

# Inhalt

	11.4	Reduktion .....	28
	11.5	Substitution .....	28
	11.6	Umlagerung .....	29
12	12.1	<b>Energieumsätze chemischer Reaktionen .....</b>	30
	12.2	Aktivierungsenergie, Reaktionswärme .....	30
	12.3	Katalyse .....	30
	12.4	Kinetische und thermodynamische Kontrolle .....	31
<b>Inhalt .....</b>	<b>1</b>		
<b>Vorwort .....</b>	<b>6</b>		
<b>Organische Chemie .....</b>	<b>7</b>		
<b>1 Atomorbitale, Elektronenzustände .....</b>	<b>8</b>		
1.2 s- und p-Orbitale .....	8		
1.3 Elektronenspin und PAULI-Prinzip .....	8		
1.4 Elektronenkonfiguration leichter Atome .....	9		
<b>2 Kovalente Bindung des Wasserstoff-Moleküls .....</b>	<b>10</b>		
2.1 Arten der chemischen Bindung .....	10		
2.2 Kovalente Bindung durch Überlappung von Atomorbitalen .....	10		
2.3 Überlappung von p-Orbitalen .....	11		
<b>3 Hybridisierung von Atomorbitalen .....</b>	<b>12</b>		
3.1 Geometrie des Methan-Moleküls .....	12		
3.2 Hybridisierung von Atomorbitalen .....	12		
3.3 CH-Bindungen des Methans .....	12		
<b>4 Kovalente Bindung der C<sub>2</sub>-Kohlenwasserstoffe .....</b>	<b>14</b>		
4.1 Ethan, CC-Einfachbindung .....	14		
4.2 Ethen, CC-Doppelbindung .....	14		
4.3 Ethin, CC-Dreifachbindung .....	15		
<b>5 Alkane .....</b>	<b>16</b>		
5.1 Homologe Reihe der Alkane .....	16		
5.2 Vorkommen, Herstellung .....	16		
5.2.1 Fraktionierte Destillation des Erdöls (Raffinerie) .....	16		
5.2.2 Katalytische Hydrierung von Alkenen .....	17		
5.2.3 WÜRTZ-Synthese über Alkylnatrium .....	17		
5.2.4 KOLBE-Elektrolyse von Carboxylaten (anodische Oxidation) .....	17		
5.3 Alkane als Energieträger .....	17		
<b>6 Konstitution, Konstitutionsisomerie .....</b>	<b>18</b>		
6.1 Atomverknüpfung .....	18		
6.2 Konstitutionsisomere .....	18		
<b>7 Grundregeln der Nomenklatur .....</b>	<b>20</b>		
7.1 IUPAC-Regeln .....	20		
7.2 Verzweigte Alkyl-Gruppen .....	20		
<b>8 Molekülschreibweisen .....</b>	<b>22</b>		
8.1 Valenzstrichformeln .....	22		
8.2 Skelettfomeln .....	22		
8.3 Lewis-Formeln .....	22		
8.4 Projektionsformeln .....	23		
8.4.1 FISCHER-Projektion .....	23		
8.4.2 NEWMAN-Projektion .....	23		
<b>9 Konformation .....</b>	<b>24</b>		
9.1 Konformation, Konforme .....	24		
9.2 Energieinhalte und Nomenklatur von Konformeren .....	24		
<b>10 Reaktive Zwischenstufen .....</b>	<b>26</b>		
10.1 Radikale .....	26		
10.2 Ionen .....	26		
10.3 Carbene .....	27		
<b>11 Grundtypen organischer Reaktionen .....</b>	<b>28</b>		
11.1 Addition .....	28		
11.2 Eliminierung .....	28		
11.3 Oxidation .....	28		
11.4 Reduktion .....	28		
11.5 Substitution .....	28		
11.6 Umlagerung .....	29		
<b>12 Energieumsätze chemischer Reaktionen .....</b>	<b>30</b>		
12.1 Aktivierungsenergie, Reaktionswärme .....	30		
12.2 Katalyse .....	30		
12.3 Kinetische und thermodynamische Kontrolle .....	31		
<b>13 Radikalische Substitution .....</b>	<b>32</b>		
13.1 Photohalogenierung der Alkane .....	32		
13.2 Relative Stabilität von Alkyl-Radikalen .....	32		
13.3 Regioselektivität der radikalischen Substitution .....	33		
13.4 Radikalische Sulfochlorierung und Nitrierung .....	33		
<b>14 Alkene, Konstitution und relative Konfiguration .....</b>	<b>34</b>		
14.1 Übersicht, Nomenklatur, Konstitutionsisomerie .....	34		
14.2 Relative Konfiguration der Alkene .....	34		
<b>15 Alken-Synthesen .....</b>	<b>36</b>		
15.1 $\beta$ -Eliminierung .....	36		
15.1.1 Dehydrohalogenierung von Halogenalkanen .....	36		
15.1.2 Dehydratisierung von Alkoholen .....	36		
15.1.3 Reduktive Dehalogenierung von 1,2-Dihalogenalkanen .....	37		
