

# Inhaltsverzeichnis

## 1 Allgemeiner Teil

1

<b>1.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1	<b>1.5</b>	<b>Ermittlung chemischer Formeln</b>	14
<b>1.2</b>	<b>Die reine Substanz</b> .....	3	1.5.1	Verhältnisformel .....	14
1.2.1	Kristallisation .....	3	1.5.2	Bestimmung der relativen Molekül- masse bzw. der Molekularformel	15
1.2.2	Destillation und Rektifikation ..	4	1.5.3	Struktur- und Konstitutions- formel .....	17
1.2.3	Destillation und Sublimation im Fein- und Hochvakuum .....	5	<b>1.6</b>	<b>Arten der chemischen</b>	
1.2.4	Zonenschmelzen .....	5		<b>Bindungen</b> .....	18
1.2.5	Wasserdampfdestillation .....	6	1.6.1	Atombau .....	18
1.2.6	Extraktion .....	6	1.6.2	Ionenbindung (Ionenbeziehung)	23
1.2.7	Adsorptionschromatographie ..	6	1.6.3	Atombindung .....	23
1.2.8	Gel-Chromatographie .....	7	1.6.4	C-H- und C-C-Bindung .....	24
1.2.9	Verteilungschromatographie ..	7	1.6.5	Oniumkomplexe .....	27
1.2.10	Papierchromatographie (PC) ...	8	1.6.6	Polare Atombindung .....	27
1.2.11	Dünnschichtchromato- graphie (DC) .....	8	<b>1.7</b>	<b>Funktionelle Gruppen und induktiver</b>	
1.2.12	Gaschromatographie (GC) .....	9		<b>Effekt</b> .....	29
1.2.13	Kriterien der reinen Substanz ..	10	<b>1.8</b>	<b>Physikalische Methoden der Struktur- aufklärung</b> .....	31
<b>1.3</b>	<b>Qualitative organische Elementar- analyse</b> .....	11	1.8.1	Massenspektrometrie .....	32
1.3.1	Kohlenstoff .....	11	1.8.2	IR-Spektroskopie .....	35
1.3.2	Wasserstoff .....	11	1.8.3	UV-Sichtbar-Spektroskopie ....	38
1.3.3	Stickstoff .....	11	1.8.4	Photoelektronenspektroskopie (PE-Spektroskopie) .....	40
1.3.4	Schwefel .....	12	1.8.5	Kernmagnetische Resonanz- spektroskopie .....	42
1.3.5	Halogene .....	12	1.8.6	Elektronenspinresonanz .....	47
1.3.6	Übrige Elemente .....	12	1.8.7	Ionen-Cyclotron-Resonanz (ICR) .....	50
<b>1.4</b>	<b>Quantitative organische Elementar- analyse</b> .....	12	1.8.8	Kristallstrukturanalyse .....	50
1.4.1	Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff .....	12	<b>1.9</b>	<b>Einteilung des Stoffgebiets</b>	
1.4.2	Schwefel .....	13		<b>der organischen Chemie</b> .....	51
1.4.3	Halogene (Chlor, Brom, Iod) ...	13			

