

# Inhalt

Inhalt .....	1
Vorwort .....	6
Organische Chemie .....	7
<b>1 Atomorbitale, Elektronenzustände .....</b>	<b>8</b>
1.2 s- und p-Orbitale .....	8
1.3 Elektronenspin von 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 WURTZ-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 Skelettformeln .....	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, Konformere .....	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 Alkenen .....	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 Molekülstruktur .....	44
17.2.1 Konformation .....	44
17.2.2 Bindungslängen und Mesomerie des 1,3-Butadiens .....	44
17.2.3 Molekülgeometrie des Allens .....	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	<b>29 Nichtbenzoide Aromaten</b>	<b>74</b>	
19.3.4	Elektrophile Addition von HX	50	29.1	Nichtbenzoide aromatische Ionen	74
19.3.5	CH-Acidität terminaler Alkine, Ethinylide	51	29.1.1	Cyclopropenium-Ion	74
19.3.6	Oxidative Kupplung terminaler Alkine	51	29.1.2	Cyclopentadienid-Anion	74
19.3.7	Cyclotrimer- und Cyclotetramerisierung	51	29.1.3	Cycloheptatrienium-Kation	75
<b>20 Cycloalkane</b>		<b>52</b>	29.2	[n]-Annulene	75
20.1	Übersicht, Nomenklatur	52	<b>30 Halogenalkane</b>	<b>76</b>	
20.2	Konformation	52	30.1	Klassifizierung, Nomenklatur	76
20.2.1	Cyclopropan	52	30.2	Herstellung	76
20.2.2	Cyclobutan	52	30.2.1	Radikalische Substitution von Alkanen	76
20.2.3	Cyclopentan	53	30.2.2	Addition von Halogenwasserstoff und Halogen an Alkene	76
20.2.4	Cyclohexan	53	30.2.3	Substitution von Hydroxid in Alkoholen durch Halogen	77
20.3	Konfigurationsisomerie	54	30.2.4	Fluorierung mit Antimontrifluorid	77
20.3.1	cis- und trans-disubstituierte Cycloalkane	54	30.2.5	Iodierung von Halogenalkanen (FINDELSTEIN-Reaktion)	77
20.3.2	cis- und trans-Decalin	55	30.3	Elektronegativität und induktiver Effekt	78
20.3.3	Cyclohexen	55	30.4	Typische Reaktionen	78
<b>21 Einfache Cycloalkan- und Cycloalken-Synthesen</b>		<b>56</b>	30.4.1	Nucleophile Substitution des Halogens in Halogenalkanen	78
21.1	Cyclopropan	56	30.4.2	Dehydrohalogenierung ( $\beta$ -Eliminierung)	79
21.2	Cyclobutan	56	30.4.3	Metallierung	79
21.3	Cyclopenten und Cyclopentan	56	<b>31 Mechanismen der nucleophilen Substitution</b>	<b>80</b>	
21.4	Cyclohexan, Cyclohexen	56	31.1	Bimolekulare nucleophile Substitution (zweiter Ordnung)	80
21.5	Cycloheptadien, Cycloheptan	57	31.2	Monomolekulare nucleophile Substitution (erster Ordnung)	81
21.6	Größere Ringe	57	<b>32 Organometall-Verbindungen</b>	<b>82</b>	
<b>22 Reaktionen der Cycloalkane und Cycloalkene</b>		<b>58</b>	32.1	Übersicht	82
22.1	Spannungsgetriebene Reaktionen kleiner Ringe	58	32.2	Herstellung	82
22.2	Alkan-analoga Reaktionen	58	32.2.1	Metallierung von Halogenalkanen und Halogenaromaten	82
22.3	Alken-analoga Reaktionen	58	32.2.2	Transmetallierung	82
22.3.1	Addition von Brom	58	32.2.3	Halogen-Metall-Austausch	83
22.3.2	Katalytische Hydrierung	58	32.2.4	Wasserstoff-Metall-Austausch	83
22.3.3	Dihydroxylierungen	59	32.3	Präparative Bedeutung	83
<b>23 Benzen, Aromatizität, Aromaten</b>		<b>60</b>	<b>33 Alkohole</b>	<b>84</b>	
