

Inhaltsverzeichnis

1	Chemische Bindung in organischen Molekülen	1	2.5	Industrielle Gewinnung der Alkane	31
1.1	Einführung	1	2.5.1	Alkane aus Erdgas, Erdöl und Kohle	31
1.2	Energie	1	2.5.2	Treibstoffherstellung	32
1.3	Atomorbitale	2	2.6	Darstellung	33
1.3.1	s-Orbitale	2	2.6.1	Katalytische Hydrierung der Alkene	33
1.3.2	p-Orbitale	3	2.6.2	Reduktion von Halogenalkanen	33
1.3.3	Elektronenspin und PAULI-Prinzip	4	2.6.3	Alkylierung metallorganischer Verbindungen	34
1.3.4	Elektronenkonfiguration leichter Atome	4	2.6.4	KOLBE-Elektrolyse	35
1.4	Molekülorbitale und kovalente Bindung	5	2.7	Reaktionen	35
1.4.1	Arten der chemischen Bindung	5	2.7.1	Vollständige Oxidation (Verbrennung)	36
1.4.2	Überlappung von Atomorbitalen	5	2.7.2	Partielle Oxidation	37
1.4.3	σ - und π -Molekülorbitale	7	2.7.3	Autoxidation	37
1.5	Bindungsdaten	8	2.7.4	Photohalogenierung	38
1.6	Hybridisierung der Atomorbitale des Kohlenstoffs	8	2.7.5	Photosulfochlorierung	39
1.7	Kovalente Bindung in einfachen organischen Molekülen	11	2.7.6	Nitrierung von Alkanen	39
1.7.1	CH-Bindungen des Methans	11	3	Radikalische Substitution	40
1.7.2	CC-Einfachbindung	11	3.1	Mechanismus der Chlorierung des Methans	40
1.7.3	CC-Doppelbindung	12	3.2	Energetische Betrachtung der Photo- halogenierung	42
1.7.4	CC-Dreifachbindung	13	3.2.1	Übergangszustand, Aktivierungsenergie und Reaktionswärme	42
1.8	Reaktive Zwischenstufen	14	3.2.2	Startreaktion	43
1.8.1	Methyl-Radikal	14	3.2.3	Übergangszustände der Kettenreaktionsschritte	44
1.8.2	Methyl-Ionen	15	3.3	Reaktionsgeschwindigkeit	46
1.8.3	Carbene	16	3.3.1	Äußere Einflüsse	46
1.9	Bindung in Ammoniak und Wasser	17	3.3.2	Geschwindigkeitsbestimmender Schritt der Photohalogenierung	47
1.10	Polarität kovalenter Bindungen	17	3.3.3	Relative Reaktionsgeschwindigkeiten der Photo- halogenierung	47
1.10.1	Elektronegativität	17	3.4	Regioselektivität der Monohalogenierung	47
1.10.2	Dipolmomente von Molekülen	17	3.5	Relative Stabilität von Alkyl-Radikalen	48
1.10.3	Polarität von Verbindungen	18	3.5.1	Relative Stabilität und Energiegehalt	48
1.11	Interionische und intermolekulare Wechsel- wirkungen	19	3.5.2	Modelle zur Erklärung	49
1.11.1	Interionische Wechselwirkung	19	3.6	Mechanismen weiterer radikalischer Substitutionen	50
1.11.2	Dipol-Dipol-Wechselwirkung und Wasserstoffbrücken	19	4	Alkene	52
1.11.3	Ionen-Dipol-Wechselwirkung	20	4.1	Nomenklatur und Konstitutionsisomerie der Alkene	52
1.11.4	VAN-DER-WAALS-Wechselwirkung	20	4.2	Geometrie und Molekül-Orbital-Modell	53
1.12	Physikalische Eigenschaften, Acidität und Basizität	21	4.3	Relative Konfiguration, Konfigurationsisomerie	53
1.12.1	Kristallgitter	21	4.3.1	(Z,E)-Isomere Alkene	53
1.12.2	Schmelzpunkt, Siedepunkt, Löslichkeit	21	4.3.2	Physikalische Eigenschaften von (Z,E)-Isomeren	55
1.12.3	Säuren und Basen, Elektrophile und Nucleophile	22	4.4	Darstellung	56
2	Alkane	23	4.4.1	Pyrolytische Dehydrierung und Spaltung von Alkanen (Cracking)	56
2.1	Homologe Reihe, Konstitution, Nomenklatur	23	4.4.2	Partielle Hydrierung von Alkinen	56
2.1.1	Homologe Reihe	23	4.4.3	Alken-bildende β -Eliminierungen	56
2.1.2	Molekülmodelle	23	4.4.4	Reduktive Dehalogenierung von α,β - Dihalogenalkanen	58
2.1.3	Molekülschreibweisen	24			
2.1.4	Konstitutionsisomerie	25			
2.1.5	Nomenklatur	26			
2.2	Physikalische Eigenschaften	28			
2.3	Molekülbau	29			
2.4	Konformation	29			

4.4.5	Reduktive Kupplung von Carbonyl-Verbindungen: MCMURRY-Reaktion.....	59	6.5.4	[4+2]-Cycloaddition (DIELS-ALDER-Reaktion).....	88
4.4.6	Carbonyl-Alkenylierungen	59	6.5.5	[4+1]-Cycloaddition.....	88
4.5	Reaktionen.....	60	7	Alkine	89
4.5.1	Addition von Wasserstoff (Katalytische Hydrierung).....	60	7.1	Nomenklatur und Konstitutionsisomerie der Alkine ..	89
4.5.2	Addition von Boran (Hydroborierung).....	62	7.2	Molekülgeometrie	89
4.5.3	Addition von Halogen (Halogenierung)	62	7.3	Eigenschaften.....	89
4.5.4	Elektrophile Addition von Halogenwasserstoff (Hydrohalogenierung).....	63	7.4	Darstellung	90
4.5.5	Elektrophile Addition von Wasser (Hydratisierung)...	63	7.4.1	Ethin-Synthesen	90
4.5.6	Elektrophile Addition von Formaldehyd (PRINS- Reaktion)	64	7.4.2	Doppelte Dehydrohalogenierung von Dihalogenalkanen.....	90
4.5.7	<i>cis</i> -Dihydroxylierung mit Osmiumtetroxid und Permanganat	64	7.4.3	Doppelte Dehalogenierung von Tetrahalogenalkanen.....	90
4.5.8	<i>trans</i> -Dihydroxylierung über Oxirane	64	7.4.4	Alkinylierung von Halogenalkanen.....	91
4.5.9	1,3-Dipolare Cycloaddition von Ozon (Ozonolyse)...	65	7.5	Reaktionen	91
4.5.10	Radikalische Addition und Substitution.....	65	7.5.1	CH-Acidität, Bildung von Alkinyliiden.....	91
4.5.11	HECK-Reaktion.....	67	7.5.2	Hydrierung	91
4.5.12	En-Reaktion	67	7.5.3	Elektrophile Additionen.....	92
4.5.13	[2+2]-Cycloaddition.....	67	7.5.4	REPPE-Synthesen	94
4.5.14	Metathese	67	7.5.5	Dimerisierung von Ethin	95
4.5.15	Dimerisierung, Polymerisation.....	68	7.5.6	Cyclooligomerisierungen	95
5	Eliminierung und Addition	70	7.5.7	BERGMAN-Cyclisierung von Endiinen	95
5.1	Eliminierende Verbindungen, Abgangsgruppen	70	7.5.8	[2+2+1]-Cycloaddition (PAUSON-KHAND-Reaktion) ...	95
5.2	Mechanismen Alken-bildender Eliminierungen.....	70	7.5.9	Isomerisierungen.....	96
5.2.1	Dehydratisierung von Alkoholen als monomolekulare β -Eliminierung	70	7.5.10	Alkenylierung und Arylierung terminaler Alkine	96
5.2.2	Umlagerungen bei Dehydratisierungen.....	73	7.5.11	Oxidationen	97
5.2.3	Bimolekulare β -Eliminierung (E2-Mechanismus).....	75	7.5.12	Oxidative Kupplung terminaler Alkine (GLASER-Kupplung)	97
5.3	Stereoselektivität Alken-bildender β -Eliminierungen.....	76	7.6	Natürliche Alkine.....	97
5.3.1	E1-Eliminierungen	76	8	Cycloalkane	98
5.3.2	E2-Eliminierungen	76	8.1	Klassifizierung und Nomenklatur der Cycloalkane ...	98
5.4	Elektrophile Addition.....	78	8.2	Physikalische Eigenschaften.....	99
5.4.1	Mechanismus.....	78	8.3	Konformation und Stabilität	99
5.4.2	Reaktivität der Alkene.....	78	8.3.1	Cyclopropan	99
5.4.3	Regioselektivität der Addition	78	8.3.2	Cyclobutan.....	100
5.4.4	Stereospezifität von Additionen.....	79	8.3.3	Cyclopentan.....	102
5.4.5	Umlagerungen bei Additionen.....	80	8.3.4	Cyclohexan	102
6	Diene	81	8.3.5	Mittlere und große Ringe	105
6.1	Kumulation und Konjugation von Doppelbindungen	81	8.4	Konfigurationsisomerie der Cycloalkane.....	105
6.2	Struktur des 1,3-Butadiens.....	81	8.4.1	Cyclopropan, Cyclobutan, Cyclopentan	105
6.2.1	Strukturdaten	81	8.4.2	Cyclohexan	106
6.2.2	Molekülorbital-Modell, Mesomerie und thermodynamische Stabilität	81	8.4.3	<i>cis</i> - und <i>trans</i> -Decalin	107
6.2.3	Konformation	83	8.5	Verbrennungswärmen.....	108
6.3	Struktur kumulierter Diene und Triene	84	8.6	Cycloalkan-Synthesen.....	108
6.4	Darstellung.....	85	8.6.1	Dreiring-Synthesen	108
6.4.1	Synthese konjugierter Diene	85	8.6.2	Vierring-Synthesen	110
6.4.2	Synthese kumulierter Diene	86	8.6.3	Fünfring-Synthesen	111
6.5	Reaktionen konjugierter Diene	87	8.6.4	Sechsring-Synthesen	111
6.5.1	Elektrophile 1,2- und 1,4-Addition	87	8.6.5	Siebenring-Synthesen	113
6.5.2	Radikalische Addition	87	8.6.6	Synthese mittlerer und großer Ringe	113
6.5.3	1,3-Dien-Polymerisation	88	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	11	Substitutionen an Aromaten	154
