetall-Aren- und Alken-Komplexe.....	619
32.6.1	Bindungszustand und Struktur von Metall- π -Komplexen.....	619
32.6.2	Herstellung und Eigenschaften einiger Übergangsmetall- π -Komplexe.....	620
32.6.3	CC-Verknüpfungen mit Übergangsmetall- Komplexen als Katalysatoren.....	622
32.6.4	CX-Verknüpfungen mit Palladium-Komplexen als Katalysatoren.....	625
32.7	Übergangsmetall-Carben-Komplexe.....	626
32.7.1	Konstitution.....	626
32.7.2	Herstellung.....	627
32.7.3	Reaktionen.....	627
32.8	Metallchelate.....	629
32.8.1	Bauprinzip.....	629
32.8.2	Metallchelateffekt.....	630
32.8.3	Metalltemplat-Effekt.....	631
32.8.4	Metallchelate makrocyclischer N_4 -Liganden.....	631
32.8.5	Bedeutung von Metallchelaten.....	632
33	Heteroalicyclen.....	634
33.1	Übersicht und Ring-Nomenklatur.....	634
33.2	Molekülgeometrie.....	635
33.3	Allgemeine Syntheseprinzipien.....	636
33.3.1	Intramolekulare Cyclisierungen.....	636
33.3.2	Cycloadditionen.....	638
33.3.3	Ringerweiterung von Carbocyclen durch Stickstoff.....	640
33.3.4	Katalytische Hydrierung von Heteroaromaten.....	640
33.3.5	Carbonyl-Derivatisierung.....	641
33.4	Funktionelle Reaktionen.....	641
33.4.1	Heteroatom als Nucleophil.....	641
33.4.2	Carbonyl-Umpolung durch 1,3-Dithian- Derivatisierung.....	641
33.5	Ringöffnungen.....	642
33.6	Ringöffnende Ringerweiterungen.....	643
33.7	Additionen an ungesättigte Heteroalicyclen.....	644
33.8	Komplexierung durch Kronenether und Cryptanden.....	644
33.9	Mesomerieeffekte und Aromatizität.....	645

34	Heteroaromaten	646
34.1	Nomenklatur und Übersicht der Heteroaromaten ...	646
34.1.1	Monocyclische Heteroaromaten.....	646
34.1.2	Benzokondensierte Heteroaromaten	646
34.1.3	Heterokondensierte Heteroaromaten.....	649
34.2	Tautomerie der Heteroaromaten	652
34.2.1	Tautomerie ohne Beteiligung von Substituenten ...	652
34.2.2	Tautomerie unter Beteiligung von Substituenten ...	653
34.3	Aromatizität und Struktur von Fünfring- Heteroaromaten.....	656
34.3.1	π -Elektronendichte-Verteilung	656
34.3.2	Molekülorbital-Modelle.....	657
34.3.3	Bindungsausgleich und Mesomerieenergie	658
34.4	Aromatizität und Struktur von Sechsring- Heteroaromaten.....	658
34.4.1	π -Elektronendichte-Verteilung, Mesomerie und Bindungsausgleich	658
34.4.2	Molekülorbital-Modell des Pyridins.....	659
34.4.3	Sechsring-Heterocyclen mit zweibindigen Heteroatomen	659
34.5	Synthese monocyclischer Fünfring- Heteroaromaten.....	660
34.5.1	Allgemeine Methoden.....	660
34.5.2	Spezielle Methoden	664
34.6	Synthese benzo-kondensierter Fünfring- Heteroaromaten.....	666
34.6.1	Benzo[b]furan (Cumaron).....	666
34.6.2	Benzo[b]thiophen (Thionaphthen).....	667
34.6.3	Benzo[b]pyrrol (Indol)	667
34.6.4	Benzo-1,2-azole (Indazol, Benzoisoxazol, Benzoisothiazol)	668
34.6.5	Benzo-1,3-azole (Benzimidazol, Benzoxazol, Benzothiazol).....	669