15.2 Alternative Synthesen .....	37		
15.2.1 Dehydrierung von Alkanen .....	37		
15.2.2 Partielle Hydrierung von Alkinen .....	37		
15.2.3 Reduktive Kupplung von Carbonyl Verbindungen .....	37		
15.2.4 Carbonyl-Alkenylierungen .....	38		
15.3 Umwandlung von Alkenen .....	38		
15.3.1 WOHL-ZIEGLER-Bromierung .....	38		
15.3.2 Heck-Reaktion .....	38		
15.3.3 En-Reaktion .....	39		
15.3.4 Alken-Metathese .....	39		
<b>16 Additionen an Alkene .....</b>	<b>40</b>		
16.1 Addition von Wasserstoff (Katalytische Hydrierung) .....	40		
16.2 Addition von Brom (Bromierung) .....	40		
16.3 Elektrophile Addition von Halogenwasserstoff .....	41		
16.4 Elektrophile Addition von Wasser (Hydratisierung) .....	41		
16.5 Bildung von Halohydrinen .....	42		
16.6 Hydroborierung .....	42		
16.7 Dihydroxylierungen .....	42		
16.8 1,3-dipolare Cycloaddition von Ozon (Ozonolyse von Alkenen) .....	43		
<b>17 Diene .....</b>	<b>44</b>		
17.1 Kumulation und Konjugation von Doppelbindungen .....	44		
17.2 Molekülfstruktur .....	44		
17.2.1 Konformation .....	44		
17.2.2 Bindungsängen und Mesomerie des 1,3-Butadiens .....	44		
17.2.3 Molekülgometrie des Aliens .....	45		
17.3 Herstellung .....	45		
17.3.1 Katalytische Dehydrierung zu 1,3-Dienen .....	45		
17.3.2 Dehydratisierung von Diolen zu 1,3-Dienen .....	45		
17.3.3 Katalytische Dimerisierung von Ethin zu 1,3-Butadien .....	45		
17.3.4 1,2-Diene durch Eliminierung .....	45		
<b>18 Additionen und Cycloadditionen mit 1,3-Dienen .....</b>	<b>46</b>		
18.1 1,2- und 1,4-Addition .....	46		
18.2 Cycloadditionen .....	47		
18.2.1 [4+2]-Cycloaddition (DIELS-ALDER-Reaktion) .....	47		
18.2.2 [4+1]-Cycloaddition .....	47		
<b>19 Alkine .....</b>	<b>48</b>		
19.1 Homologe Reihe, Konstitutionsisomerie, Nomenklatur .....	48		
19.2 Herstellung .....	48		
19.2.1 Partielle Oxidation von Methan zu Ethin .....	48		
19.2.2 Carbid-Prozess (frühere Ethin-Synthese) .....	48		
19.2.3 Doppelte Dehydrohalogenierung von 1,1-Dihalogenalkanen .....	49		

19.2.4 Alkylierung terminaler Alkine.....	49	28.3 Elektrophile Substitution des Naphthalens.....	71
19.3 Typische Reaktionen .....	49	28.4 Oxidation und Reduktion des Naphthalens.....	72
19.3.1 Hydrierung und Reduktion .....	49	28.5 Reaktionen des Anthracens und Phenanthrens.....	72
19.3.2 Hydroborierung .....	49	28.6 Enzymatische Epoxidation des Benzo[a]pyrens .....	73
19.3.3 Elektrophile Addition von Halogenen .....	50		
19.3.4 Elektrophile Addition von HX.....	50		
19.3.5 CH-Acidität terminaler Alkine, Ethynylide .....	51		
19.3.6 oxidative Kupplung terminaler Alkine .....	51		
19.3.7 Cyclotr- und Cyclotetramerisierung .....	51		
<b>20 Cycloalkane .....</b>	<b>52</b>	<b>29 Nichtbenzoide Aromaten .....</b>	<b>74</b>
20.1 Übersicht, Nomenklatur .....	52	29.1 Nichtbenzoide aromatische Ionen.....	74
20.2 Konformation .....	52	29.1.1 Cyclopropenium-Ion.....	74
20.2.1 Cyclopropan.....	52	29.1.2 Cyclopentadienid-Anion.....	74
20.2.2 Cyclobutan.....	52	29.1.3 Cycloheptatrienium-Kation.....	75
20.2.3 Cyclopentan.....	53	29.2 [n]-Annulene .....	75
20.2.4 Cyclohexan .....	53		
20.3 Konfigurationsisomerie .....	54		
20.3.1 <i>cis</i> - und <i>trans</i> -disubstituierte Cycloalkane .....	54		
20.3.2 <i>cis</i> - und <i>trans</i> -Decalin .....	55		
20.3.3 Cyclohexen .....	55		
<b>21 Einfache Cycloalkan- und Cycloalken-Synthesen .....</b>	<b>56</b>	<b>30 Halogenalkane .....</b>	<b>76</b>
21.1 Cyclopropan .....	56	30.1 Klassifizierung, Nomenklatur .....	76
21.2 Cyclobutan .....	56	30.2 Herstellung .....	76