9.1	Struktur des Benzens.....	119	11.1	Mechanismus elektrophiler Substitutionen an Aromaten.....	154
9.2	Hydrierwärme und Mesomerieenergie des Benzens.....	121	11.1.1	π -Komplex, Benzenium-Ion und Energieprofil.....	154
9.3	Valenzstrich-Formeln des Benzens.....	122	11.1.2	Nitrierung des Benzens.....	155
9.4	Molekülorbital-Modell des Benzens.....	123	11.1.3	Sulfonierung des Benzens.....	156
9.5	Benzen-Formel.....	124	11.1.4	Halogenierung des Benzens.....	157
9.6	HÜCKEL-Regel.....	124	11.1.5	Alkylierung nach FRIEDEL-CRAFTS.....	158
9.7	Aromatische Verbindungen, Überblick.....	126	11.1.6	Acylierung nach FRIEDEL-CRAFTS.....	159
			11.1.7	Aktivierende und desaktivierende Substituenten.....	160
			11.1.8	Orientierende Effekte.....	161
			11.1.9	Darstellung mehrfach substituierter Benzene.....	167
10	Benzoide Aromaten	128	11.2	Mechanismen nucleophiler Substitutionen am Aromaten.....	167
10.1	Nomenklatur benzoider Aromaten.....	128	11.2.1	Nucleophile Substitutionen an Arylhalogeniden.....	167
10.1.1	Monosubstituierte Benzene.....	128	11.2.2	Mechanismus der bimolekularen nucleophilen Substitution am Aromaten.....	169
10.1.2	Mehrfach substituierte Benzene.....	128	11.2.3	Monomolekulare nucleophile Substitution am Aromaten.....	171
10.2	Gewinnung aromatischer Kohlenwasserstoffe.....	129	11.3	Eliminierungs-Additions-Mechanismus.....	172
10.2.1	Aus Steinkohle.....	129	11.3.1	Mechanismus der Aminierung des Brombenzens.....	172
10.2.2	Aus Erdöl.....	129	11.3.2	Weitere nucleophile Substitutionen an nicht aktivierten Aromaten.....	174
10.3	Eigenschaften.....	130			
10.4	Benzen-Derivate durch elektrophile Substitution.....	130	12	Polycyclische Aromaten	175
10.4.1	Elektrophile aromatische Monosubstitution.....	131	12.1	Nomenklatur polycyclischer Aromaten.....	175
10.4.2	Dipolmomente, Basizität und Reaktivität substituierter Benzene.....	131	12.2	Bindungszustand und Mesomerie.....	176
10.4.3	Induktive Effekte von Substituenten am Benzen-Kern.....	133	12.3	Gewinnung polycyclischer Aromaten.....	178
10.4.4	Mesomere Effekte von Substituenten am Benzen-Kern.....	134	12.4	Typische Reaktionen.....	178
10.5	Regioselektivität elektrophiler Zweitsubstitutionen.....	136	12.4.1	Elektrophile aromatische Substitutionen des Naphthalens.....	178
10.6	Darstellung von Alkylbenzenen.....	138	12.4.2	Oxidation des Naphthalens.....	180
10.6.1	Alkylierung nach FRIEDEL-CRAFTS.....	138	12.4.3	Reduktion des Naphthalens.....	180
10.6.2	Transalkylierung und thermodynamische Kontrolle von Alkylierungen.....	139	12.4.4	Reaktionen des Anthracens und Phenanthrens.....	180
10.6.3	FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung.....	141	12.4.5	Enzymatische Epoxidation des Benzo[a]pyrens.....	182
10.6.4	Reduktion von Alkenylbenzenen.....	142	12.5	Ring-Synthesen (Benzoanellierungen).....	182
10.6.5	Cyclotrimerisierung von Alkinen.....	142	12.5.1	Anthrachinon-Synthese.....	182
10.6.6	Cyclokondensation von Ketonen.....	142	12.5.2	HAWORTH-Synthese von Phenanthren-Derivaten.....	183
10.6.7	Alkylbenzen-Synthese nach WURTZ und FITTIG.....	142	12.5.3	ELBS-Reaktion.....	183
10.6.8	Alkylierung über Arylmagnesiumhalogenide.....	143	12.5.4	DÖTZ-Reaktion.....	183
10.7	Reaktionen der Alkylbenzene.....	143	12.6	Graphit und Fullerene.....	184
10.7.1	Halogenierung am Kern und in der Seitenkette.....	143			
10.7.2	Seitenketten-Halogenierung und Benzyl-Radikal.....	143	13	Halogenalkane (Alkylhalogenide)	185
10.7.3	Triphenylmethyl-Radikal.....	144	13.1	Klassifizierung der Halogenalkane.....	185
10.7.4	Reduktion (Hydrierung) und Oxidation.....	145	13.2	Eigenschaften.....	185
10.8	Darstellung der Alkenylbenzene.....	146	13.3	Darstellung.....	186
10.8.1	Styren-Synthese.....	146	13.3.1	Radikalische Halogenierung von Alkanen.....	186
10.8.2	Alkenylbenzene durch Eliminierung aus Phenylhalogenalkanen und Phenylalkanolen.....	147	13.3.2	Addition von Halogenwasserstoff an Alkene.....	187
10.8.3	Alkenylbenzene durch Alkylierung mit 1,3-Dienen.....	147	13.3.3	Addition von Halogen an Alkene.....	187
10.9	Reaktionen der Alkenylbenzene.....	147	13.3.4	Additionen von HX und X ₂ an Diene.....	188
10.9.1	Elektrophile Addition an konjugierte Alkenylbenzene.....	147	13.3.5	Additionen von HX und X ₂ an Alkine.....	188
10.9.2	Radikalische Additionen an Alkenylbenzenen.....	148	13.3.6	Halogenalkene durch Dehydrohalogenierung.....	188
10.9.3	Darstellung ringsubstituierter Alkenylbenzene.....	148	13.3.7	Radikalische Bromierung in Allyl-Stellung durch N-Bromsuccinimid.....	189
10.10	Darstellung der Alkylbenzene.....	148	13.3.8	Darstellung von Fluoralkanen.....	190
10.11	Eigenschaften und Darstellung der Arylhalogenide.....	149	13.3.9	Darstellung von Iodalkanen.....	191
10.11.1	Physikalische Eigenschaften.....	149	13.3.10	Halogenalkane aus Alkoholen.....	191
10.11.2	Herstellung der Halogenaromaten.....	150			
10.11.3	Reaktionen der Halogenaromaten (Arylhalogenide).....	152			

13.3.11	Bromalkane durch HUNSDIECKER-Decarboxylierung.....	193	15.7	Glykolspezifische Reaktionen	226
13.3.12	Darstellung und Eigenschaften von Oligohalogenmethanen	193	15.7.1	Glykolspaltung	226
13.4	Reaktionen.....	194	15.7.2	Pinakol-Dehydratisierung und Umlagerung	227
13.4.1	Nucleophile Substitution und Eliminierung in Konkurrenz	194	16	Ether.....	228
13.4.2	Nucleophile Substitutionen.....	195	16.1	Nomenklatur der Ether	228
13.4.3	GRIGNARD-Reaktion	195	16.2	Struktur und physikalische Eigenschaften	229
13.4.4	CC-Verknüpfungen mit Organohalogen-Verbindungen	196	16.3	Darstellung	230
14	Nucleophile Substitution an Aliphaten	198	16.3.1	Bimolekulare Dehydratisierung von Alkoholen	230
14.1	Übersicht nucleophiler Substitutionen an Aliphaten	198	16.3.2	Nucleophile Substitution von Halogenalkanen durch Alkoholate und Phenolate (WILLIAMSON-Synthese).....	231
14.2	Mechanismen	199	16.3.3	Veretherung von Halogenalkanen mit Silbercarbonat	232
14.2.1	Bimolekularer Mechanismus S _N 2	199	16.3.4	O-Methylierung von Alkoholen und Phenolen durch Diazomethan	232
14.2.2	Monomolekularer Mechanismus S _N 1	201	16.3.5	Synthesen von Ethern mit GRIGNARD-Verbindungen	233
14.3	Struktur und Reaktivität	203	16.3.6	Alkenylether durch Addition von Alkoholen an Alkine	233
14.3.1	Effekte der Alkyl-Gruppen	203	16.3.7	Enoether durch Eliminierung von Alkohol aus Acetalen.....	233
14.3.2	Effekte der austretenden Gruppe	204	16.4	Darstellung von Epoxiden (Oxiranen)	234
14.3.3	Nucleophilie	205	16.4.1	Katalytische Oxidation von Alkenen.....	234
14.3.4	Lösemittelabhängigkeit.....	205	16.4.2	Cyclodehydrohaöogenierung von Halohydrinen	234
14.3.5	S _N 1- und S _N 2-Reaktionen in Konkurrenz	207	16.4.3	Epoxidation von Alkenen mit Peroxycarbonsäuren	234
14.4	Spezielle Substitutionsmechanismen.....	207	16.4.4	Epoxidation von Alkenen mit Peroxycarbonsäuren	234
14.4.1	S _W -Mechanismus	207	16.5	Reaktionen	234
14.4.2	Substitutionen an Allyl-Verbindungen	208	16.5.1	Bildung von Oxonium-Verbindungen	234
14.4.3	Reaktivität von Vinyl- und Alkynyl-Verbindungen	208	16.5.2	Autoxidation	235
15	Alkohole und Glykole	209	16.5.3	Ether-Spaltung.....	235
15.1	Klassifizierung der Alkohole	209	16.5.4	Ether-Umlagerungen	236