23.1	Struktur des Benzens	60	33.1	Nomenklatur und Klassifizierung	84
23.1.1	Molekülgeometrie	60	33.2	Struktur und physikalische Eigenschaften	84
23.1.2	Hydrierwärme	60	33.3	Herstellung	85
23.1.3	Mesomerieenergie und Valenzstrichformeln des Benzens	60	33.3.1	Industrielle Synthesen von Methanol und Ethanol	85
23.2	Molekülorbital-Modell des Benzens	61	33.3.2	Alkoholische Gärung (Biere, Weine, Destillate)	85
23.3	Aromatizitätskriterien	61	33.3.3	Hydratisierung von Alkenen	85
<b>24 Benzoide Aromaten</b>		<b>62</b>	33.3.4	Hydroborierung von Alkenen und anschließende Oxidation	86
24.1	Monosubstituierte Benzene	62	33.3.5	Reduktion von Carbonyl-Verbindungen durch komplexe Hydride	86
24.2	Mehrfach substituierte Benzene	62	33.3.6	Nucleophile Substitution von Halogenalkanen	86
24.2	Herstellung benzoider Kohlenwasserstoffe	63	33.3.7	Addition von Alkylmagnesiumhalogeniden an Carbonyl-Gruppen	87
24.2.1	fossile Quellen	63	<b>34 Diole, Triole</b>	<b>88</b>	
24.2.3	Cyclotrimerisierung von Alkinen	63	34.1	Herstellung	88
<b>25 Elektrophile Substitution benzoider Aromaten</b>		<b>64</b>	34.1.1	Dihydroxylierungen von Alkenen	88
25.1	Substituierte Benzene durch elektrophile Substitution	64	34.1.2	Hydrolyse von Halohydrinen	88
25.2	Elektrophile Halogenierung	64	34.1.3	Bimolekulare Reduktion von Carbonyl-Verbindungen	89
25.3	Elektrophile Alkylierung (FRIEDEL-CRAFTS-Alkylierung)	64	34.2	Oxidative Glykolspaltungen	89
25.4	Elektrophile Acylierung (FRIEDEL-CRAFTS-Acylierung)	65	<b>35 Reaktionen der Alkohole</b>	<b>90</b>	
25.5	Elektrophile Nitrierung	65	35.1	Basizität und Acidität	90
25.6	Elektrophile Sulfonierung	65	35.2	Oxidation	90
<b>26 Elektrophile Mehrfachsubstitution</b>		<b>66</b>	35.3	Nucleophile Substitution	91
26.1	Mesomerieeffekte von Substituenten am Benzen-Ring	66	35.4	Veresterung	91
26.2	Regioselektivität der elektrophilen Zweitsubstitution am Benzen	66	<b>36 Dehydratisierung von Alkoholen</b>	<b>92</b>	
<b>27 Weitere Reaktionen benzoider Aromaten</b>		<b>68</b>	36.1	Dehydratisierung von Alkoholen zu Alkenen	92
27.1	Nucleophile Substitution am benzoide Ring	68	36.2	Dehydratisierung voll alkylierter 1,2-Diole zu Ketonen	93
27.2	Radikalische Substitution an der Seitenkette ("SSS")	68	<b>37 Ether</b>	<b>94</b>	
27.3	Hydrierung, Reduktion, Oxidation	68	37.1	Übersicht, Nomenklatur	94
<b>28 Polycyclische benzoide Aromaten</b>		<b>70</b>	37.2	Struktur und physikalische Eigenschaften	94
28.1	Fusionierung benzoider Ringe	70	37.3	Herstellung	94
28.2	Herstellung polycyclischer benzoider Aromaten	70	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</b>	<b>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</b>	<b>Amine</b>	<b>96</b>	<b>47</b>	<b>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</b>	<b>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	<i>N</i> -Nitrosierung sekundärer Amine	99	47.4.2	CANNIZZARO-Disproportionierung aromatischer Aldehyde	129
39.4	Erschöpfende Alkylierung von Aminen	99	47.4.3	Hydrogensulfit-Addition	129
39.5	HOFMANN-Eliminierung von Tetraalkylammonium-Hydroxiden	99	<b>48</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Carbonyl-Reaktionen</b>	<b>132</b>