34.6.6	Benzotriazol.....	669
34.6.7	Carbazol	669
34.7	Reaktionen monocyclischer Fünfring- Heteroaromaten.....	670
34.7.1	Basizität und Reaktionen am nichtbindenden Elektronenpaar	670
34.7.2	Acidität	671
34.7.3	Dien-Reaktionen.....	672
34.7.4	Elektrophile Substitution	673
34.7.5	Nucleophile Substitutionen.....	677
34.7.6	Carben-Cycloadditionen.....	677
34.7.7	Ringöffnungen	678
34.7.8	Besondere Reaktionen von Substituenten.....	679
34.8	Reaktionen benzologer Fünfring-Heteroaromaten..	680
34.8.1	Prognose	680
34.8.2	Heteroatom-spezifische Reaktionen	681
34.8.3	Elektrophile Substitutionen.....	681
34.8.4	Cycloadditionen	682
34.8.5	Reaktionen der 2- und 3-Hydroxy-Derivate.....	683
34.9	Mesoionische Fünfring-Heteroaromaten.....	684
34.9.1	Mesoionische 1,2,3-Oxadiazol-Derivate	684
34.9.2	Mesoionische Triazol-Derivate	685
34.9.3	Mesoionische Oxazol- und Thiazol-Derivate	685
34.10	Synthese monocyclischer Sechsring- Heteroaromaten.....	686
34.10.1	Pyridin.....	686

34.10.2	Phosphor-, Sauerstoff- und Schwefel-Analoga des Pyridins.....	688
34.10.3	Diazine.....	690
34.10.4	Oxazine und Thiazine	691
34.10.5	Triazine.....	692
34.10.6	Tetrazine.....	693
34.11	Synthese benzo-kondensierter Pyridine und Azine.....	693
34.11.1	Chinoline (Benzo[b]pyridine	693
34.11.2	Isochinoline (Benzo[c]pyridine)	694
34.11.3	Benzochinoline	695
34.11.4	Benzopyridazine.....	696
34.11.5	Chinazoline.....	696
34.11.6	Chinoxaline und Phenazine	697
34.11.7	Benzopyrone und Benzopyrylium-Salze.....	697
34.11.8	Phenoxazine und Phenothiazine	699
34.12	Reaktionen monocyclischer Sechsring- Heteroaromaten	699
34.12.1	Reaktionen am Imino-Stickstoff	699
34.12.2	Cycloadditionen.....	701
34.12.3	Nucleophile Additionen, Ringöffnungen, Umheterocyclisierungen.....	702
34.12.4	Nucleophile Substitutionen.....	703
34.12.5	Elektrophile Substitutionen.....	704
34.12.6	Besondere Reaktionen von Substituenten	706
34.13	Reaktionen benzologer Sechsring- Heteroaromaten	708
34.13.1	Reaktionen am Ring-Stickstoff.....	708
34.13.2	Katalytische Hydrierung und oxidative Ringöffnung	708
34.13.3	Nucleophile Additionen	708
34.13.4	Nucleophile Substitutionen.....	709
34.13.5	Elektrophile Substitutionen.....	710
34.13.6	CH-Acidität und andere Reaktionen von Methyl-Gruppen.....	711
34.14	Heterokondensierte Heteroaromaten.....	712
34.14.1	Heterobicyclen mit Stickstoff als Brückenkopf	712
34.14.2	Purine	713
34.14.3	Pteridine	715
34.15	Reaktionen heterokondensierter Heteroaromaten .	716
34.15.1	Basizität und Acidität.....	716
34.15.2	Ringspaltungen	716
34.15.3	Nucleophile Additionen	717
34.15.4	Nucleophile Substitutionen.....	718
34.15.5	Elektrophile Substitutionen.....	718
34.15.6	CH-Acidität von Methyl-Gruppen	718
34.16	Höhergliedrige Heterocyclen und Heteroaromaten	718
34.16.1	Ringvinyloge der Fünfring-Heteroaromaten.....	718