15.2	Nomenklatur	209	16.6	Ether als Schutzgruppen	237
15.3	Struktur und thermodynamische Eigenschaften	210	16.7	Methylvinylether und Ethylenoxid als Schlüsselprodukte der organischen Synthese	238
15.4	Darstellung von Alkoholen.....	213	16.7.1	Synthesen mit Methylvinylether	238
15.4.1	Technische Synthesen von Methanol und Ethanol	213	16.7.2	Synthesen mit Oxiran (Ethylenoxid).....	238
15.4.2	Ethanol durch alkoholische Gärung	213	17	Carbonsäuren und ihre Derivate	239
15.4.3	Hydratisierung von Alkenen	213	17.1	Nomenklatur der Carbonsäuren.....	239
15.4.4	Hydroborierung und Oxidation	214	17.2	Wasserstoffbrücken-Bindung von Carbonsäuren	242
15.4.5	Reduktion von Carbonyl-Verbindungen	215	17.3	Struktur der Carboxy-Gruppe	242
15.4.6	Alkohole aus Carbonyl-Verbindungen und Alkylmagnesiumhalogeniden (GRIGNARD-Verbindungen)	216	17.4	Carbonsäure-Derivate	243
15.4.7	Alkohole aus Epoxiden und Alkylmagnesiumhalogeniden	217	17.5	Synthese von Carbonsäuren.....	243
15.4.8	Hydrolyse von Halogenalkanen.....	217	17.5.1	Einführung der Carboxy-Gruppe durch Kohlenmonoxid (Carboxylierung).....	243
15.5	Darstellung von 1,2-Diolen.....	218	17.5.2	Einführung der Carboxy-Gruppe durch Kohlendioxid (Carboxylierung)	245
15.5.1	Dihydroxylierung von Alkenen.....	218	17.5.3	Acylierung von Aromaten mit Säureanhydriden.....	246
15.5.2	Hydrolyse von Halohydrinen	219	17.5.4	Carbonsäuren durch Oxidation	246
15.5.3	Bimolekulare Reduktion von Aldehyden und Ketonen	219	17.5.5	Hydrolyse von Carbonsäure-Derivaten.....	247
15.6	Reaktionen der Alkohole	219	17.5.6	Homologisierung (Kettenverlängerung) von Carbonsäuren	247
15.6.1	Alkohole als LEWIS-Basen	219	17.5.7	Alkylierung von Malonsäureestern.....	248
15.6.2	Alkohole als Säuren.....	220	17.5.8	α,β-Ungesättigte Carbonsäuren durch KNOEVE-NAGEL-Kondensation von Malonsäureestern	249
15.6.3	Oxidation von Alkoholen.....	220	17.5.9	α,β-Ungesättigte Carbonsäuren durch PERKIN-Reaktion	249
15.6.4	Veresterung von Alkoholen	222			
15.6.5	Nucleophile Substitution der Hydroxy-Gruppe durch Halogen	223			
15.6.6	Dehydratisierung von Alkoholen.....	224			

17.6	Acidität von Carbonsäuren.....	250	18	Chiralität	269
17.6.1	Dissoziationsgleichgewicht in wässrigen Lösungen.....	250	18.1	Asymmetriezentren und Chiralität.....	269
17.6.2	Salze der Carbonsäuren.....	250	18.2	Optische Aktivität und spezifische Drehung.....	269
17.6.3	Struktur und Modell des Carboxylat-Anions.....	251	18.3	Bezeichnung der absoluten Konfiguration.....	270
17.6.4	Einflüsse von Substituenten auf die Acidität.....	251	18.3.1	CAHN-INGOLD-PRELOG-Konvention [¹ CIP ¹ , (R)- und (S)-Deskriptoren].....	270
17.6.5	Acidität von Dicarbonsäuren.....	253	18.3.2	FISCHER-Konvention (D- und L-Deskriptoren).....	271
17.7	Decarboxylierung.....	253	18.3.3	Übersetzung der D,L- in die R,S-Deskriptoren.....	272
17.8	Derivatisierung der Carbonsäuren.....	253	18.3.4	Racemate.....	273
17.8.1	Veresterung, Carbonsäureester.....	253	18.4	Bestimmung der absoluten Konfiguration.....	273
17.8.2	Halogenierung, Carbonsäurehalogenide.....	254	18.5	Verbindungen mit mehreren Asymmetriezentren.....	274
17.8.3	Amidierung, Carbonsäureamide.....	255	18.5.1	Zwei verschiedene asymmetrisch substituierte C-Atome.....	274
17.8.4	Dehydratisierung von Carbonsäuren, Carbon- säureanhydride.....	255	18.5.2	Zwei gleiche asymmetrisch substituierte C-Atome.....	275
17.8.5	Dehydratisierung von Carbonsäureamiden, Nitrile und Isonitrile.....	256	18.5.3	Enantiomere Cycloalkane.....	276
17.9	Nucleophile Substitution von Carbonsäure- halogeniden.....	257	18.6	Enantiomere ohne asymmetrisch substituierte C-Atome.....	277
17.9.1	Hydrolyse und Perhydrolyse.....	257	18.6.1	Heteroatome als Asymmetriezentren.....	277
17.9.2	Alkoholyse.....	257	18.6.2	Axiale Chiralität.....	278
17.9.3	Ammonolyse und Aminolyse.....	258	18.6.3	Planare Chiralität und Helicität.....	279
17.9.4	Hydrazinolyse.....	258	18.7	Racemat-Trennungen.....	280
17.9.5	Reaktion mit Hydroxylamin.....	258	18.7.1	Sortierung enantiomorpher Kristalle.....	280
17.9.6	Reaktion mit Alkaliaziden.....	259	18.7.2	Trennung nach Bildung von Diastereomeren.....	280
17.9.7	Carbonsäurehalogenide als Reagenzien zur C-Acylierung.....	259	18.7.3	Enzymatische Racemat-Trennungen.....	282
17.10	Nucleophile Substitution von Carbonsäureestern.....	259	18.7.4	Chromatographische Racemat-Trennungen.....	283
17.10.1	Esterverseifung.....	259	18.8	Prochiralität, Enantiotopie und Diastereotopie.....	283
17.10.2	Ammonolyse (Aminolyse) von Estern.....	260	18.8.1	Prochiralität am tetraedrischen C-Atom.....	283
17.10.3	Umesterung.....	260	18.8.2	Prochiralität am trigonalen C-Atom.....	284
17.10.4	Reaktion mit GRIGNARD-Verbindungen.....	261	18.9	Stereo- und Enantioselektivität von Reaktionen.....	285
17.11	Reduktion von Carbonsäuren und deren Derivaten.....	261	18.9.1	Inversion, Retention und Racemisierung.....	285
17.11.1	Katalytische Hydrierung der Carbonsäure- halogenide zu Aldehyden.....	261	18.9.2	Stereoselektivität, Stereospezifität.....	287
17.11.2	Reduktion zu primären Alkoholen.....	262	18.9.3	Asymmetrische (enantioselektive) Synthesen.....	287
17.11.3	Reduktive Kupplung (Acyloin-Kondensation).....	262	18.10	Chirale Erkennung.....	291
17.12	CH-Acidität von Carbonsäureestern, Folgereaktionen.....	263	19	Substituierte Carbonsäuren	292
17.12.1	C-Alkylierung von Malonestern.....	264	19.1	Nomenklatur substituierter Carbonsäuren.....	292
17.12.2	KNOEVENAGEL-Alkenylierung.....	264	19.2	Physikalische Eigenschaften und Acidität.....	294
17.12.3	MICHAEL-Addition.....	264	19.3	Halogen-carbonsäuren.....	295
17.12.4	CLAISEN-Esterkondensation.....	265	19.3.1	Synthesen.....	295
17.12.5	Intramolekulare Kondensation von Diestern (DIECKMANN-Kondensation).....	266	19.3.2	Reaktionen.....	297
17.13	Spezielle Reaktionen von Dicarbonsäuren und Derivaten.....	266	19.4	Hydroxycarbonsäuren.....	298
17.13.1	Thermische Decarboxylierung und Cyclodehydratisierung.....	266	19.4.1	Synthesen.....	298
17.13.2	Bildung cyclischer Dicarbonsäureimide.....	267	19.4.2	Reaktionen.....	299
17.13.3	Reaktionen cyclischer Dicarbonsäureimide.....	267	19.5	Oxocarbonsäuren und ihre Ester.....	302
17.13.4	Maleinsäureanhydrid als elektronenarmes Dienophil.....	268	19.5.1	Synthesen.....	302
17.13.5	Maleinsäureanhydrid als elektronenarmes Enophil bei En-Reaktionen.....	268	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-Gruppen.....	312

20.5.2	Oxidation von Hydroxymethyl-Gruppen	313	21.4.5	Benzoin- und STETTER-Reaktion der Arenaldehyde	335
20.5.3	Überführung der Halomethyl- in die Formyl- Gruppe	313	21.4.6	Alkinylierung von Carbonyl-Verbindungen	336
20.5.4	NEF-Reaktion	314	21.4.7	PASSERINI- und UGI-Reaktionen mit Isocyaniden	336
20.5.5	Reduktion von Carbonsäure-Derivaten und Nitrilen	314	21.4.8	Homologisierung von Aldehyden und Ketonen mit Diazomethan	337
20.5.6	Spaltung von Glykolen und Ozoniden	315	21.4.9	KNOEVENAGEL-Alkenylierung	338
20.5.7	Hydrolyse von Sauerstoff-Heterocyclen	315	21.4.10	PERKIN-Reaktion	338
20.5.8	Hydroformylierung von Alkenen mit Kohlen- monoxid und Wasserstoff	315	21.4.11	MANNICH-Reaktion	338
20.5.9	Formylierung mit Orthoameisensäureestern	316	21.4.12	BAYLIS-HILLMAN-Hydroxyalkylierung	339