<b>41</b>	<b>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, Ketalisierung (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	Alkinylierung	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</b>	<b>Carbonsäure-Derivate</b>	<b>110</b>	49.4	Reduktionen	135
42.1	Carbonsäureester	110	<b>50</b>	<b>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	Umfunktionalisierung von Carbonsäure-Derivaten	112	50.2.3	MANNICH-Reaktion	137
42.6.1	Reduktion zu primären Alkoholen und zu Aldehyden	112	<b>51</b>	<b>1,3-Dicarbonyl-Verbindungen</b>	<b>138</b>
42.6.2	Reduktive Kupplung von Estern (Acyloin 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</b>	<b>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	Halogen-carbonsäuren	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</b>	<b>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</b>	<b>Absolute Konfiguration</b>	<b>118</b>	52.3.1	HOCK-Prozess (Synthese von Phenol und Aceton aus Cumen)	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 Methylaromaten	143
44.3	Spezifizierung der absoluten Konfiguration	118	52.3.4	Alkalischmelze von Arensulfonaten	144
44.3.1	CAHN-INGOLD-PRELOG-Konvention ["CIP", (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</b>	<b>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> .....	<b>146</b>	<b>60 Heteroalicyclen</b> .....	<b>170</b>
53.1 Übersicht und Nomenklaturi.....	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	<b>61 Monocyclische Fünfring-Heteroaromaten</b> .....	<b>174</b>
53.3.4 Elektrophile Substitutionen der benzoiden Ringe.....	149	61.1 Übersicht.....	174
53.3.5 Carbonyl-Reaktionen.....	149	61.2 $\pi$ -Elektronenüberschuss-Heteroaromaten.....	174
<b>54 Organoschwefel-Verbindungen</b> .....	<b>150</b>	61.3 Exemplarische Synthesen.....	175
54.1 Übersicht.....	150	61.3.1 Furan, Pyrrol, Thiophen.....	175
54.2 Organoschwefel-Verbindungen mit bivalentem Schwefel.....	150	61.3.2 Azole.....	175
54.2.1 Thiole, Thiophenole, Disulfide.....	150	61.4 Typische Reaktionen.....	176
54.2.2 Thioether.....	151	61.4.1 Basizität und Acidität des Pyrrols.....	176
54.2.3 Sulfensäure-Derivate.....	151	61.4.2 Elektrophile Substitution.....	176
54.2.4 Thioaldehyde, Thioketone.....	152	61.4.3 Dien-Reaktionen.....	176
54.2.5 Thioisäuren, Thionsäuren, Dithiocarbonsäuren.....	152	61.4.4 Nucleophile Substitutionen.....	177
54.3 Verbindungen mit tetra- und hexavalentem Schwefel.....	152	61.4.5 Ringöffnungen.....	177
54.3.1 Sulfoxide, Sulfone.....	152	<b>62 Monocyclische Sechsring-Heteroaromaten</b> .....	<b>178</b>
54.3.2 Sulfinsäuren, Sulfonsäuren.....	152	62.1 Übersicht.....	178
54.3.3 Sulfonsäure-Derivate.....	153	62.2 $\pi$ -Elektronenmangel-Heteroaromaten.....	178
<b>55 Kohlensäure-Derivate</b> .....	<b>154</b>	62.3 Exemplarische Synthesen.....	178
55.1 Übersicht.....	154	62.3.1 Pyridine.....	178
55.2 Kohlensäure-Halogenide.....	154	62.3.2 Pyrimidine.....	179
55.2.1 Phosgen.....	154	62.3.3 Pyrylium-Salze.....	179
55.2.2 Kohlensäureesterchloride.....	154	62.4 Typische Reaktionen.....	180
55.3 Kohlensäureester.....	155	62.4.1 Reaktionen am Imino-N-Atom.....	180