34.16.2	Ringvinyloge des Pyridins	721
35	Organische Farbstoffe	723
35.1	Farbe, Farbstoffe, Pigmente	723
35.1.1	Absorbiertes Licht und Farbe.....	723
35.1.2	Farbstoffe und Pigmente.....	723
35.2	Bauprinzip von Farbstoffen	723
35.3	Azofarbstoffe	725
35.3.1	Tautomerie	725
35.3.2	Herstellung	725
35.3.3	Methoden der Textilfärbung mit Azofarbstoffen.....	726
35.4	Polymethin-Farbstoffe	731

35.4.1	Bauprinzip.....	731
35.4.2	Ausgewählte Methoden zur Herstellung	732
35.4.3	Anwendung von Polymethin-Farbstoffen	733
35.4.4	Natürliche Polymethin-Farbstoffe	735
35.5	Phenyloge Methin- und Azamethin-Farbstoffe.....	736
35.5.1	Übersicht.....	736
35.5.2	Allgemeine Methoden zur Herstellung	736
35.5.3	Anwendung phenyloger Methin- und Azamethin- Farbstoffe.....	740
35.5.4	Natürliche Phenoxazin-Farbstoffe	741
35.6	Carbonyl-Farbstoffe.....	742
35.6.1	Übersicht.....	742
35.6.2	Lichtabsorption der Carbonyl-Farbstoffe.....	742
35.6.3	Synthese von Anthrachinon-Farbstoffen.....	744
35.6.4	Indigo-Synthesen.....	746
35.6.5	Textilfärbung mit Indigo- und Anthrachinon- Derivaten	747
35.6.6	Höher anellierte Carbonyl-Farbstoffe	748
35.6.7	Natürliche Carbonyl-Farb- und Wirkstoffe.....	749
35.7	Polyaza[18]annulen-Farbstoffe	750
35.7.1	Bauprinzip	750
35.7.2	Mesomerie der Porphyrine und ihrer Metallchelate	750
35.7.3	Porphyrin-Synthesen.....	751
35.7.4	Phthalocyanin-Synthesen.....	752
35.7.5	Färbung mit Phthalocyanin-Derivaten.....	753
35.7.6	Natürliche Porphyrinoide	754
36	Synthetische Polymere	755
36.1	Monomere, Oligomere, Polymere	755
36.2	Polymerisationen	755
36.2.1	Übersicht.....	755
36.2.2	Radikalische Polymerisation	756
36.2.3	Ionische Polymerisation	758
36.2.4	Koordinative Polymerisation.....	759
36.2.5	Polymerisation durch Alken-Metathese.....	761
36.2.6	Epoxid-Polymerisation.....	761
36.2.7	Hetero- und Homopolymere	761
36.2.8	Uni- und Multipolymere	762
36.3	Polyadditionen	763
36.3.1	Polyurethane	763
36.3.2	Polyharnstoffe.....	764
36.4	Polykondensationen	764
36.4.1	Polyester.....	764
36.4.2	Polyamide	765
36.4.3	Phenoplaste.....	766
36.4.4	Aminoplaste.....	767
36.4.5	Epoxidharze.....	768
36.5	Molekülstruktur von Polymeren	768
36.5.1	Mittlere Molekülmasse.....	768
36.5.2	Stellungsisomerie	769
36.5.3	Verzweigungsgrad.....	769
36.5.4	Relative Konfigurationsisomerie von Polyalkenen..	770
36.5.5	Taktizität von Polyalkanen.....	770
36.5.6	Rotationsisomerie.....	771
36.6	Anwendungstechnisch relevante Eigenschaften	772
36.6.1	Kristallinität	772
36.6.2	Plastizität	774
36.6.3	Elastizität	774
36.6.4	Löslichkeit und Quellbarkeit	774

36.7	Reaktionen von Polymeren.....	774
36.7.1	Depolymerisationen	774
36.7.2	Reaktionen unter Erhaltung der Polymerkette	775
36.8	Funktionelle Polymere.....	776
36.8.1	Ionenaustauscher.....	776
36.8.2	Elektronenaustauscher	777
36.8.3	Elektrolumineszente Polymere	777