21.3 Cyclopenten und Cyclopentan .....	56	30.2.1 Radikalische Substitution von Alkanen .....	76
21.4 Cyclohexan, Cyclohexen .....	56	30.2.2 Addition von Halogenwasserstoff und Halogen an Alkene .....	76
21.5 Cycloheptadien, Cycloheptan .....	57	30.2.3 Substitution von Hydroxid in Alkoholen durch Halogen .....	77
21.6 Größere Ringe .....	57	30.2.4 Fluorierung mit Antimontrifluorid .....	77
<b>22 Reaktionen der Cycloalkane und Cycloalkene .....</b>	<b>58</b>	30.2.5 Iodierung von Halogenalkanen (FINKELSTEIN-Reaktion) .....	77
22.1 Spannungsgesetzte Reaktionen kleiner Ringe .....	58	30.3 Elektronegativität und induktiver Effekt .....	78
22.2 Alkan-analoge Reaktionen .....	58	30.4 Typische Reaktionen .....	78
22.3 Alken-analoge Reaktionen .....	58	30.4.1 Nucleophile Substitution des Halogens in Halogenalkanen .....	78
22.3.1 Addition von Brom .....	58	30.4.2 Dehydrohalogenierung ( $\beta$ -Eliminierung) .....	79
22.3.2 Katalytische Hydrierung .....	58	30.4.3 Metallierung .....	79
22.3.3 Dihydroxylierungen .....	59		
<b>23 Benzen, Aromatizität, Aromaten .....</b>	<b>60</b>	<b>31 Mechanismen der nucleophilen Substitution .....</b>	<b>80</b>
23.1 Struktur des Benzols .....	60	31.1 Bimolekulare nucleophile Substitution (zweiter Ordnung) .....	80
23.1.1 Molekülgometrie .....	60	31.2 Monomolekulare nucleophile Substitution (erster Ordnung) .....	81
23.1.2 Hydrierwärme .....	60		
23.1.3 Mesomerieenergie und Valenzstrichformeln des Benzols .....	60		
23.2 Molekülorbital-Modell des Benzols .....	61		
23.3 Aromatizitätskriterien .....	61		
<b>24 Benzoide Aromaten .....</b>	<b>62</b>	<b>32 Organometall-Verbindungen .....</b>	<b>82</b>
24.1 Monosubstituierte Benzene .....	62	32.1 Übersicht .....	82
24.2 Mehrfach substituierte Benzene .....	62	32.2 Herstellung .....	82
24.2 Herstellung benzoider Kohlenwasserstoffe .....	63	32.2.1 Metallierung von Halogenalkanen und Halogenaromatnen .....	82
24.2.1 fossile Quellen .....	63	32.2.2 Transmetallierung .....	82
24.2.3 Cyclotrimerisierung von Alkinen .....	63	32.2.3 Halogen-Metall-Austausch .....	83
25 Elektrophile Substitution benzoider Aromaten .....	64	32.2.4 Wasserstoff-Metall-Austausch .....	83
25.1 Substituierte Benzene durch elektrophile Substitution .....	64	32.3 Präparative Bedeutung .....	83
25.2 Elektrophile Halogenierung .....	64		
25.3 Elektrophile Alkylierung (FRIEDEL-CRAFTS-Alkylierung) .....	64		
25.4 Elektrophile Acylierung (FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung) .....	65		
25.5 Elektrophile Nitrierung .....	65		
25.6 Elektrophile Sulfonierung .....	65		
<b>26 Elektrophile Mehrfachsubstitution .....</b>	<b>66</b>	<b>33 Alkohole .....</b>	<b>84</b>
26.1 Mesomerieeffekte von Substituenten am Benzen-Ring .....	66	33.1 Nomenklatur und Klassifizierung .....	84
26.2 Regioselektivität der elektrophilen Zweisubstitution am Benzen .....	66	33.2 Struktur und physikalische Eigenschaften .....	84
<b>27 Weitere Reaktionen benzoider Aromaten .....</b>	<b>68</b>	33.3 Herstellung .....	85
27.1 Nucleophile Substitution am benzoiden Ring .....	68	33.3.1 Industrielle Synthesen von Methanol und Ethanol .....	85
27.2 Radikalische Substitution an der Seitenkette ("SSS") .....	68	33.3.2 Alkoholische Gärung (Biere, Weine, Destillate) .....	85
27.3 Hydrierung, Reduktion, Oxidation .....	68	33.3.3 Hydrierung von Alkenen .....	85
<b>28 Polycyclische benzoide Aromaten .....</b>	<b>70</b>	33.3.4 Hydroborierung von Alkenen und anschließende Oxidation .....	86