55.3.1 Dialkylcarbonate, Dialkylcarbonate.....	155	62.4.2 Nucleophile Substitution.....	180
55.3.2 Carbaminsäure, Urethane.....	155	62.4.3 Elektrophile Substitution.....	181
55.4 Harnstoff.....	155	62.4.4 CH-Acidität von Methyl-Gruppen.....	181
55.5 Guanidin und Thioharnstoff.....	156	<b>63 Benzo-kondensierte Fünfring-Heteroaromaten</b> .....	<b>182</b>
55.6 Dithio- und Trithiokohlensäure-Derivate.....	157	63.1 Übersicht und Nomenklatur.....	182
<b>56 Heterocumulene</b> .....	<b>158</b>	63.2 Exemplarische Synthesen.....	182
56.1 Übersicht.....	158	63.2.1 Benzo[b]furan, Benzo[b]thiophen.....	182
56.2 Kohlendisulfid.....	158	63.2.2 Benzo[b]pyrrol.....	182
56.3 Isocyanate, Isothiocyanate.....	158	63.2.3 Benzo-1,3-azole.....	183
56.4 Carbodiimide.....	159	63.2.4 Carbazol.....	183
<b>57 Umlagerungen</b> .....	<b>160</b>	63.3 Typische Reaktionen.....	183
57.1 Anionotrope 1,2-Verschiebungen.....	160	63.3.1 Elektrophile Substitutionen.....	184
57.1.1 Allgemeine Mechanismen (Sextett-Umlagerungen).....	160	63.3.2 Cycloadditionen.....	184
57.1.2 1,2-Verschiebungen von C zu C.....	161	63.3.3 Reaktionen der 2- und 3-Hydroxy-Derivate.....	185
57.1.3 Verschiebungen von C zu O.....	161	<b>64 Benzo-kondensierte Sechsring-Heteroaromaten</b> .....	<b>186</b>
57.1.4 1,2-Verschiebungen von C zu N.....	161	64.1 Übersicht.....	186
57.2 Kationotrope 1,2-Verschiebungen über Carbanionen.....	162	64.2 Exemplarische Synthesen.....	186
57.2.1 FAVORSKII-Umlagerung (von C nach C).....	162	64.2.1 Chinoline.....	186
57.2.2 STEVENS-Umlagerung (von N nach C).....	162	64.2.2 Isochinoline.....	187
57.2.3 WITTIG-Umlagerung (von O nach C).....	162	64.2.3 Benzopyrylium-Salze.....	187
57.3 Umlagerungen an benzoiden Ringen.....	163	64.3 Typische Reaktionen.....	187
57.4 Sigmatrope Umlagerungen.....	163	64.3.1 Basizität und Reaktionen am Ring-Stickstoff.....	187
<b>58 Polymere, Polymerisation</b> .....	<b>164</b>	64.3.2 Katalytische Hydrierung und oxidative Ringöffnung.....	188
58.1 Monomere, Oligomere, Polymere.....	164	64.3.3 Nucleophile Additionen.....	188
58.2 Vinyl- und Dien-Polymere.....	164	64.3.4 Nucleophile Substitutionen.....	188
58.3 Polyether.....	165	64.3.5 Elektrophile Substitutionen.....	189
58.4 Polyester.....	165	64.3.6 CH-Acidität von Methyl-Gruppen.....	189
58.5 Polyamide.....	166	<b>65 Fusionierte Heteroaromaten</b> .....	<b>190</b>
58.6 Polyurethane und Polyharnstoffe.....	167	65.1 Heterobicyclen mit Stickstoff als Brückenkopf.....	190
<b>59 Synthesen mit Organosilicium-Verbindungen</b> .....	<b>168</b>	65.2 Purine.....	190
59.1 Organosilicium und Organische Verbindungen im Vergleich.....	168	65.2.1 Übersicht.....	190
59.2 Halogensilane.....	168	65.2.2 Purin-Synthesen.....	191
59.3 Präparative Bedeutung der Trimethylsilyl Verbindungen.....	168	65.2.3 Oxidative Spaltung der Harnsäure.....	192
59.3.1 Trimethylsilylierung.....	168	65.3 Pteridine.....	192
59.3.2 Synthesen mit Silylenolethern.....	168	65.3.1 Übersicht.....	192
59.4 Silicone.....	169	65.3.2 Pteridin-Synthesen.....	192

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