20.5.10	Formylierung von Aromaten durch Formanilide (VILSMEIER-Formylierung)	316	21.4.13	Anellierung von Cycloalkanonen	340
20.5.11	Formylierung von Aromaten durch Formylhalogenide	317	21.5	Oxidation und Reduktion der Carbonyl-Gruppe	340
20.5.12	Formylierung von Aromaten durch Cyanid und Chlorwasserstoff	317	21.5.1	Oxidation von Aldehyden	340
20.5.13	Formylierung von Aromaten durch Chloroform	317	21.5.2	BAEYER-VILLIGER-Oxidation von Ketonen	341
20.5.14	Industrielle Verfahren zur Produktion von Acet- und Benzaldehyd	318	21.5.3	WILLGERODT- UND WILLGERODT-KINDLER-Reaktion von Alkylarylketonen	341
20.6	Darstellung von Ketonen	318	21.5.4	McMURRY-Reaktion	342
20.6.1	Oxidation sekundärer Alkohole	318	21.5.5	CLEMMENSEN-Reduktion	342
20.6.2	Oxidation aktivierter Methylengruppen	319	21.5.6	WOLFF-KISHNER-Reduktion	343
20.6.3	Bimolekulare Decarboxylierung und Dehydratisierung von Carbonsäuren	319	21.5.7	BAMFORD-STEVENSON- und SHAPIRO-Reaktion zur Synthese von Alkenen	343
20.6.4	Addition von GRIGNARD-Verbindungen an Nitrile	319	21.6	CH-Acidität der 1,3-Dicarbonyl-Verbindungen	344
20.6.5	Spaltung der Ozonide von Tetraalkylethenen	320	21.6.1	Mesomerie der Carbanionen	344
20.6.6	Acylierung von Dialkylcadmium	320	21.6.2	Oxo-Enol-Tautomerie	345
20.6.7	Acylierung von Alkenen	320	21.6.3	Metallchelate	345
20.6.8	Acylierung von Aromaten mit Carbonsäure- halogeniden	320	21.6.4	Reaktionen als C-Nucleophile	345
20.6.9	Acylierung von Aromaten durch Nitrile	321	22	Phenole und Chinone	346
20.6.10	CLAISEN-Esterkondensation zur Synthese von 1,3-Diketonen	321	22.1	Klassifizierung der Phenole	346
20.6.11	Industrielle Verfahren	321	22.2	Nomenklatur der Phenole	346
21	Carbonyl-Reaktionen	322	22.3	Physikalische Eigenschaften der Phenole	347
21.1	Reaktivität der Carbonyl-Gruppe	322	22.4	Darstellung von Phenolen	349
21.2	Reaktionen von Aldehyden und Ketonen mit Basen	323	22.4.1	Technische Phenol-Synthese (HOCK-Prozess)	349
21.2.1	Bildung von Hydraten	323	22.4.2	Hydrolyse von Chlorbenzen-Derivaten	350
21.2.2	Bildung von Acetalen und Ketalen	323	22.4.3	Katalytische Oxidation methylierter Aromaten	351
21.2.3	Addition von Hydrogensulfid	325	22.4.4	Alkali-Schmelze von Arensulfonaten	351
21.2.4	Bildung von Iminen mit Ammoniak und primären Aminen	325	22.4.5	Phenole aus Arenaminen	352
21.2.5	Bildung von Hydrazonen, Azinen, Oximen und Semicarbazonen	326	22.4.6	Dienon-Phenol-Umlagerung	352
21.2.6	Bildung von Enaminen mit sekundären Aminen	327	22.5	Mesomerie und Acidität der Phenole	352
21.3	Reaktionen mit Hydrid-Anionen	328	22.5.1	Mesomerie	352
21.3.1	Reduktion mit komplexen Metallhydriden	328	22.5.2	Acidität	353
21.3.2	MEERWEIN-PONNDORF-VERLEY-Reduktion von Ketonen	328	22.5.3	Substituenteneinflüsse auf die Acidität	354
21.3.3	CANNIZZARO-Disproportionierung aromatischer Aldehyde	329	22.6	Reaktionen der Phenole	355
21.4	Reaktionen mit Carbanionen und CH-Säuren	329	22.6.1	Veretherung	355
21.4.1	1,2-Addition von GRIGNARD-Verbindungen	329	22.6.2	Veresterung	355
21.4.2	Carbonyl-Alkenylierungen	330	22.6.3	Phenole als Enole	356
21.4.3	Aldol-Reaktionen	331	22.6.4	Oxidation zu Chinonen	356
21.4.4	Cyanhydrin-Reaktion	333	22.6.5	Oxidation zu Aroxyl-Radikalen und Peroxiden	357
			22.6.6	Elektrophile Substitutionen	358
			22.6.7	BUCHERER-Reaktion der Naphthole	358
			22.7	Nomenklatur und einige Eigenschaften der Chinone	360
			22.8	Darstellung von Chinonen	361
			22.8.1	Oxidation von Phenolen und primären aromatischen Aminen	361
			22.8.2	Oxidation von Arenen	362
			22.8.3	FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung von Arenen durch Phthalsäureanhydrid	363
			22.9	Reaktionen der Chinone	363
			22.9.1	Redoxgleichgewicht Chinon-Hydrochinon	363

22.9.2	Autoxidation der Anthrahydrochinone	364	24.2.2	Reaktivität	398
22.9.3	Additionen	364	24.3	Diazoketone	399
22.9.4	Carbonyl-Reaktionen	365	24.3.1	Bildung	399
22.9.5	HOOKER-Oxidation	365	24.3.2	Reaktivität	399
23	Amine	366	24.4	Azoalkan-Derivate	400
23.1	Amine als Derivate des Ammoniaks	366	24.4.1	Klassifizierung und Bildung	400
23.2	Nomenklatur	366	24.4.2	Reaktionen	400
23.3	Struktur und physikalische Eigenschaften	368	24.5	Aryldiazonium-Salze	402
23.3.1	Geometrie und Molekülorbital-Modell	368	24.6	Radikalische Spaltung von Aryldiazonium-Ionen	402
23.3.2	Inversion von Aminen	369	24.6.1	Darstellung von Halogenaromaten aus Aryldiazonium-Salzen (SANDMEYER-Reaktion)	402
23.3.3	Enantiomere Ammonium-Salze und Amin-N-oxide	369	24.6.2	Mercurierung über Aryldiazonium-Salze (NESMEJANOW-Reaktion)	403
23.3.4	Physikalische Eigenschaften	370	24.6.3	Arylierung von Aromaten durch Aryldiazonium-Salze (GOMBERG-BACHMANN-Reaktion)	403
23.4	Darstellung	372	24.7	Ionische Spaltung von Aryldiazonium-Ionen	404
23.4.1	Alkylierung von Ammoniak	372	24.7.1	Bildung von Phenolen über Aryldiazonium-Salze	404
23.4.2	Alkylierung von Kalium-Phthalimid (GABRIEL-Synthese)	373	24.7.2	Bildung von Fluorarenen aus Aryldiazonium-tetrafluorboraten (BALZ-SCHIEHMANN-Reaktion)	405
23.4.3	Palladium-katalysierte Aminierung von Arylhalogeniden	373	24.7.3	Bildung von Arylaziden über Aryldiazonium-Salze	405
23.4.4	Addition von Ammoniak und Aminen an Doppelbindungen	374	24.7.4	Reduktion von Aryldiazonium-Salzen	405
23.4.5	Addition von Ammoniak und Aminen an Oxiran	374	24.8	Azo-Aromaten, Azo-Kupplung	406
23.4.6	Reduktion von Nitro-Verbindungen	375	24.8.1	Struktur der Azo-Arene	406
23.4.7	Reduktion von Oximen, Nitrilen und Carbonsäureamiden	376	24.8.2	Darstellung von Azo-Arenen durch Azo-Kupplung	406
23.4.8	Reduktive Aminierung von Carbonyl-Verbindungen	377	24.8.3	Andere Methoden zur Darstellung aromatischer Azo-Verbindungen	410
23.4.9	Reduktive Alkylierung von Aminen (LEUCKART-WALLACH-Reaktion)	378	24.9	Organostickstoff-Verbindungen, Übersicht	410
23.4.10	Synthese primärer Amine durch Umlagerungen	378	25	Organoschwefel-Verbindungen	412
23.4.11	Synthese von Benzidin-Derivaten durch Benzidin-Umlagerung	381	25.1	Übersicht, Nomenklatur und Vorkommen	412
23.5	Basizität	382	25.2	Thiole	412
23.5.1	Basizitätskonstante	382	25.2.1	Darstellung	412
23.5.2	Basizität aliphatischer Amine	383	25.2.2	Thermodynamische Eigenschaften	414
23.5.3	Basizität aromatischer Amine	383	25.2.3	Reaktionen	415
23.5.4	Substituenteneinflüsse auf die Basizität aromatischer Amine	384	25.3	Thiophenole	416
23.6	Reaktionen	385	25.3.1	Darstellung	416
23.6.1	Bildung N-substituierter Ammonium-Salze	385	25.3.2	Reaktionen	416
23.6.2	Reaktion mit salpetriger Säure	385	25.4	Thioether (Dialkylsulfide)	417
23.6.3	N-Oxidation	386	25.4.1	Darstellung	417
23.6.4	N-Halogenierung	387	25.4.2	Reaktionen	418
23.6.5	N-Acylierung	388	25.5	Disulfide	419
23.6.6	N-Alkylierung	389	25.5.1	Darstellung	419
23.6.7	HOFMANN-Eliminierung von Tetraalkylammoniumhydroxiden	390	25.5.2	Reaktionen	420
23.6.8	COPE-Eliminierung tertiärer Amin-N-oxide	391	25.6	Thioaldehyde, Thioketone, Thioacetale, Thioketale	420
23.6.9	Elektrophile Substitution aromatischer Amine	392	25.7	Dithiocarbonsäuren, Thiol- und Thionsäuren	421
24	Azo-, Diazo- und Diazonium-Verbindungen	393	25.8	Sulfoxide (S-Oxide)	422
24.1	Diazoalkane	393	25.8.1	Darstellung	422
24.1.1	Konstitution und Eigenschaften	393	25.8.2	Physikalische Eigenschaften	422