28.1 Fusionierung benzoider Ringe .....	70	33.3.5 Reduktion von Carbonyl-Verbindungen durch komplexe Hydride .....	86
28.2 Herstellung polycyclischer benzoide Aromaten .....	70	33.3.6 Nucleophile Substitution von Halogenalkanen .....	86
		33.3.7 Addition von Alkylmagnesiumhalogeniden an Carbonyl-Gruppen .....	87
		<b>34 Diole, Triole .....</b>	<b>88</b>
		34.1 Herstellung .....	88
		34.1.1 Dihydroxylierungen von Alkenen .....	88
		34.1.2 Hydrolyse von Halohydrinen .....	88
		34.1.3 Bimolekulare Reduktion von Carbonyl-Verbindungen .....	89
		34.2 Oxidative Glykolspaltungen .....	89
		<b>35 Reaktionen der Alkohole .....</b>	<b>90</b>
		35.1 Basizität und Acidität .....	90
		35.2 Oxidation .....	90
		35.3 Nucleophile Substitution .....	91
		35.4 Veresterung .....	91
		<b>36 Dehydratisierung von Alkoholen .....</b>	<b>92</b>
		36.1 Dehydratisierung von Alkoholen zu Alkenen .....	92
		36.2 Dehydratisierung voll alkylierter 1,2-Diole zu Ketonen .....	93
		<b>37 Ether .....</b>	<b>94</b>
		37.1 Übersicht, Nomenklatur .....	94
		37.2 Struktur und physikalische Eigenschaften .....	94
		37.3 Herstellung .....	94
		37.3.1 Bimolekulare Dehydratisierung von Alkoholen .....	94

37.3.2 Nucleophile Substitution von Halogenalkanen durch Alkoholat.....	94	45.2 Axiale Chiralität.....	122
37.4 Typische Reaktionen.....	95	45.3 Planare Chiralität und Helicität.....	123
37.4.1 Bildung von Dialkyloxonium-Salzen .....	95	<b>46 Diastereomere.....</b>	<b>124</b>
37.4.2 Autoxidation (Sauerstoff-Insertion).....	95	46.1 Verbindungen mit zwei verschiedenen stereogenen Zentren.....	124
37.4.3 Etherspaltung.....	95	46.2 Verbindungen mit zwei gleichen stereogenen Zentren.....	125
<b>38 Amine.....</b>	<b>96</b>	<b>47 Aldehyde.....</b>	<b>126</b>
38.1 Nomenklatur, Klassifizierung.....	96	47.1 Übersicht, Nomenklatur .....	126
38.2 Molekülstruktur.....	96	47.2 Herstellung.....	127
38.3 Herstellung.....	97	47.2.1 Oxidation von Methyl- und Hydroxymethyl-Gruppen .....	127
38.3.1 Alkylierung von Ammoniak.....	97	47.2.2 Hydrolyse von $\alpha,\alpha$ -Dihalogenalkanen .....	127
38.3.2 Alkylierung von Kaliumphthalimid zur Synthese primärer Amine .....	97	47.2.3 Reduktion von Carbonsäure-Derivaten .....	127
38.3.3 Reduktion von Nitrilen und Nitro-Verbindungen .....	97	47.2.4 Formylierung von Aromaten .....	127
<b>39 Reaktionen der Amine .....</b>	<b>98</b>	47.3 Molekülbau, Mesomerie und Reaktivität .....	128
39.1 Basizität aliphatischer und aromatischer Amine .....	98	47.4 Aldehyd-spezifische Reaktionen .....	128
39.2 Diazotierung primärer Amine.....	98	47.4.1 Oxidation zu Carbonsäuren und Nachweisreaktionen .....	128
39.3 N-Nitrosierung sekundärer Amine .....	99	47.4.2 CANNIZZARO-Disproportionierung aromatischer Aldehyde .....	129
39.4 Erschöpfende Alkylierung von Aminen .....	99	47.4.3 Hydrogensulf-Addition .....	129
39.5 HOFMANN-Eliminierung von Tetraalkylammonium-Hydroxiden.....	99	<b>48 Ketone.....</b>	<b>130</b>
39.6 Imine aus primären Aminen und Carbonyl-Verbindungen .....	100	48.1 Übersicht, Nomenklatur .....	130
39.7 Enamine aus sekundären Aminen und Carbonyl-Verbindungen .....	100	48.2 Herstellung .....	131
39.8 Reduktive Aminierung von Carbonyl-Verbindungen zu Aminen .....	101	48.2.1 Oxidation sekundärer Alkohole .....	131
<b>40 Diazo- und Azo-Verbindungen.....</b>	<b>102</b>	48.2.2 Katalytische Luftoxidation von Alkenen (WACKER-Prozess) .....	131
40.1 Aryldiazonium-Salze und Azofarbstoffe.....	102	48.2.3 Oxidation von Methylen-Gruppen (RILEY-Oxidation) .....	131