36.8.4	Makromolekulare Chelatbildner	778
36.8.5	Dendrimere.....	778
36.8.6	Polymere Träger	780
36.9	Anwendungsformen der Polymeren	781
37	Aminosäuren	784
37.1	Proteinaminosäuren.....	784
37.2	Physiologische Bedeutung.....	786
37.3	Absolute Konfiguration.....	786
37.4	Physikalische Eigenschaften	787
37.4.1	Dissoziationsgleichgewichte	787
37.4.2	Schmelzpunkt und Löslichkeit.....	789
37.5	Chromatographische Trennung.....	789
37.5.1	Ionenaustausch-Chromatographie im Aminosäuren-Analysator	789
37.5.2	Kapillarzonen-Elektrophorese.....	791
37.5.3	Gaschromatographie.....	792
37.6	Synthesen	792
37.6.1	STRECKER-Synthese.....	792
37.6.2	BUCHERER-Synthese	793
37.6.4	ERLENMEYER-Synthese	793
37.6.3	Aminierung von α -Halogencarbonsäuren.....	794
37.6.5	Reduktive Aminierung von α -Oxodicarbonsäuren..	795
37.6.6	α -Aminosäuren aus <i>N</i> - Acylaminomalonsäureestern.....	795
37.6.7	Enantioselektive Synthese von Aminosäuren	796
37.7	Racemattrennung.....	797
37.7.1	Selektive Kristallisation	797
37.7.2	Trennung von Diastereomeren	797
37.7.3	Enzymatische Methoden.....	797
37.7.4	Chromatographische Enantiomeren-Analyse.....	799
37.8	Reaktionen	799
37.8.1	Bildung von Salzen und Komplexen.....	799
37.8.2	Veresterung.....	800
37.8.3	Bildung von Lactamen.....	801
37.8.4	<i>N</i> -Alkylierung und <i>N</i> -Arylierung.....	801
37.8.5	<i>N</i> -Acylierung.....	802
37.8.6	Abbau-Reaktionen und Umfunktionierungen.....	803
37.8.7	Aminosäure-Derivate als chirale Auxiliare	804
38	Peptide und Proteine	805
38.1	Oligo- und Polypeptide.....	805
38.2	Struktur der Peptidbindung	806
38.3	Konformation (Sekundärstruktur) von Polypeptid-Ketten.....	806
38.3.1	RAMACHANDRAN-Diagramme	806
38.3.2	α -Helix.....	808
38.3.3	α -Keratin-Struktur	809
38.3.4	β -Faltblatt	811
38.3.5	Physikalische Methoden zur Strukturbestimmung..	812
38.4	Methoden der Peptidsynthese	813
38.4.1	Knüpfung der Peptidbindung	813
38.4.2	Schutzgruppen	815

Inhaltsverzeichnis

38.4.3	Strategie und Taktik der Peptidsynthese	820
38.4.4	Kombinatorische Synthese.....	822
38.5	Methoden der Peptid-Sequenzierung	823
38.5.1	Reinigung von Peptiden	823
38.5.2	Selektive Spaltungen von Peptidketten.....	824
38.5.3	Endgruppenanalyse.....	825
38.5.4	Schrittweiser Abbau nach EDMAN.....	826
38.6	Modifizierung von Seitenkettenfunktionen	826
38.7	Ausgewählte Peptidwirkstoffe	828
38.7.1	Peptidhormone	828
38.7.2	Peptidantibiotika	832
38.7.3	Peptidtoxine	834
38.8	Proteine	835
38.8.1	Klassifizierung und Funktion von Proteinen.....	835
38.8.2	Enzymaktivitätsbestimmungen.....	836
38.8.3	Struktur der Proteine Myoglobin und Lysozym	837
38.8.4	Enzym-Substrat-Wechselwirkung	839
39	Alkaloide	842
39.1	Herkunft und Gewinnung der Alkaloide.....	842
39.2	Übersicht heterocyclischer Alkaloide	843
39.2.1	Pyrrolidin-, Piperidin- und Pyridin-Alkaloide	843