24.1.2	Darstellung	393	25.8.3	Reaktionen	422
24.1.3	Reaktionen der Diazoalkane	394	25.9	Sulfone (S-Dioxide)	425
24.2	Diazocarbonsäureester	397	25.9.1	Darstellung	425
24.2.1	Bildung	397	25.9.2	Reaktionen	426
			25.10	Sulfensäure-Derivate	426
			25.10.1	Bildung	426
			25.10.2	Reaktionen	427
			25.11	Sulfinsäuren	427
			25.11.1	Bildung	427
			25.11.2	Stabilität, Acidität, optische Aktivität	428

25.11.3	Reaktionen.....	428	27.5.2	COPE-Umlagerung als [3,3]-sigmatrope Verschiebung.....	457
25.12	Sulfonsäuren.....	428	27.5.3	Hetero-COPE-Umlagerungen.....	458
25.12.1	Darstellung der Säuren und ihrer Chloride.....	428			
25.12.2	Acidität und Wasserlöslichkeit von Sulfonsäuren ...	430			
25.12.3	Reaktionen der Sulfonsäuren und Sulfochloride.....	431			
26	Kohlensäure-Derivate	433	28	Orbitalsymmetrie bei konzertierten Reaktionen	459
26.1	Kohlensäure.....	433	28.1	Phasenbeziehung von p-Orbitalen.....	459
26.2	Kohlensäurehalogenide.....	433	28.2	Elektrocyclische Reaktionen	461
26.2.1	Phosgen.....	433	28.2.1	Definitionen.....	461
26.2.2	Reaktionen von Phosgen	435	28.2.2	WOODWARD-HOFFMANN-Regeln für elektrocyclische Reaktionen.....	463
26.3	Kohlensäureester	435	28.3	Cycloadditionen	465
26.3.1	Kohlensäureesterchloride.....	435	28.3.1	Definitionen.....	465
26.3.2	Kohlensäurediester.....	435	28.3.2	WOODWARD-HOFFMANN-Regeln für konzertierte Cycloadditionen.....	466
26.3.3	Dikohlensäurediester	436	28.3.3	Cycloreversionen.....	469
26.4	Kohlensäureesteramide (Urethane)	437	28.4	Sigmatrope Reaktionen.....	470
26.5	Kohlensäurediamide (Harnstoffe).....	438	28.4.1	Definitionen.....	470
26.5.1	Harnstoff-Synthesen.....	438	28.4.2	WOODWARD-HOFFMANN-Regeln für sigmatrope Reaktionen	473
26.5.2	Harnstoff-Reaktionen.....	438	28.4.3	Beispiele zu den Auswahlregeln	474
26.5.3	Harnstoff-Einschluss-Verbindungen.....	440	28.4.4	Inversion und Retention bei sigmatropen Verschiebungen.....	474
26.5.3	Alkylharnstoffe	440	28.4.5	En-Reaktion.....	476
26.6	Kohlensäurehydrazide.....	440			
26.6.1	Semicarbazid	441	29	Molekülspektroskopie zur Strukturaufklärung ..	478
26.6.2	Carbazide	441	29.1	Überblick.....	478
26.6.3	Esterhydrazide.....	441	29.2	UV- und Lichtabsorptions-Spektrometrie	479
26.6.4	Azidokohlensäureester	441	29.2.1	Spektralbereich.....	479
26.7	Guanidin	442	29.2.2	Messmethodik	480
26.7.1	Basizität und Bindungszustand	442	29.2.3	Elektronenübergänge in organischen Molekülen...	481
26.7.2	Darstellung.....	442	29.2.4	Chromophore, Auxochrome.....	482
26.7.3	Reaktionen.....	442	29.2.5	Lichtabsorption und Farbe.....	484
26.8	Thiokohlensäure-Derivate	443	29.2.6	Anwendungsbereiche.....	485
26.8.1	Thiophosgen	443	29.3	Infrarotspektroskopie	487
26.8.2	Thioharnstoff.....	444	29.3.1	Spektralbereich.....	487
26.9	Dithio- und Trithiokohlensäure-Derivate.....	445	29.3.2	Messmethodik	488
26.9.1	Schwefelkohlenstoff.....	445	29.3.3	Gruppenschwingungen in organischen Molekülen	487
26.9.2	Xanthogenate	445	29.3.4	Fingerabdruck-Bereich des Infrarotspektrums	490
26.9.3	Trithiocarbonate.....	445	29.3.5	Anwendungsbereiche.....	492
26.10	Carbodiimide.....	446	29.4	RAMAN-Spektroskopie	497
27	Umlagerungen	447	29.4.1	RAMAN-Streuung.....	497
27.1	Anionotrope 1,2-Verschiebungen	447	29.4.2	RAMAN-Spektrum	497
27.1.1	Allgemeine Mechanismen anionotroper 1,2-Verschiebungen (Sextett-Umlagerungen)	447	29.4.3	Anwendung von RAMAN-Spektren.....	497
27.1.2	1,2-Verschiebungen von C zu C	448	29.5	Kernmagnetische Resonanz	499
27.1.3	1,2-Verschiebungen von C zu N über Nitrene und Nitrenium-Ionen	451	29.5.1	Kernpräzession und Kernspin-Zustände.....	499
27.1.4	Verschiebungen von C zu O	452	29.5.2	NMR-Spektrometer und NMR-Spektrum	500
27.2	Kationotrope 1,2-Verschiebungen über Carbanionen	453	29.5.3	Chemische Verschiebungen	501
27.2.1	FAVORSKII-Umlagerung (von C nach C)	453	29.5.4	Messung chemischer Verschiebungen	501
27.2.2	STEVENS-Umlagerung (von N nach C)	454	29.5.5	Integration der Signale und quantitative Analyse ..	503
27.2.3	WITTIG-Umlagerung (von O nach C)	454	29.5.6	Konstitutionsmerkmale und Protonen- Verschiebung.....	504
27.3	Radikalische 1,2-Verschiebungen.....	454	29.5.7	Kopplungskonstanten.....	513
27.4	Umlagerungen an benzenoiden Ringen.....	455	29.5.8	Strukturmerkmale und Kopplungskonstanten.....	517
27.4.1	Umlagerungen vom S _E -Typ	455	29.5.9	Beispiel zur Herleitung der Konstitution aus dem ¹ H-NMR-Spektrum.....	524
27.4.2	Umlagerungen vom S _M -Typ	456	29.5.10	Chemische Methoden der Signalzuordnung.....	526
27.5	Sigmatrope Umlagerungen	457	29.5.11	Besondere Messtechniken	527
27.5.1	[1,5]-sigmatrope Verschiebung	457			

29.6	Kohlenstoff-13-Resonanz	531	31.6	Cyclooctatetraendiid	583
29.6.1	Wichtigste Messmethoden	531	31.6.1	Bildung	583
29.6.2	¹³ C-Verschiebungen	536	31.6.2	NMR-Daten	583
29.6.3	CH-Kopplungskonstanten	538	31.6.3	Reaktionen	583
29.6.4	Beispiel zur Konstitutionsermittlung durch Kohlenstoff-13-Resonanz	539	31.7	Cyclononatetraenid	584
29.7	Massenspektrometrie	541	31.7.1	Bildung	584
29.7.1	Messmethodik	541	31.7.2	NMR-Daten	584
29.7.2	Isotopenpeaks	543	31.7.3	Reaktionen	584
29.7.3	Molekül-Peak, Molekül-Ion	544	31.8	Vergleich der chemischen Verschiebungen	585
29.7.4	Fragment- und metastabile Ionen	544	31.9	Azulen	585
29.7.5	Fragmentierungen organischer Molekül-Ionen	545	31.9.1	Formulierung und physikalische Eigenschaften	585
29.7.6	Erkennung funktioneller Gruppen	551	31.9.2	Azulen-Synthese	586
29.7.7	Herleitung der Konstitution aus dem Massenspektrum	551	31.9.3	Reaktionen	587
30	Photoreaktionen	555	31.10	Aromatische Annulene	587
30.1	Anregung von Photoreaktionen	555	31.10.1	Definition	587
30.1.1	Energiebedarf	555	31.10.2	[10]-Annulene	588
30.1.2	Verhalten angeregter Moleküle	555	31.10.3	[14]-Annulene	589
30.2	Photosensibilisierung	558	31.10.4	[18]-Annulene	591
30.3	Quantenausbeute	559	31.10.5	Heterüberbrückte [18]-Annulene und höhere Annulene	592
30.4	Blitzlicht-Photolyse	559	31.11	Natürliche nichtbenzoide Aromaten	593
30.5	Präparative Photochemie	560	31.11.1	Tropolone	593
30.5.1	Photoinduzierte Einführung funktioneller Gruppen	560	31.11.2	Azulene	593
30.5.2	Photofragmentierungen	562	31.12	Antiaromatizität	593
30.5.3	Photoisomerisierungen	562	32	Organosilicium-Verbindungen	595
30.5.4	Photodehydrocyclisierungen	564	32.1	Organo-Si- und C-Verbindungen im Vergleich	595
30.5.5	Photoadditionen	565	32.2	Herstellung der Silane	596
30.5.6	Photocycloadditionen	566	32.2.1	Halogensilane	596
30.5.7	Photooxidation mit und Photoaddition von Sauerstoff	568	32.2.2	Alkyl- und Arylsilane	597
30.5.8	Photoreduktionen	569	32.3	Nucleophile Substitution am Silicium	597
30.6	Biologische Photoreaktionen	570	32.3.1	Mechanismen	597
30.6.1	Sehvorgang	570	32.3.2	Hydrid als Nucleophil	598
30.6.2	Photosynthese	571	32.3.3	Reaktionen mit Kohlenstoff-Nucleophilen	598
30.7	Chemolumineszenz	572	32.3.4	Reaktionen mit Sauerstoff-Nucleophilen	598
30.7.1	Katalytische Oxidation von Phthalsäure- hydraziden	572	32.3.5	Reaktionen mit Stickstoff-Nucleophilen	600
30.7.2	Perhydrolyse von Oxalsäureestern	573	32.3.6	Desilylierung von Alkyl- und Arylsilanen	600
30.7.3	Autoxidation CH-acider 2-Coumaranone	573	32.4	Präparative Bedeutung der Trimethylsilyl- Verbindungen	601