40.2 Azoalkane .....	103	48.2.4 Acylierung von Aromaten (FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung) .....	131
40.3 Diazoalkane .....	103	<b>49 Carbonyl-Reaktionen .....</b>	<b>132</b>
<b>41 Carbonsäuren .....</b>	<b>106</b>	49.1 Reaktionen mit Sauerstoff- und Schwefel-Nucleophilen .....	132
41.1 Übersicht, Nomenklatur .....	106	49.1.1 Hydratisierung (Wasser als Nucleophil) .....	132
41.2 Carboxy-Gruppe, Bindungsdaten und Mesomerie .....	106	49.1.2 Acetalisierung, Ketalsierung (Alkohole als Nucleophile) .....	132
41.3 Carbonsäure-Dimere .....	107	49.1.3 Thioacetalisierung (Mercaptalisierung) .....	132
41.4 Darstellung .....	107	49.2 Reaktionen mit Stickstoff-Nucleophilen .....	133
41.4.1 Carbonylierung .....	107	49.3 Reaktionen mit Kohlenstoff-Nucleophilen .....	133
41.4.2 Carboxylierung .....	107	49.3.1 Alkylierung .....	133
41.4.3 Oxidation von Methyl-, Hydroxymethyl- und Aldehyd-Gruppen .....	108	49.3.2 Cyanhydrin- und Benzoin-Reaktion .....	134
41.4.4 Hydrolyse von Carbonsäure-Derivaten .....	108	49.3.3 Addition von GRIGNARD-Verbindungen .....	134
41.5 Acidität .....	109	49.3.4 WITTIG-Alkenylierung (Carbonyl-Alkenylierung) .....	134
<b>42 Carbonsäure-Derivate.....</b>	<b>110</b>	49.4 Reduktionen .....	135
42.1 Carbonsäureester .....	110	<b>50 CH-Acidität der Carbonyl-Verbindungen.....</b>	<b>136</b>
42.2 Carbonsäurehalogenide .....	111	50.1 CH-Acidität von Carbonsäureestern und Esterkondensation .....	136
42.3 Carbonsäureanhydride .....	111	50.2 CH-Acidität von Aldehyden und Ketonen .....	136
42.4 Carbonsäureamide und cyclische Imide .....	111	50.2.1 Aldol-Reaktion .....	137
42.5 Hydrazide, Hydroxamsäuren und Azide .....	112	50.2.2 Esterkondensation .....	137
42.6 Umfunktionierung von Carbonsäure-Derivaten .....	112	50.2.3 MANNICH-Reaktion .....	137
42.6.1 Reduktion zu primären Alkoholen und zu Aldehyden .....	112	<b>51 1,3-Dicarbonyl-Verbindungen .....</b>	<b>138</b>
42.6.2 Reduktive Kupplung von Estern (Acylion Reaktion) .....	113	51.1 CH-Acidität .....	138
42.6.3 Decarboxylierung .....	113	51.2 Typische Reaktionen .....	138
42.6.4 Dehydratisierung von Carboxamiden zu Nitrilen und Isonitrilen .....	113	51.2.1 C-Alkylierung .....	138
<b>43 Substituierte Carbonsäuren.....</b>	<b>114</b>	51.2.2 Carbonyl-Alkenylierung (KNOEVENAGEL-Alkenylierung) .....	139
43.1 Nomenklatur .....	114	51.2.3 Nucleophile Addition an elektrophile CC-Doppelbindungen .....	139
43.2 Halogencarbonsäuren .....	115	51.2.4 Oxo-Enol-Tautomerie .....	140
43.2.1 Synthese .....	115	51.2.5 Cyclisierungen .....	141
43.2.2 Reaktionen .....	115	<b>52 Phenole .....</b>	<b>142</b>
43.3 Hydroxycarbonsäuren .....	116	52.1 Nomenklatur .....	142
43.3.1 Synthesen .....	116	52.2 Mesomerie, Acidität, Vergleich mit Alkoholen .....	142
43.3.2 Reaktionen .....	117	52.3 Herstellung .....	143
<b>44 Absolute Konfiguration .....</b>	<b>118</b>	52.3.1 Hock-Prozess (Synthese von Phenol und Aceton aus Cumén) .....	143
44.1 Stereogene Zentren, Enantiomere, Chiralität .....	118	52.3.2 Hydrolyse substituierter Chlorbenzene .....	143
44.2 Optische Aktivität und spezifische Drehung .....	118	52.3.3 Katalytische Oxidation von Methylaromataten .....	143
44.3 Spezifizierung der absoluten Konfiguration .....	118	52.3.4 Alkalischmelze von Arensulfonaten .....	144
44.3.1 CAHN-INGOLD-PRELOG-Konvention [CIP <sup>®</sup> , (R)- und (S)-] .....	119	52.3.5 Hydrolyse von Arendiazonium-Salzen .....	144
44.3.2 FISCHER-Konvention (D- und L-) .....	119	52.4 Typische Reaktionen .....	144
