

# Inhalt

Inhalt .....	1
Vorwort .....	6
Organische Chemie .....	7
1 Atomorbitale, Elektronenzustände .....	8
1.2 s- und p-Orbitale .....	8
1.3 Elektronenspin und PAULI-Prinzip .....	8
1.4 Elektronenkonfiguration leichter Atome .....	9
2 Kovalente Bindung des Wasserstoff-Moleküls .....	10
2.1 Arten der chemischen Bindung .....	10
2.2 Kovalente Bindung durch Überlappung von Atomorbitalen .....	10
2.3 Überlappung von p-Orbitalen .....	11
3 Hybridisierung von Atomorbitalen .....	12
3.1 Geometrie des Methan-Moleküls .....	12
3.2 Hybridisierung von Atomorbitalen .....	12
3.3 CH-Bindungen des Methans .....	12
4 Kovalente Bindung der C <sub>2</sub> -Kohlenwasserstoffe .....	14
4.1 Ethan, CC-Einfachbindung .....	14
4.2 Ethen, CC-Doppelbindung .....	14
4.3 Ethin, CC-Dreifachbindung .....	15
5 Alkane .....	16
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
6 Konstitution, Konstitutionsisomerie .....	18
6.1 Atomverknüpfung .....	18
6.2 Konstitutionsisomere .....	18
7 Grundregeln der Nomenklatur .....	20
7.1 IUPAC-Regeln .....	20
7.2 Verzweigte Alkyl-Gruppen .....	20
8 Molekülschreibweisen .....	22
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
9 Konformation .....	24
9.1 Konformation, Konformere .....	24
9.2 Energieinhalte und Nomenklatur von Konformeren .....	24
10 Reaktive Zwischenstufen .....	26
10.1 Radikale .....	26
10.2 Ionen .....	26
10.3 Carbene .....	27
11 Grundtypen organischer Reaktionen .....	28
11.1 Addition .....	28
11.2 Eliminierung .....	28
11.3 Oxidation .....	28
11.4 Reduktion .....	28
11.5 Substitution .....	28
11.6 Umlagerung .....	29
12 Energieumsätze chemischer Reaktionen .....	30
12.1 Aktivierungsenergie, Reaktionswärme .....	30
12.2 Katalyse .....	30
12.3 Kinetische und thermodynamische Kontrolle .....	31
13 Radikalische Substitution .....	32
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
14 Alkene, Konstitution und relative Konfiguration .....	34
14.1 Übersicht, Nomenklatur, Konstitutionsisomerie .....	34
14.2 Relative Konfiguration der Alkene .....	34
15 Alken-Synthesen .....	36
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
16 Additionen an Alkene .....	40
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
17 Diene .....	44
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
18 Additionen und Cycloadditionen mit 1,3-Dienen .....	46
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
19 Alkine .....	48
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, Ethynylide.....	51	29.1.1	Cyclopropenium-Ion.....	74
19.3.6	Oxidative Kupplung terminaler Alkine .....	51	29.1.2	Cyclopentadienid-Anion.....	74
19.3.7	Cyclotri- 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 (FINKELSTEIN-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 Cycloalkan-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-analoge Reaktionen .....	58	32.2.1	Metallierung von Halogenalkanen und Halogenaromaten.....	82
22.3	Alken-analoge 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 benzoischen 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 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 Hydrogensulfit-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 Methylgruppen (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, 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 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 (Acyloln 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 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 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 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	<b>61 Monocyclische Fünfring-Heteroaromaten</b>	<b>174</b>
53.3.5 Carbonyl-Reaktionen	149	61.1 Übersicht	174
<b>54 Organoschwefel-Verbindungen</b>	<b>150</b>	61.2 $\pi$ -Elektronenüberschuss-Heteroaromaten	174