39.2.2	Tropan-Alkaloide	843
39.2.3	Pyrrrolizidin-, Indolizidin- und Chinolizidin- Alkaloide	844
39.2.4	Indol-Alkaloide	845
39.2.5	Isochinolin-Alkaloide.....	847
39.2.6	Chinolin-Alkaloide	850
39.2.7	Isoxazol- und Oxazol-Alkaloide	851
39.3	Übersicht nicht heterocyclischer Alkaloide.....	851
39.3.1	Phenylethylamine	851
39.3.2	Amide und Lactame biogener Amine	852
39.3.3	Cyclopeptid-Alkaloide	852
39.4	Zur Biogenese der Alkaloide in Pflanzen	853
39.4.1	Aminosäuren als biogenetische Vorstufen der Alkaloide	853
39.4.2	Biogenese der Isochinolin-Alkaloide im Schlafmohn.....	853
39.5	Exemplarische Alkaloid-Synthesen.....	855
39.5.1	Nicotin und Coniin	855
39.5.2	Tropan	856
39.5.3	Tryptamine.....	856
39.5.4	Benzyltetrahydroisochinoline.....	857
40	Kohlenhydrate	858
40.1	Bedeutung, Klassifizierung und Nomenklatur der Zucker.....	858
40.1.1	Bedeutung	858
40.1.2	Klassifizierung und Nomenklatur.....	858
40.2	Konstitution, relative und absolute Konfiguration....	860
40.3	Cyclohalbacetal-Formen und Konformation.....	863
40.3.1	Halbacetal-Bildung	863
40.3.2	Gleichgewichte der Pyranosen und Furanosen	866
40.3.3	Mutarotation	867
40.3.4	Konformation der Pyranosen und anomerer Effekt	868
40.3.5	NMR-Spektroskopie	869
40.4	Carbonyl-Reaktionen der Kohlenhydrate.....	870
40.4.1	Kettenverlängerung	871
40.4.2	Reduktion zu Polyolen.....	872

40.4.3	Oxidation endständiger Gruppen	873
40.4.4	Glycosidierungen.....	875
40.4.5	Reaktionen mit Thiolen und Stickstoff- Nucleophilen.....	877
40.5	Polyol-Reaktionen	879
40.5.1	Schutzgruppen für die Hydroxy-Funktionen	879
40.5.2	Oxidation von Hydroxy-Gruppen.....	881
40.5.3	Nucleophile Substitutionen.....	882
40.5.4	Glykospaltung und andere Abbaureaktionen.....	883
40.6	Deoxy-, Amino-, ungesättigte und verzweigte Zucker	884
40.6.1	Deoxyzucker.....	884
40.6.2	Aminozucker.....	884
40.6.3	Verzweigte und ungesättigte Zucker.....	885
40.7	Analytik.....	886
40.8	Oligosaccharide.....	887
40.8.1	Disaccharide.....	887
40.8.2	Trisaccharide, Cyclodextrine.....	889
40.9	Polysaccharide	890
40.9.1	Struktur der Cellulose.....	890
40.9.2	Technische Gewinnung und chemische Modifikation der Cellulose	890
40.9.3	Stärke, Amylose und Amylopektin	891
40.9.4	Glycogen	892
40.9.5	Chitin	893
40.9.6	Heparin, Hyaluronsäure, Chondroitinsulfate.....	893
40.9.7	Inulin und Pektine.....	894
41	Nucleoside, Nucleotide, Nucleinsäuren	895
41.1	Bauprinzip der Nucleinsäuren.....	895
41.2	Abbau der Nucleinsäuren.....	898
41.2.1	Bedingungen der Hydrolyse von Nucleosiden und Nucleotiden	898
41.2.2	Enzymatische Spaltung von Polynucleotiden.....	899
41.3	Eigenschaften von Nucleosiden und Nucleotiden ..	899
41.3.1	Eigenschaften der Phosphat-Gruppe.....	899
41.3.2	Löslichkeit.....	900
41.3.3	Tautomerie-Gleichgewichte	900
41.3.4	Dissoziationsverhalten von Nucleotiden	901