30.7.4	Biolumineszenz	574	32.4.1	Reagenzien zur Trimethylsilylierung	601
31	Nichtbenzoide Aromaten	575	32.4.2	Trimethylsilylazid als Ersatzreagenz	601
31.1	Übersicht nichtbenzoider Aromaten	575	32.4.3	Silylenolether als Synthesereagenzien	601
31.2	Cyclopropenium-Kationen	576	32.4.4	IRELAND-CLAISEN-Umlagerung	603
31.2.1	Synthese	576	32.4.5	SAKURAI-Reaktion der Allylsilane	604
31.2.2	Molekülorbital-Modell und Strukturmerkmale	576	32.4.6	PETERSON-Alkenylierung	605
31.2.3	Reaktivität	577	32.5	Silicone	605
31.3	Quadratsäure und Oxokohlenstoff-Dianionen	577	33	Organometall-Verbindungen	606
31.4	Cyclopentadienid	578	33.1	Definition und Nomenklatur	606
31.4.1	Herstellung	578	33.2	Bindungszustand	606
31.4.2	Strukturmerkmale	578	33.2.1	Übersicht	606
31.4.3	Reaktivität	578	33.2.2	Molekülorbital-Modelle	607
31.5	Cyloheptatrienium-Kationen	580	33.3	Eigenschaften metallorganischer Verbindungen	608
31.5.1	Strukturmerkmale und Formulierung	580	33.3.1	Alkylmetalle	608
31.5.2	Herstellungsmethoden	581	33.3.2	Metallorganische Elektronenmangel- Verbindungen	608
31.5.3	Reaktivität	582	33.3.3	GRIGNARD-Verbindungen	609
			33.4	Allgemeine Methoden zur Herstellung	609

33.4.1	Reaktion von Kohlenwasserstoff und Metall	609	34.6	Ringöffnende Ringerweiterungen	643
33.4.2	Reaktion von Halogenalkan und Halogenaren mit Metall	610	34.7	Additionen an ungesättigte Heteroalicyclen	644
33.4.3	Reaktion von Organometall-Verbindung und Metallhalogenid	610	34.8	Komplexierung durch Kronenether und Cryptanden	644
33.4.4	Metall-Metall-Austausch	611	34.9	Mesomerieeffekte und Aromatizität	645
33.4.5	Halogen-Metall-Austausch	611	35	Monocyclische Heteroaromaten	646
33.4.6	Wasserstoff-Metall-Austausch	612	35.1	Nomenklatur und Übersicht	646
33.4.7	Addition von Metallhydriden an Alkene	612	35.2	Aromatizität und Struktur von Fünfring-Heteroaromaten	647
33.5	Reaktionen von Alkyl- und Arylmetall-Verbindungen	612	35.2.1	π -Elektronendichte-Verteilung	647
33.5.1	Reaktion mit Sauerstoff	612	35.2.2	Molekülorbital-Modelle	647
33.5.2	Reaktion mit Halogen	612	35.2.3	Bindungsausgleich und Mesomerieenergie	648
33.5.3	Hydrolyse und Alkoholyse	613	35.3	Aromatizität und Struktur von Sechsring-Heteroaromaten	648
33.5.4	Reaktion mit CH-Säuren	614	35.3.1	π -Elektronendichte-Verteilung, Mesomerie und Bindungsausgleich	648
33.5.5	Reaktionen zwischen Organometall-Verbindungen	614	35.3.2	Molekülorbital-Modell des Pyridins	649
33.5.6	Reaktion mit Carbonsäurehalogeniden	615	35.3.3	Sechsring-Heterocyclen mit zweibindigen Heteroatomen	650
33.5.7	Addition an CC-Doppelbindungen	615	35.4	Tautomerie der Heteroaromaten	650
33.5.8	Addition an CX-Doppelbindungen	615	35.4.1	Tautomerie ohne Beteiligung von Substituenten	650
33.5.9	Addition an CX-Dreifachbindungen	617	35.4.2	Tautomerie unter Beteiligung von Substituenten	651
33.5.10	Nucleophile Öffnung von Oxiran- und Oxetan-Ringen	618	35.5	Synthese monocyclischer Fünfring-Heteroaromaten	654
33.5.11	Nucleophile Substitution	618	35.5.1	Allgemeine Methoden	654
33.6	Übergangsmetall-Aren- und Alken-Komplexe	619	35.5.2	Spezielle Methoden	658
33.6.1	Bindungszustand und Struktur von Metall- π -Komplexen	619	34.6	Reaktionen monocyclischer Fünfring-Heteroaromaten	660
33.6.2	Herstellung und Eigenschaften einiger Übergangsmetall- π -Komplexe	620	35.6.1	Basizität und Reaktionen am nichtbindenden Elektronenpaar	660
33.6.3	CC-Verknüpfungen mit Übergangsmetall-Komplexen als Katalysatoren	622	35.6.2	Acidität	661
33.6.4	CX-Verknüpfungen mit Palladium-Komplexen als Katalysatoren	625	35.6.3	Dien-Reaktionen	663
33.7	Übergangsmetall-Carben-Komplexe	626	35.6.4	Elektrophile Substitutionen	663
33.7.1	Konstitution	626	35.6.5	Nucleophile Substitutionen	667
35.7.2	Herstellung	627	35.6.6	Carben-Cycloadditionen	667
33.7.3	Reaktionen	627	35.6.7	Ringöffnungen	668
33.8	Metallchelate	629	35.6.8	Besondere Reaktionen von Substituenten	668
33.8.1	Bauprinzip	629	35.7	Mesoionische Fünfring-Heteroaromaten	670
33.8.2	Metallchelateffekt	630	35.7.1	1,2,3-Oxadiazol-Derivate	670
33.8.3	Metalltemplat-Effekt	631	35.7.2	Triazol-Derivate	671
33.8.4	Metallchelate makrocyclischer N_4 -Liganden	631	35.7.3	Oxazol- und Thiazol-Derivate	671
33.8.5	Bedeutung von Metallchelaten	632	35.8	Synthese monocyclischer Sechsring-Heteroaromaten	672
34	Heteroalicyclen	634	35.8.1	Pyridin	672
34.1	Übersicht und Ring-Nomenklatur	634	35.8.2	Phosphor-, Sauerstoff- und Schwefel-Analoga des Pyridins	674
34.2	Molekülgeometrie	635	35.8.3	Diazine	676
34.3	Allgemeine Syntheseprinzipien	636	35.8.4	Oxazine und Thiazine	677
34.3.1	Intramolekulare Cyclisierungen	636	35.8.5	Triazine	679
34.3.2	Cycloadditionen	638	35.8.6	Tetrazine	679
34.3.3	Ringerweiterung von Carbocyclen durch Stickstoff	640	35.9	Reaktionen monocyclischer Sechsring-Heteroaromaten	680
34.3.4	Katalytische Hydrierung von Heteroaromaten	640	35.9.1	Reaktionen am Imino-Stickstoff	680
34.3.5	Carbonyl-Derivatisierung	641	35.9.2	Cycloadditionen	682
34.4	Funktionelle Reaktionen	641	35.9.3	Nucleophile Additionen, Ringöffnungen, Umheterocyclisierungen	682
34.4.1	Heteroatom als Nucleophil	641	35.9.4	Nucleophile Substitutionen	683
34.4.2	Carbonyl-Umpolung durch 1,3-Dithian-Derivatisierung	641	35.9.5	Elektrophile Substitutionen	685
34.5	Ringöffnungen	642			

35.9.6	Besondere Reaktionen von Substituenten.....	686	38	Organische Farbstoffe	720
35.10	Höhergliedrige Heterocyclen und Heteroaromaten.....	688	38.1	Farbe, Farbstoffe, Pigmente.....	720
35.10.1	Ringvinyloge der Fünfring-Heteroaromaten.....	688	38.1.1	Absorbiertes Licht und Farbe.....	720
35.10.2	Ringvinyloge des Pyridins.....	691	38.1.2	Farbstoffe und Pigmente.....	720
36	Benzo-kondensierte Heteroaromaten	693	38.2	Bauprinzip von Farbstoffen.....	720
36.1	Nomenklatur.....	693	38.3	Azofarbstoffe.....	722
36.2	Synthese benzologer Fünfring-Heteroaromaten.....	694	38.3.1	Tautomerie.....	722
36.2.1	Benzo[b]furan und Benzo[b]thiophen.....	694	38.3.2	Herstellung.....	722
36.2.2	Benzo[b]pyrrol (Indol).....	695	38.3.3	Methoden der Textilfärbung mit Azofarbstoffen.....	723
36.2.3	Benzo-1,2-azole (Indazol, Benzoisoxazol, Benzoisothiazol).....	695	38.4	Polymethin-Farbstoffe.....	728
36.2.4	Benzo-1,3-azole (Benzimidazol, Benzoxazol, Benzothiazol).....	696	38.4.1	Bauprinzip.....	728
36.2.5	Benzotriazol.....	696	38.4.2	Ausgewählte Methoden zur Herstellung.....	729
36.2.6	Carbazol.....	697	38.4.3	Anwendung von Polymethin-Farbstoffen.....	730
36.3	Reaktionen benzologer Fünfring-Heteroaromaten.....	697	38.4.4	Natürliche Polymethin-Farbstoffe.....	731
36.3.1	Prognose.....	697	38.5	Phenyloge Methin- und Azamethin-Farbstoffe.....	734
36.3.2	Heteroatom-spezifische Reaktionen.....	698	38.5.1	Übersicht.....	734
36.3.3	Elektrophile Substitutionen.....	698	38.5.2	Allgemeine Methoden zur Herstellung.....	734
36.3.4	Cycloadditionen.....	699	38.5.3	Anwendung phenyloger Methin- und Azamethin- Farbstoffe.....	738
36.3.5	Reaktionen der 2- und 3-Hydroxy-Derivate.....	700	38.5.4	Natürliche Phenoxazin-Farbstoffe.....	739
36.4	Synthese benzologer Pyridine und Azine.....	700	38.6	Carbonyl-Farbstoffe.....	740
36.4.1	Chinoline (Benzo[b]pyridine).....	700	38.6.1	Übersicht.....	740
36.4.2	Isochinoline (Benzo[c]pyridine).....	702	38.6.2	Lichtabsorption der Carbonyl-Farbstoffe.....	740