## 2 Aliphatische Verbindungen

53

<p><b>2.1 Alkane (Paraffine) <math>C_nH_{2n+2}</math> . . . . . 53</b></p> <p>2.1.1 Methan . . . . . 55</p> <p>2.1.2 Ethan . . . . . 56</p> <p>2.1.3 Propan und Butane . . . . . 57</p> <p>2.1.4 Pentane und höhere Homologe . . . . . 58</p> <p>2.1.5 Konformationen des Ethans . . . . . 59</p> <p><b>2.2 Alkene (Olefine), <math>C_nH_{2n}</math> . . . . . 61</b></p> <p>2.2.1 Ethylen (Ethen) und Propen . . . . . 62</p> <p>2.2.2 Butene, Isobuten und Homologe . . . . . 64</p> <p>2.2.3 Die C=C-Doppelbindung . . . . . 65</p> <p>2.2.4 Die <i>cis-trans</i>-Isomerie der Ethylene . . . . . 67</p> <p>2.2.5 &gt; Additionsreaktionen . . . . . 69</p> <p><b>2.3 Polymerisation der Alkene und Vinyl-derivate . . . . . 75</b></p> <p>2.3.1 Radikalkettenpolymerisation . . . . . 76</p> <p>2.3.2 Ionenkettenpolymerisation . . . . . 77</p> <p>2.3.3 Koordinative Ketten- polymerisation . . . . . 78</p> <p>2.3.4 &gt; Polymerisation der Alkene . . . . . 78</p> <p>2.3.5 Polymerisation der Vinyl- verbindungen . . . . . 81</p> <p><b>2.4 Erdölchemie . . . . . 84</b></p> <p>2.4.1 Erdöl und Erdgas . . . . . 84</p> <p>2.4.2 Treibstoffe aus Erdöl . . . . . 87</p> <p>2.4.3 Treibstoffe aus Kohle . . . . . 90</p> <p><b>2.5 Petrolchemie . . . . . 90</b></p> <p><b>2.6 Alkine (Acetylene), <math>C_nH_{2n-2}</math> . . . . . 92</b></p> <p>2.6.1 Darstellung . . . . . 93</p> <p>2.6.2 Die C≡C-Dreifachbindung . . . . . 94</p> <p>2.6.3 Additionsreaktionen . . . . . 97</p> <p>2.6.4 <i>Reppe</i>-Synthesen . . . . . 99</p> <p><b>2.7 Kohlenwasserstoffe mit zwei oder mehr C=C-Doppelbindungen (Polyene) . . . . . 102</b></p> <p>2.7.1 Allene . . . . . 102</p> <p>2.7.2 Diene . . . . . 103</p> <p>2.7.3 1,2- und 1,4-Addition; Mesomerie . . . . . 104</p> <p>2.7.4 <i>Woodward-Hoffmann</i>-Regeln . . . . . 107</p> <p>2.7.5 Diolefine . . . . . 111</p> <p><b>2.8 &gt; Einwertige Alkohole (Alkanole) . . . . . 112</b></p> <p>2.8.1 Die Wasserstoffbindung (Wasserstoffbrücke) . . . . . 113</p> <p>2.8.2 Oxidationsprodukte der Alkohole . . . . . 115</p> <p>2.8.3 Methanol (Methylalkohol, Carbinol) . . . . . 116</p>	<p>2.8.4 Ethanol (Ethylalkohol) . . . . . 117</p> <p>2.8.5 Propanole (Propylalkohole) . . . . . 119</p> <p>2.8.6 Butanole (Butylalkohole) . . . . . 119</p> <p>2.8.7 Pentanole (Pentyl- oder Amylalkohole) . . . . . 120</p> <p>2.8.8 Optische Isomerie . . . . . 121</p> <p>2.8.9 Höhere Alkohole, <math>C_nH_{2n+1}OH</math> . . . . . 124</p> <p>2.8.10 Ungesättigte Alkohole (Alkenole und Alkinole) . . . . . 124</p> <p><b>2.9 Halogenderivate der Alkane . . . . . 126</b></p> <p>2.9.1 Alkylhalogenide (Halogenalkane) . . . . . 126</p> <p>2.9.2 Mechanismen der nucleophilen Substitution am gesättigten C-Atom . . . . . 129</p> <p>2.9.3 Eliminierungsreaktionen . . . . . 134</p> <p>2.9.4 Phasentransfer-Katalyse (PTC) . . . . . 135</p> <p>2.9.5 Fragmentierungsreaktionen . . . . . 135</p> <p>2.9.6 Höherhalogenierte Alkane . . . . . 136</p> <p>2.9.7 Fluorierte Kohlenwasserstoffe . . . . . 138</p> <p><b>2.10 Ester anorganischer Säuren . . . . . 141</b></p> <p>2.10.1 Ester der Schwefelsäure . . . . . 141</p> <p>2.10.2 Ester der Salpetersäure . . . . . 142</p> <p>2.10.3 Ester der salpetrigen Säure . . . . . 142</p> <p>2.10.4 Ester der Phosphorsäure . . . . . 143</p> <p>2.10.5 Ester der Borsäure . . . . . 143</p> <p><b>2.11 Ether . . . . . 144</b></p> <p>2.11.1 Darstellung . . . . . 144</p> <p>2.11.2 Eigenschaften . . . . . 145</p> <p><b>2.12 Alkanthiole (Mercaptane) . . . . . 147</b></p> <p>2.12.1 Darstellung . . . . . 147</p> <p>2.12.2 Eigenschaften und Verwendung . . . . . 148</p> <p><b>2.13 Dialkylsulfide (Thioether) . . . . . 148</b></p> <p>2.13.1 Darstellung . . . . . 149</p> <p>2.13.2 Eigenschaften . . . . . 149</p> <p>2.13.3 Sulfoxide und Sulfone . . . . . 150</p> <p><b>2.14 Aliphatische Sulfonsäuren, Sulfonyl- chloride, Sulfin- und Sulfensäure . . . . . 151</b></p> <p>2.14.1 Alkansulfonsäuren . . . . . 151</p> <p>2.14.2 Alkansulfonylchloride, Alkansulfin- und Alkansulfensäuren . . . . . 152</p> <p><b>2.15 Nitroalkane (Nitroparaffine) . . . . . 153</b></p> <p>2.15.1 Darstellung . . . . . 155</p> <p>2.15.2 Eigenschaften . . . . . 156</p> <p><b>2.16 Aliphatische Amine . . . . . 158</b></p> <p>2.16.1 Monoamine . . . . . 158</p>
---	--