44.3.3 Korrelation von D-, L- und (R)-,(S)-Deskriptoren .....	120	52.4.1 Veretherung (WILLIAMSON-Synthese) .....	144
44.3.4 Racemate, Racemattrennung .....	121	53.4.2 Veresterung und FRIES-Umlagerung .....	144
44.4 Stereospezifität der bimolekularen nucleophilen Substitution .....	121	52.4.3 Elektrophile Substitution .....	145
<b>45 Enantiomere ohne C-Atome als Asymmetriezentren .....</b>	<b>122</b>	52.4.4 Oxidation zu Chinonen und Aroxyl-Radikalen .....	145
45.1 Heteroatome als Asymmetriezentren .....	122		

<b>53 Chinone</b> .....	146	<b>60 Heteroalicylen</b> .....	170
53.1 Übersicht und Nomenklatur .....	146	60.2 Allgemeine Synthesen .....	171
53.2 Darstellung .....	146	60.2.1 Intramolekulare Cyclisierungen .....	171
53.2.1 Oxidation von Phenolen und primären aromatischen Aminen .....	146	60.2.2 Cycloadditionen .....	171
53.2.2 Oxidation polycyclischer Aromaten .....	147	60.2.3 Katalytische Hydrierung von Heteroaromaten .....	172
53.2.3 Acylierung von Arenen mit Phthalsäureanhydrid .....	147	60.3 Reaktionen .....	172
53.3 Reaktionen .....	147	60.3.1 Heteroatom als Nucleophil .....	172
53.3.1 Redoxgleichgewicht Chinon-Hydrochinon .....	147	60.3.2 Ringöffnungen .....	173
53.3.2 Autoxidation der Anthrahydrochinone .....	148	60.3.3 Ringerweiterungen .....	173
53.3.3 Additionen .....	148		
53.3.4 Elektrophile Substitutionen der benzoiden Ringe .....	149		
53.3.5 Carbonyl-Reaktionen .....	149		
<b>54 Organoschwefel-Verbindungen</b> .....	150	<b>61 Monocyclische Fünfring-Heteroaromat</b> .....	174
54.1 Übersicht .....	150	61.1 Übersicht .....	174
54.2 Organoschwefel-Verbindungen mit bivalentem Schwefel .....	150	61.2 $\pi$ -Elektronenüberschuss-Heteroaromat .....	174
54.2.1 Thiole, Thiophenole, Disulfide .....	150	61.3 Exemplarische Synthesen .....	175
54.2.2 Thioether .....	151	61.3.1 Furan, Pyrrol, Thiophen .....	175
54.2.3 Sulfensäure-Derivate .....	151	61.3.2 Azole .....	175
54.2.4 Thioaldehyde, Thioketone .....	152	61.4 Typische Reaktionen .....	176
54.2.5 Thiolsäuren, Thionsäuren, Dithiocarbonsäuren .....	152	61.4.1 Basizität und Acidität des Pyrools .....	176
54.3 Verbindungen mit tetra- und hexavalentem Schwefel .....	152	61.4.2 Elektrophile Substitution .....	176
54.3.1 Sulfoxide, Sulfone .....	152	61.4.3 Dien-Reaktionen .....	176
54.3.2 Sulfinsäuren, Sulfonsäuren .....	152	61.4.4 Nucleophile Substitutionen .....	177
54.3.3 Sulfonsäure-Derivate .....	153	61.4.5 Ringöffnungen .....	177
<b>55 Kohlensäure-Derivate</b> .....	154	<b>62 Monocyclische Sechsring-Heteroaromat</b> .....	178
55.1 Übersicht .....	154	62.1 Übersicht .....	178
55.2 Kohlensäure-Halogenide .....	154	62.2 $\pi$ -Elektronenmangel-Heteroaromat .....	178
55.2.1 Phosgen .....	154	62.3 Exemplarische Synthesen .....	178
55.2.2 Kohlensäureesterchloride .....	154	62.3.1 Pyridine .....	178
55.3 Kohlensäureester .....	155	62.3.2 Pyrimidine .....	179
55.3.1 Dialkylcarbonate, Dialkylcarbonate .....	155	62.3.3 Pyrylium-Salze .....	179
55.3.2 Carbamidsäure, Urethane .....	155	62.4 Typische Reaktionen .....	180
55.4 Harnstoff .....	155	62.4.1 Reaktionen am Imino-N-Atom .....	180
55.5 Guanidin und Thioharnstoff .....	156	62.4.2 Nucleophile Substitution .....	180
55.6 Dithio- und Trithiocohlensäure-Derivate .....	157	62.4.3 Elektrophile Substitution .....	181
<b>56 Heterocumulene</b> .....	158	62.4.4 CH-Acidität von Methyl-Gruppen .....	181
56.1 Übersicht .....	158	<b>63 Benzo-kondensierte Fünfring-Heteroaromat</b> .....	182
56.2 Kohlensäure .....	158	63.1 Übersicht und Nomenklatur .....	182
56.3 Isocyanate, Isothiocyanate .....	158	63.2 Exemplarische Synthesen .....	182