36.4.3	Benzochinoline.....	702	38.6.3	Synthese von Anthrachinon-Farbstoffen.....	742
36.4.4	Benzopyridazine.....	703	38.6.4	Indigo-Synthesen.....	743
36.4.5	Chinazoline.....	703	38.6.5	Textilfärbung mit Indigo- und Anthrachinon- Derivaten.....	744
36.4.6	Chinoxaline und Phenazine.....	704	38.6.6	Höher anellierte Carbonyl-Farbstoffe.....	745
36.4.7	Benzopyrone und Benzopyrylium-Salze.....	704	38.6.7	Natürliche Carbonyl-Farb- und Wirkstoffe.....	746
36.4.8	Phenoxazine und Phenothiazine.....	706	38.7	Polyaza[18]annulen-Farbstoffe.....	748
36.5	Reaktionen benzologer Sechsring- Heteroaromaten.....	706	38.7.1	Bauprinzip.....	748
36.5.1	Reaktionen am Ring-Stickstoff.....	706	38.7.2	Porphyrine und ihre Metallchelate als Diaza[18]annulene.....	748
36.5.2	Katalytische Hydrierung und oxidative Ringöffnung.....	707	38.7.3	Porphyrin-Synthesen.....	749
36.5.3	Nucleophile Additionen.....	707	38.7.4	Phthalocyanin-Synthesen.....	750
36.5.4	Nucleophile Substitutionen.....	708	38.7.5	Färbung mit Phthalocyanin-Derivaten.....	751
36.5.5	Elektrophile Substitutionen.....	708	38.7.6	Natürliche Porphyrinoide.....	752
36.5.6	CH-Acidität und andere Reaktionen von Methyl-Gruppen.....	709	39	Synthetische Polymere	753
37	Fusionierte Heteroaromaten	710	39.1	Monomere, Oligomere, Polymere.....	753
37.1	Nomenklatur.....	710	39.2	Polymerisationen.....	753
37.2	Heterobicyclen mit Stickstoff als Brückenkopf.....	713	39.2.1	Übersicht.....	753
37.3	Purine.....	714	39.2.2	Radikalische Polymerisation.....	754
37.4	Pteridine.....	716	39.2.3	Ionische Polymerisation.....	756
37.5	Reaktionen fusionierter Heteroaromaten.....	717	39.2.4	Koordinative Polymerisation.....	757
37.5.1	Basizität und Acidität.....	717	39.2.5	Polymerisation durch Alken-Metathese.....	759
37.5.2	Ringspaltungen.....	717	39.2.6	Epoxid-Polymerisation.....	759
37.5.3	Nucleophile Additionen.....	718	39.2.7	Hetero- und Homopolymere.....	759
37.5.4	Nucleophile Substitutionen.....	719	39.2.8	Uni- und Multipolymere.....	760
37.5.5	Elektrophile Substitutionen.....	719	39.3	Polyadditionen.....	761
37.5.6	CH-Acidität von Methyl-Gruppen.....	719	39.3.1	Polyurethane.....	761
			39.3.2	Polyharnstoffe.....	762
			39.4	Polykondensationen.....	762
			39.4.1	Polyester.....	762
			39.4.2	Polyamide.....	763
			39.4.3	Phenoplaste.....	764
			39.4.4	Aminoplaste.....	765
			39.4.5	Epoxidharze.....	766

39.5	Molekülstruktur von Polymeren	766	41	Peptide und Proteine	803
39.5.1	Mittlere Molekülmasse	766	41.1	Oligo- und Polypeptide	803
39.5.2	Stellungsisomerie	767	41.2	Struktur der Peptidbindung	804
39.5.3	Verzweigungsgrad	767	41.3	Konformation (Sekundärstruktur) von Polypeptid-Ketten	804
39.5.4	Relative Konfigurationsisomerie von Polyalkenen ..	768	41.3.1	RAMACHANDRAN-Diagramme	804
39.5.5	Taktizität von Polyalkenen	768	41.3.2	α -Helix	806
39.5.6	Rotationsisomerie	769	41.3.3	α -Keratin-Struktur	807
39.6	Anwendungstechnisch relevante Eigenschaften ..	770	41.3.4	β -Faltblatt	809
39.6.1	Kristallinität	770	41.3.5	Physikalische Methoden zur Strukturbestimmung ..	810
39.6.2	Plastizität	772	41.4	Methoden der Peptidsynthese	811
39.6.3	Elastizität	772	41.4.1	Knüpfung der Peptidbindung	811
39.6.4	Löslichkeit und Quellbarkeit	772	41.4.2	Schutzgruppen	813
39.7	Reaktionen von Polymeren	772	41.4.3	Strategie und Taktik der Peptidsynthese	818
39.7.1	Depolymerisationen	772	41.4.4	Kombinatorische Synthese	820
39.7.2	Reaktionen unter Erhaltung der Polymerkette	773	41.5	Methoden der Peptid-Sequenzierung	821
39.8	Funktionelle Polymere	774	41.5.1	Reinigung von Peptiden	821
39.8.1	Ionenaustauscher	774	41.5.2	Selektive Spaltungen von Peptidketten	822
39.8.2	Elektronenaustauscher	775	41.5.3	Endgruppenanalyse	823
39.8.3	Elektrolumineszente Polymere	775	41.5.4	Schrittweiser Abbau nach EDMAN	824
39.8.4	Makromolekulare Chelatbildner	776	41.6	Modifizierung von Seitenkettenfunktionen	824
39.8.5	Dendrimere	776	41.7	Ausgewählte Peptidwirkstoffe	826
39.8.6	Polymere Träger	778	41.7.1	Peptidhormone	826
39.9	Anwendungsformen der Polymeren	779	41.7.2	Peptidantibiotika	830
			41.7.3	Peptidtoxine	832
40	Aminosäuren	782	41.8	Proteine	833
40.1	Proteinaminosäuren	782	41.8.1	Klassifizierung und Funktion von Proteinen	833
40.2	Physiologische Bedeutung	783	41.8.2	Enzymaktivitätsbestimmung	834
40.3	Absolute Konfiguration	784	41.8.3	Struktur der Proteine Myoglobin und Hämoglobin ..	835
40.4	Physikalische Eigenschaften	785	41.8.4	Enzym-Substrat-Wechselwirkung	837
40.4.1	Dissoziationsgleichgewichte	785			
40.4.2	Schmelzpunkt und Löslichkeit	787	42	Alkaloide	840
40.5	Chromatographische Trennung	787	42.1	Herkunft und Gewinnung der Alkaloide	840
40.5.1	Ionenaustausch-Chromatographie im Aminosäuren-Analysator	787	42.2	Übersicht heterocyclischer Alkaloide	841
40.5.2	Kapillarzonen-Elektrophorese	789	42.2.1	Pyrrolidin-, Piperidin- und Pyridin-Alkaloide	841
40.5.3	Gaschromatographie	789	42.2.2	Tropan-Alkaloide	842
40.6	Synthesen	790	42.2.3	Pyrrolizidin-, Indolizidin- und Chinolizidin- Alkaloide	843
40.6.1	Aminierung von α -Halogen-carbonsäuren	790	42.2.4	Indol-Alkaloide	843
40.6.2	STRECKER-Synthese	790	42.2.5	Isochinolin-Alkaloide	846
40.6.3	BUCHERER-Synthese	791	42.2.6	Chinolin-Alkaloide	849
40.6.4	ERLENMEYER-Synthese	792	42.2.7	Isoxazol- und Oxazol-Alkaloide	849
40.6.5	Reduktive Aminierung von α -Oxid-carbonsäuren ..	792	42.3	Übersicht nicht heterocyclischer Alkaloide	849
40.6.6	α -Aminosäuren aus <i>N</i> -Acylamino- malonsäureestern	793	42.3.1	Phenylethylamine	850
40.6.7	Enantioselektive Synthese von Aminosäuren	794	42.3.2	Amide und Lactame biogener Amine	850
40.7	Trennung racemischer Aminosäuren	794	42.3.3	Cyclopeptid-Alkaloide	851
40.7.1	Chromatographische Enantiomeren-Analyse	795	42.4	Exemplarische Alkaloid-Synthesen	851
40.7.2	Selektive Kristallisation	795	42.4.1	Nicotin und Coniin	851
40.7.3	Trennung über Diastereomere	795	42.4.2	Tropan	852
40.7.4	Enzymatische Methoden	796	42.4.3	Tryptamine	852
40.8	Reaktionen	797	42.4.4	Benzyltetrahydroisochinoline	853
40.8.1	Bildung von Salzen und Komplexen	797			
40.8.2	Veresterung	798	43	Kohlenhydrate	854
40.8.3	Bildung von Lactamen und Imiden	798	43.1	Bedeutung, Klassifizierung und Nomenklatur der Zucker	854
40.8.4	<i>N</i> -Alkylierung und <i>N</i> -Arylierung	799	43.1.1	Glucose, die Grundsubstanz der Kohlenhydrate ...	854
40.8.5	<i>N</i> -Acylierung	799	43.1.2	Klassifizierung und Nomenklatur	854
40.8.6	Abbau-Reaktionen und Umfunktionierungen	800	43.2	Konstitution, relative und absolute Konfiguration ...	856
40.8.7	Aminosäure-Derivate als chirale Auxiliare und Organokatalysatoren	802			

43.3	Cyclohalbacetal-Formen und Konformation.....	859	44.4.4	Synthese von Oligonucleotiden.....	907
43.3.1	Halbacetal-Bildung	859	44.4.5	Phosphorsäuretriesther-Methode zur Synthese von Gen-Fragmenten	908
43.3.2	Gleichgewichte der Pyranosen und Furanosen	862	44.4.6	Phosphoramidit-Methode an der Festphase.....	909
43.3.3	Mutarotation.....	863	44.5	Sequenzierung der DNA	910
43.3.4	Konformation der Pyranosen und anomerer Effekt.....	864	44.6	Telomere und Carcinogene.....	912
43.3.5	NMR-Spektroskopie	865	45	Lipide	914
43.4	Carbonyl-Reaktionen der Kohlenhydrate	866	45.1	Klassifizierung der Lipide	914