54.1 Übersicht	150	61.3 Exemplarische Synthesen	175
54.2 Organoschwefel-Verbindungen mit bivalentem Schwefel	150	61.3.1 Furan, Pyrrol, Thiophen	175
54.2.1 Thiole, Thiophenole, Disulfide	150	61.3.2 Azole	175
54.2.2 Thioether	151	61.4 Typische Reaktionen	176
54.2.3 Sulfensäure-Derivate	151	61.4.1 Basizität und Acidität des Pyrrols	176
54.2.4 Thioaldehyde, Thioketone	152	61.4.2 Elektrophile Substitution	176
54.2.5 Thioisäuren, Thioisäuren, Dithiocarbonsäuren	152	61.4.3 Dien-Reaktionen	176
54.3 Verbindungen mit tetra- und hexavalentem Schwefel	152	61.4.4 Nucleophile Substitutionen	177
54.3.1 Sulfoxide, Sulfone	152	61.4.5 Ringöffnungen	177
54.3.2 Sulfinsäuren, Sulfonsäuren	152		
54.3.3 Sulfonsäure-Derivate	153	<b>62 Monocyclische Sechsring-Heteroaromaten</b>	<b>178</b>
<b>55 Kohlensäure-Derivate</b>	<b>154</b>	62.1 Übersicht	178
55.1 Übersicht	154	62.2 $\pi$ -Elektronenmangel-Heteroaromaten	178
55.2 Kohlensäure-Halogenide	154	62.3 Exemplarische Synthesen	178
55.2.1 Phosgen	154	62.3.1 Pyridine	178
55.2.2 Kohlensäureesterchloride	154	62.3.2 Pyrimidine	179
55.3 Kohlensäureester	155	62.3.3 Pirylium-Salze	179
55.3.1 Dialkylcarbonate, Dialkylidicarbonate	155	62.4 Typische Reaktionen	180
55.3.2 Carbamidsäure, Urethane	155	62.4.1 Reaktionen am Imino-N-Atom	180
55.4 Harnstoff	155	62.4.2 Nucleophile Substitution	180
55.5 Guanidin und Thioharnstoff	156	62.4.3 Elektrophile Substitution	181
55.6 Dithio- und Trithiokohlensäure-Derivate	157	62.4.4 CH-Acidität von Methyl-Gruppen	181
<b>56 Heterocumulene</b>	<b>158</b>		
56.1 Übersicht	158	<b>63 Benzo-kondensierte Fünfring-Heteroaromaten</b>	<b>182</b>
56.2 Kohlendisulfid	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>	<b>160</b>	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		
57.2.2 STEVENS-Umlagerung (von N nach C)	162	<b>64 Benzo-kondensierte Sechsring-Heteroaromaten</b>	<b>186</b>
57.2.3 WITTIG-Umlagerung (von O nach C)	162	64.1 Übersicht	186
57.3 Umlagerungen an benzoiden Ringen	163	64.2 Exemplarische Synthesen	186
57.4 Sigmatrope Umlagerungen	163	64.2.1 Chinoline	186
<b>58 Polymere, Polymerisation</b>	<b>164</b>	64.2.2 Isochinoline	187
58.1 Monomere, Oligomere, Polymere	164	64.2.3 Benzopyrylium-Salze	187
58.2 Vinyl- und Dien-Polymere	164	64.3 Typische Reaktionen	187
58.3 Polyether	165	64.3.1 Basizität und Reaktionen am Ring-Stickstoff	187
58.4 Polyester	165	64.3.2 Katalytische Hydrierung und oxidative Ringöffnung	188
58.5 Polyamide	166	64.3.3 Nucleophile Additionen	188
58.6 Polyurethane und Polyharnstoffe	167	64.3.4 Nucleophile Substitutionen	188
<b>59 Synthesen mit Organosilicium-Verbindungen</b>	<b>168</b>	64.3.5 Elektrophile Substitutionen	189
59.1 Organosilicium und Organische Verbindungen im Vergleich	168	64.3.6 CH-Acidität von Methyl-Gruppen	189
59.2 Halogensilane	168		
59.3 Präparative Bedeutung der Trimethylsilyl Verbindungen	168	<b>65 Fusionierte Heteroaromaten</b>	<b>190</b>
59.3.1 Trimethylsilylierung	168	65.1 Heterobicyclen mit Stickstoff als Brückenkopf	190
59.3.2 Synthesen mit Silylenolethern	168	65.2 Purine	190
59.4 Silicone	169	65.2.1 Übersicht	190
		65.2.2 Purin-Synthesen	191
		65.2.3 Oxidative Spaltung der Harnsäure	192
		65.3 Pteridine	192
		65.3.1 Übersicht	192
		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 tetraedischer 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 Signalmultiplets und Kopplungskonstanten .....	243
73.1 Nucleotide, Nucleoside, Nucleobasen .....	214	84.4.1 Signalmultiplets .....	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-Multiplets .....	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 Korrelationspektroskopie .....	248
75.1 Polyketid-Weg .....	218	86.1.1 Protonen-Protonen-Verschiebungskorrelation (HH-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 (CH-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		