56.4 Carbodiimide .....	159	63.2.1 Benzo[b]furan, Benzo[b]thiophen .....	182
<b>57 Umlagerungen</b> .....	160	63.2.2 Benzo[b]pyrrol .....	182
57.1 Anionotrope 1,2-Verschiebungen .....	160	63.2.3 Benzo-1,3-azole .....	183
57.1.1 Allgemeine Mechanismen (Sextett-Umlagerungen) .....	160	63.2.4 Carbazol .....	183
57.1.2 1,2-Verschiebungen von C zu C .....	161	63.3 Typische Reaktionen .....	183
57.1.3 Verschiebungen von C zu O .....	161	63.3.1 Elektrophile Substitutionen .....	184
57.1.4 1,2-Verschiebungen von C zu N .....	161	63.3.2 Cycloadditionen .....	184
57.2 Kationotrope 1,2-Verschiebungen über Carbanionen .....	162	63.3.3 Reaktionen der 2- und 3-Hydroxy-Derivate .....	185
57.2.1 FAVORSKII-Umlagerung (von C nach C) .....	162	<b>64 Benzo-kondensierte Sechsring-Heteroaromat</b> .....	186
57.2.2 STEVENS-Umlagerung (von N nach C) .....	162	64.1 Übersicht .....	186
57.2.3 WITTE-Umlagerung (von O nach C) .....	162	64.2 Exemplarische Synthesen .....	186
57.3 Umlagerungen an benzoiden Ringen .....	163	64.2.1 Chinoline .....	186
57.4 Sigmatrope Umlagerungen .....	163	64.2.2 Isochinoline .....	187
<b>58 Polymere, Polymerisation</b> .....	164	64.2.3 Benzopyrylium-Salze .....	187
58.1 Monomere, Oligomere, Polymere .....	164	64.3 Typische Reaktionen .....	187
58.2 Vinyl- und Dien-Polymer .....	164	64.3.1 Basizität und Reaktionen am Ring-Stickstoff .....	187
58.3 Polyether .....	165	64.3.2 Katalytische Hydrierung und oxidative Ringöffnung .....	188
58.4 Polyester .....	165	64.3.3 Nucleophile Additionen .....	188
58.5 Polyamide .....	166	64.3.4 Nucleophile Substitutionen .....	188
58.6 Polyurethane und Polyharnstoffe .....	167	64.3.5 Elektrophile Substitutionen .....	189
64.3.6 CH-Acidität von Methyl-Gruppen .....	189	<b>65 Fusionierte Heteroaromat</b> .....	190
<b>59 Synthesen mit Organosilicium-Verbindungen</b> .....	168	65.1 Heterobicyclen mit Stickstoff als Brückenkopf .....	190
59.1 Organosilicium und Organische Verbindungen im Vergleich .....	168	65.2 Purine .....	190
59.2 Halogensilane .....	168	65.2.1 Übersicht .....	190
59.3 Präparative Bedeutung der Trimethylsilyl-Verbindungen .....	168	65.2.2 Purin-Synthesen .....	191
59.3.1 Trimethylsilylierung .....	168	65.2.3 Oxidative Spaltung der Harnsäure .....	192
59.3.2 Synthesen mit Silylenolethern .....	168	65.3 Pteridine .....	192
59.4 Silicone .....	169	65.3.1 Übersicht .....	192
65.3.2 Pteridin-Synthesen .....	192		

<b>66</b>	<b>Lichtabsorption, Farbe, Farbstoffe, Pigmente</b>	<b>194</b>	<b>77</b>	<b>Steroide</b>	<b>224</b>
66.1	Lichtabsorption und Farbe	194	77.1	Übersicht, Ringverknüpfung	224
66.2	Farbstoffe und Pigmente	195	77.2	Cholesterol	224
66.3	Farbstoff-Typen	196	77.3	Gallensäuren	224
66.3.1	Bauprinzip am Beispiel der Azofarbstoffe	196	77.4	Steroidhormone	225
66.3.2	Polymethin-Farbstoffe	196	<b>78</b>	<b>Selektivität und Spezifität organischer Reaktionen</b>	<b>226</b>
66.3.3	Triarylmethin Farbstoffe	197	78.1	Chemospezifität	226
66.3.4	Carbonyl-Farbstoffe	197	78.2	Regioselektivität	226
66.3.5	Phthalocyanine	198	78.3	Stereoselektivität	227
<b>67</b>	<b>Porphyrinoide</b>	<b>198</b>	78.4	Stereospezifität	228
67.1	Porphyrine und Phthalocyanine als Polyaza[18]annulene	198	<b>79</b>	<b>Prochiralität, Enantioselektivität</b>	<b>230</b>
67.2	Porphyrinoide in Blut und Chloroplasten	198	79.1	Prochiralität tetraedrischer C-Atome	230
67.2.1	Häm	198	79.2	Prochiralität trigonaler C-Atome	230
67.2.2	Chlorophyll	199	79.3	Enantioselektivität	230