43.4.1	Kettenverlängerung	867	45.2	Vorkommen und Isolierung	915
43.4.2	Reduktion zu Polyolen.....	868	45.2.1	Vorkommen	915
43.4.3	Oxidation endständiger Gruppen	869	45.2.2	Isolierung und Identifizierung	915
43.4.4	Glycosidierungen.....	871	45.3	Wechselwirkungen von Lipiden mit Wasser	916
43.4.5	Reaktionen mit Thiolen und Stickstoff- Nucleophilen	873	45.4	Fettsäuren	917
43.5	Polyol-Reaktionen	875	45.4.1	Vorkommen und Struktur wichtiger Fettsäuren	917
43.5.1	Schutzgruppen für die Hydroxy-Funktionen.....	875	45.4.2	Physikalische Eigenschaften.....	919
43.5.2	Oxidation von Hydroxy-Gruppen.....	877	45.4.3	Chemische Eigenschaften	920
43.5.3	Nucleophile Substitutionen.....	878	45.4.4	Analytik der Fettsäuren	922
43.5.4	Glykospaltung und andere Abbaureaktionen	879	45.5	Wachse.....	925
43.6	Deoxy-, Amino-, ungesättigte und verzweigte Zucker	880	45.6	Phosphatide, Glycolipide, Aminolipide	926
43.6.1	Deoxyzucker.....	880	45.6.1	Phosphatide.....	926
43.6.2	Aminozucker.....	880	45.6.2	Sphingolipide und Glycolipide	926
43.6.3	Verzweigte und ungesättigte Zucker	881	45.6.3	Lipopolysaccharide und Lipoproteine	928
43.7	Analytik	882	45.7	Lipid-Membranen	929
43.8	Oligosaccharide.....	883	45.7.1	Lipid-Doppelschichten	930
43.8.1	Disaccharide.....	883	45.7.2	Aufbau biologischer Lipid-Membranen	932
43.8.2	Trisaccharide, Cyclodextrine.....	885	45.8	Industrielle Synthese von Detergentien	933
43.9	Polysaccharide	886	45.8.1	Alkylbenzensulfonate	933
43.9.1	Struktur der Cellulose.....	886	45.8.2	Langkettige Alkylsulfate und andere Tenside	935
43.9.2	Technische Gewinnung und chemische Modifikation der Cellulose	886	46	Terpene.....	937
43.9.3	Stärke, Amylose und Amylopektin	887	46.1	Herkunft und Bauprinzip der Terpene.....	937
43.9.4	Glykogen.....	888	46.1.1	Begriff, Isopren-Regel, Klassifizierung.....	937
43.9.5	Chitin.....	888	46.1.2	Vorkommen, Bedeutung	938
43.9.6	Heparin, Hyaluronsäure, Chondroitinsulfate	889	46.2	Übersicht der Terpene.....	939
43.9.7	Inulin und Pektine	890	46.2.1	Hemi- und Monoterpene	939
44	Nucleoside, Nucleotide, Nucleinsäuren.....	891	46.2.2	Sesquiterpene	943
44.1	Bauprinzip der Nucleinsäuren	891	46.2.3	Diterpene	944
44.2	Abbau der Nucleinsäuren	894	46.2.4	Sesterterpene.....	946
44.2.1	Bedingungen der Hydrolyse von Nucleosiden und Nucleotiden.....	894	46.2.5	Triterpene	947
44.2.2	Enzymatische Spaltung von Polynucleotiden	895	46.2.6	Tetraterpene (Carotenoide).....	950
44.3	Eigenschaften von Nucleosiden und Nucleotiden	895	46.2.7	Prenylchinone.....	950
44.3.1	Eigenschaften der Phosphat-Gruppe.....	895	46.2.8	Polyterpene	953
44.3.2	Löslichkeit.....	896	46.3	Exemplarische Terpen-Synthesen.....	953
44.3.3	Tautomerie-Gleichgewichte.....	896	46.3.1	Acyliche Mono- und Sesquiterpene	953
44.3.4	Dissoziationsverhalten von Nucleotiden	897	46.3.2	Cyclische Monoterpene.....	955
44.3.5	Bildung von Basenpaaren und Komplementärprinzip	897	46.3.3	Industrielle Synthese des Diterpens Vitamin A.....	956
44.3.6	Die Doppelhelix der DNA	898	47	Steroide	958
44.3.7	Detektion der DNA-Denaturierung durch UV-Spektroskopie.....	900	47.1	Stammgerüste und Nomenklatur der Steroide	958
44.3.8	Seltene Basen und RNA-Konformation.....	902	47.2	Sterole	960
44.4	Nucleosid- und Nucleotid-Synthesen	903	47.3	Gallensäuren	960
44.4.1	Synthese von Nucleosiden.....	903	47.4	Steroidhormone.....	962
44.4.2	Phosphorylierungen.....	904	47.4.1	Corticosteroide (Pregnan-Derivate)	962
44.4.3	Synthese von Nucleotiden.....	906	47.4.2	Sexualhormone (Pregnan-, Androstan- und Estran-Derivate)	963
			47.4.3	Steroid-Duftstoffe (Androst-16-en-Derivate)	964

47.5	Herzglycoside	965	49.3.3	Heterocyclen.....	1041
47.6	Steroidsaponine.....	966	49.4	Kontrolle der Selektivität.....	1044
47.7	Steroidalkaloide.....	966	49.4.1	Chemoselektivität.....	1044
47.8	Exemplarische Steroidsynthesen.....	968	49.4.2	Schutzgruppen	1045
47.8.1	Estronmethylether	968	49.4.3	Regioselektivität	1046
47.8.2	Industrielle Synthese des Levonorgestrels	969	49.4.4	Stereoselektivität und Stereospezifität.....	1048
			49.5	Effizienz-Strategien	1051
48	Biosynthese der Naturstoffe	970	49.5.1	Konvergente Synthesen.....	1051
48.1	Biosynthesen, Grundbegriffe und Übersicht	970	49.5.2	Tandem-Reaktionen	1054
48.1.1	Enzymkatalyse (Substrat, Inhibitor)	971	49.6	Biosynthese als Strategie-Vorlage.....	1056
48.1.2	Coenzyme.....	971	49.6.1	Biomimetische Synthese	1056
48.2	Kohlenhydrate.....	973	49.6.2	Mutasynthese von Naturstoff-Analoga	1057
48.2.1	Photosynthese.....	973			
48.2.2	Stoffwechselwege der Glucose	975	50	Nachhaltigkeit und nachwachsende Rohstoffe	1058
48.2.3	Umwandlungen des Pyruvats aus der Glykolyse.....	978	50.1	Nachhaltige Syntheseplanung	1058
48.3	Tricarbonsäure-Cyclus (Citrat-Cyclus)	980	50.1.1	Zielsetzungen	1058
48.4	Aminosäuren.....	984	50.1.2	Umweltfaktor und Atomeffizienz.....	1058
48.4.1	Kopplung der Aminosäure-Biosynthese an den Citrat-Cyclus	984	50.1.3	Verbesserung der Umweltverträglichkeit industrieller Synthesen	1060
48.4.2	Aminosäure-Biosynthese aus α -Ketosäuren durch Transaminase-Reaktion	984	50.1.4	Redox-Reaktionen	1060
48.4.3	Aromatische Aminosäuren auf dem Shikimat-Weg	985	50.2	Nachwachsende Rohstoffe	1061
48.4.4	Stoffwechsel der Aminosäuren.....	987	50.2.1	Aufschluss und Trennung der Biomasse	1062
48.4.5	Harnstoff-Cyclus in der Leber.....	989	50.2.2	Plattformchemikalien aus Biomasse	1063
48.5	Fettsäuren.....	990	50.3	Industrielle Synthesen mit Kohlendioxid	1066
48.5.1	Biosynthese der Fettsäuren	990	50.4	Nutzung der Biokatalyse	1067
48.5.2	Biosynthese der Triglyceride	991	50.4.1	Chirale Intermediate zur Synthese von Wirkstoffen.....	1067
48.5.3	Fettsäure-Abbau	992	50.4.2	Biotenside	1068
48.6	Polyketide	993	50.4.3	Biologisch abbaubare Polymere	1069
48.6.1	Polyketid-Weg.....	993	50.5	Lösemittel	1070
48.6.2	Biosynthese ausgewählter Polyketide.....	994	50.5.1	Auswahlkriterien	1070
48.7	Isoprenoide	999	50.5.2	Nutzungskreislauf und Verbrauchsminderung	1071
48.7.1	Terpene	999	50.5.3	Zweiphasensysteme.....	1072
48.7.2	Steroide	1002	50.6	Toxizität und Bioakkumulation	1073
48.8	Heterocyclen.....	1004	50.6.1	Toxizität	1073
48.8.1	Pyrimidin- und Purin-Nucleotide.....	1004	50.6.2	Bioakkumulation	1075
48.8.2	Alkaloide	1008			
48.8.3	Porphyriinoide.....	1011	Bibliographie.....	1077	
48.9	Biopolymere	1013			
48.9.1	Nucleinsäuren.....	1013	Sachregister.....	1082	
48.9.2	Proteine	1017			
48.9.3	Oligo- und Polysaccharide	1022	Verzeichnis der Reaktionen		
48.9.4	Abbau der Polysaccharide	1025	nach NAMEN und <i>Begriffen</i>	1133	
48.9.5	Lignine	1028			
49	Syntheseplanung.....	1030	Glossar	1150	
49.1	Zielsetzung, Logik.....	1030	Periodensystem der Elemente.....	1153	
49.2	Die Retrosynthese-Strategie	1031			
49.2.1	Retrosynthetische Zerlegung in Synthons	1031			
49.2.2	Realistische und unrealistische Zerlegungen.....	1032			
49.2.3	a- und d-Synthons	1034			
49.2.4	Auswahl der zu zerlegenden Bindung.....	1034			
49.2.5	Mechanistische Gesichtspunkte.....	1036			
49.2.6	Reihenfolge der Syntheseschritte	1037			
49.3	Strategie der Cyclisierungen, Einbau benzoider Ringe	1038			
49.3.1	Carbocyclen.....	1038			
49.3.2	Einbau und Substitution benzoider Ringe.....	1039			