41.3.5	Bildung von Basenpaaren und Komplementärprinzip	901
41.3.6	Die Doppelhelix der DNA	902
41.3.7	Detektion der DNA-Denaturierung durch UV-Spektroskopie	904
41.3.8	Seltene Basen und RNA-Konformation	906
41.4	Replikation der DNA.....	907
41.5	DNA, RNA und die Biosynthese der Proteine.....	908
41.6	Nucleosid- und Nucleotid-Synthesen.....	909
41.6.1	Synthese von Nucleosiden	909
41.6.2	Phosphorylierungen	910
41.6.3	Synthese von Nucleotiden	912
41.6.4	Synthese von Oligonucleotiden	913
41.6.5	Phosphorsäuretriester-Methode zur Synthese von Gen-Fragmenten.....	914
41.6.6	Phosphoramidit-Methode an der Festphase.....	915
41.7	Telomere und Carcinogene.....	916
42	Lipide	917
42.1	Klassifizierung der Lipide	917
42.2	Vorkommen und Isolierung	918

42.2.1	Vorkommen	918
42.2.2	Isolierung und Identifizierung	918
42.3	Wechselwirkungen von Lipiden mit Wasser	919
42.4	Fettsäuren	920
42.4.1	Vorkommen und Struktur wichtiger Fettsäuren.....	920
42.4.2	Physikalische Eigenschaften.....	922
42.4.3	Chemische Eigenschaften.....	923
42.4.4	Analytik der Fettsäuren	925
42.5	Wachse.....	928
42.6	Phosphatide, Glycolipide, Aminolipide.....	929
42.6.1	Phosphatide.....	929
42.6.2	Sphingolipide und Glycolipide	929
42.6.3	Lipopolysaccharide und Lipoproteine	931
42.7	Lipid-Membranen.....	932
42.7.1	Lipid-Doppelschichten.....	933
42.7.2	Aufbau biologischer Lipid-Membranen.....	935
42.8	Industrielle Synthese von Detergentien	936
42.8.1	Alkylbenzensulfonate	936
42.8.2	Langkettige Alkylsulfate und andere Tenside	938
43	Terpene	940
43.1	Herkunft, Bauprinzip und Biogenese der Terpene..	940
43.1.1	Begriff, Bauprinzip, Klassifizierung.....	940
43.1.2	Vorkommen, Bedeutung.....	941
43.1.3	Biogenese.....	942
43.2	Übersicht der Terpene.....	944
43.2.1	Hemi- und Monoterpene.....	944
43.2.2	Sesquiterpene	947
43.2.3	Diterpene	949
43.2.4	Sesterterpene	951
43.2.5	Triterpene	951
43.2.6	Tetraterpene (Carotenoide).....	955
43.2.7	Prenylchinone.....	955
43.2.8	Polyterpene	957
43.3	Exemplarische Terpen-Synthesen.....	957
43.3.1	Acyliche Mono- und Sesquiterpene.....	957
43.3.2	Cyclische Monoterpene.....	959
43.3.3	Hexahydrocannabinol.....	960
43.3.4	Industrielle Synthese des Diterpens Vitamin A.....	961

44	Steroide	964
44.1	Stammgerüste und Nomenklatur der Steroide	964
44.2	Sterole	966
44.3	Gallensäuren	966
44.4	Steroidhormone	968
44.4.1	Corticosteroide (Pregnane)	968
44.4.2	Sexualhormone (Pregnan-, Androstan- und Estran-Derivate)	969
44.4.3	Steroid-Duftstoffe (Androst-16-en-Derivate)	970
44.5	Herzglycoside	971
44.6	Steroidsaponine	972
44.7	Steroidalkaloide	972
44.8	Exemplarische Steroidsynthese	974
44.8.1	Retrosynthetische Zerlegung des Estrons	974
44.8.2	Synthese des Estronmethylethers	974
	 Bibliographie	 976
	 Sachregister	 980
	 Verzeichnis der Reaktionen nach NAMEN und <i>Begriffen</i>	 1025