<b>68</b>	<b>Aminosäuren</b>	<b>200</b>	<b>80</b>	<b>Syntheseplanung</b>	<b>232</b>
68.1	Übersicht	200	80.1	Retrosynthetische Zerlegungen	232
68.2	Herstellung	201	80.2	Retrons und Synthons	232
68.3	Nachweisreaktion	201	80.3	Ausgewählte Synthesepläne	234
<b>69</b>	<b>Peptide, Proteine</b>	<b>202</b>	80.3.1	2-Ethyl-2-hexenal	234
69.1	Aminosäuresequenz der Peptide und Proteine	202	80.3.2	Diethyl 2,4-dioxoheptanoat	234
69.2	Biologische Funktion	202	80.3.3	2-(4-Isobutylphenyl)propanösäure	235
69.3	Struktur der Proteine	202	80.3.4	$\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol	235
69.4	Prinzip der Peptid-Synthese	203	<b>81</b>	<b>Aspekte der Moleküstruktur</b>	<b>236</b>
69.4.1	Schutzgruppen	203	81.1	Summenformel	236
69.4.2	Carboxy-Aktivierung	204	81.2	Konstitution	236
69.4.3	Peptid-Kupplung	205	81.3	Konformation	236
<b>70</b>	<b>Alkaloide</b>	<b>206</b>	81.4	Relative Konfiguration	236
70.1	Biologische Herkunft, Bedeutung, Bezeichnung	206	81.5	Absolute Konfiguration	237
70.2	Alkaloid-Wirkstoffe	206	<b>82</b>	<b>Massenspektrometrie</b>	<b>238</b>
<b>71</b>	<b>Kohlenhydrate: Aldosen und Ketosen</b>	<b>208</b>	82.1	Massenspektrum	238
71.1	Aldosen	208	82.2	Basis-Ion, Molekül-Ion	238
71.2	Ketosen	208	82.3	Fragment-Ionen und Konstitution	239
71.3	Cyclohalbacetale, Cyclohalbketale: Pyranosen und Furanozen	209	<b>83</b>	<b>IR-Spektroskopie</b>	<b>240</b>
71.4	Mutarotation	210	83.1	IR-Spektrum	240
71.5	Typische Reaktionen	210	83.2	Molekülschwingungen	240
71.5.1	Glycosidierungen	210	83.3	Identifizierung funktioneller Gruppen	241
71.5.2	O-Alkylierung, O-Acylierung	211	<b>84</b>	<b>Kernmagnetische Resonanz: Protonen-NMR</b>	<b>242</b>
71.5.3	Reduktion und Oxidation	211	84.1	Kernmagnetische Resonanz	242
<b>72</b>	<b>Kohlenhydrate: Oligo- und Polysaccharide</b>	<b>212</b>	84.2	Chemische Verschiebung	242
72.1	Oligosaccharide	212	84.3	NMR-Spektrum und Integral	243
72.2	Polysaccharide	213	84.4	Signalmultipletts und Kopplungskonstanten	243
<b>73</b>	<b>Nucleinsäuren: DNA und RNA</b>	<b>214</b>	84.4.1	Signalmultiplett	243
73.1	Nukleotide, Nucleoside, Nucleobasen	214	84.4.2	Kopplungskonstanten und relative Konfiguration	244
73.2	Basenpaarung und Doppelhelix der DNA	215	<b>85</b>	<b>Kernmagnetische Resonanz: Kohlenstoff-13-NMR</b>	<b>246</b>
<b>74</b>	<b>Lipide</b>	<b>216</b>	85.1	Kohlenstoff-13 als NMR-Sonde	246
74.1	Übersicht	216	85.2	Kohlenstoff-13-Verschiebungen	246
74.2	Fettsäuren, Fette, Seifen	216	85.3	CH-Kopplung und Detektion von CH-Multipletts	247
74.2.1	gesättigte und ungesättigte Fettsäuren	216	<b>86</b>	<b>Kernmagnetische Resonanz: zweidimensional</b>	<b>248</b>
74.2.2	Wachse, Seifen, Bio-Diesel	217	86.1	Homonukleare Korrelationsspektroskopie	248
<b>75</b>	<b>Polyketide</b>	<b>218</b>	86.1.1	Protonen-Protonen-Verschiebungskorrelation (HH-COSY)	248
75.1	Polyketid-Weg	218	86.1.2	Kohlenstoff-Kohlenstoff-Verschiebungskorrelation	248
75.2	Einfache Polyketide	218	86.2	Heteronukleare Verschiebungskorrelation (CH-Korrelation)	249
<b>76</b>	<b>Terpene</b>	<b>220</b>	<b>Bearbeitung der Fragen</b>	<b>250</b>	
76.1	Übersicht, Isopren-Regel	220	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>295</b>	
76.2	Vorkommen, Bedeutung	221	<b>Periodensystem der Elemente</b>	<b>314</b>	
76.3	Ausgewählte Terpene (Aromen, Düfte, Wirkstoffe)	221	<b>Nachschlagewerke, aktuelle Informationsquellen</b>	<b>316</b>	
76.3.1	Hemi- und Monoterpen	221			
76.3.2	Sesquiterpene	222			
76.3.3	Diterpene	222			
76.3.4	Triterpene	223			
76.3.5	Tetraterpene (Carotenoide)	223			
76.3.6	Polyterpene	223			