<p>2.16.2 Optische Aktivität am 3- und 4bindigen N-Atom ..... 167</p> <p>2.16.3 Ungesättigte Amine (Enamine) . 168</p> <p>2.16.4 Diamine ..... 169</p> <p><b>2.17 Aliphatische Diazoverbindungen, Diazirine und Diaziridine</b> ..... 169</p> <p>2.17.1 Diazoverbindungen ..... 169</p> <p>2.17.2 Diazirine und Diaziridine ..... 170</p> <p><b>2.18 Aliphatische Hydrazine und Azide</b> ..... 172</p> <p>2.18.1 Hydrazine ..... 172</p> <p>2.18.2 Azide ..... 173</p> <p><b>2.19 Organische Verbindungen einiger Nichtmetalle</b> ..... 174</p> <p>2.19.1 Organische Phosphorverbindungen ..... 174</p> <p>2.19.2 Organische Arsenverbindungen 178</p> <p>2.19.3 Organische Siliciumverbindungen ..... 179</p> <p>2.19.4 Organische Borverbindungen .. 182</p> <p><b>2.20 Metallorganische Verbindungen</b> 185</p> <p>2.20.1 Alkalimetallorganische Verbindungen (Alkalimetallorganyle) . 185</p> <p>2.20.2 Organische Magnesiumverbindungen ..... 186</p> <p>2.20.3 Organische Zinkverbindungen . 189</p> <p>2.20.4 Organische Titanverbindungen . 189</p> <p>2.20.5 Organische Quecksilberverbindungen ..... 190</p> <p>2.20.6 Organische Aluminiumverbindungen ..... 191</p> <p>2.20.7 Organische Zinnverbindungen . 192</p> <p>2.20.8 Organische Bleiverbindungen .. 192</p> <p>✓ <b>2.21 Aliphatische Aldehyde (Alkanale)</b> 193</p> <p>2.21.1 Allgemeine Darstellungsweisen . 193</p> <p>2.21.2 Nachweisreaktionen der Aldehyde ..... 195</p> <p>2.21.3 Die C = O-Doppelbindung ..... 195</p> <p>2.21.4 Additionsreaktionen der Aldehyde ..... 196</p> <p>2.21.5 Enantiotopie und Prochiralität . 198</p> <p>2.21.6 Additions- und Substitutionsreaktionen der Aldehyde ..... 198</p> <p>2.21.7 Kondensationsreaktionen der Aldehyde ..... 199</p> <p>2.21.8 Formaldehyd (Methanal) ..... 204</p> <p>2.21.9 Acetaldehyd (Ethanal) ..... 205</p> <p>2.21.10 Propionaldehyd (Propanal) .... 206</p> <p>2.21.11 Halogenaldehyde ..... 207</p> <p>2.21.12 Ungesättigte Aldehyde (Alkenale und Alkinale) ..... 208</p> <p>2.21.13 Gezielte Aldolreaktion ..... 209</p>	<p><b>2.22 Aliphatische Ketone (Alkanone)</b> 210</p> <p>2.22.1 Allgemeine Darstellungsweisen 210</p> <p>2.22.2 Additions- und Kondensationsreaktionen ..... 213</p> <p>2.22.3 Reduktionsprodukte der Ketone 216</p> <p>2.22.4 Pinakol-Pinakolon-Umlagerung 219</p> <p>2.22.5 <i>Wagner-Meerwein-Umlagerung</i> 219</p> <p>2.22.6 Aceton (Propanon) ..... 220</p> <p>2.22.7 Butanon (Ethylmethylketon) ... 221</p> <p>2.22.8 Halogenketone ..... 222</p> <p>2.22.9 Ungesättigte Ketone ..... 222</p> <p>2.22.10 Photochemie der Carbonylverbindungen ..... 223</p> <p><b>2.23 Tabellarische Gegenüberstellung der Aldehyde und Ketone</b> ..... 228</p> <p><b>2.24 Gesättigte aliphatische Monocarbonsäuren (Fettsäuren, Alkansäuren)</b> ..... 231</p> <p>2.24.1 Allgemeine Darstellungsweisen . 231</p> <p>2.24.2 Acidität der Carboxylgruppe ... 233</p> <p>2.24.3 Ameisensäure (Methansäure) .. 235</p> <p>2.24.4 Essigsäure (Ethansäure) ..... 237</p> <p>2.24.5 Propionsäure (Propansäure) ... 238</p> <p>2.24.6 Buttersäuren (Butansäuren) .... 238</p> <p>2.24.7 Valeriansäuren (Pentansäuren) . 239</p> <p>2.24.8 Höhere Fettsäuren ..... 239</p> <p><b>2.25 Ungesättigte aliphatische Monocarbonsäuren (Alkensäuren)</b> .... 240</p> <p>2.25.1 Allgemeine Darstellungsweisen . 240</p> <p>2.25.2 Acrylsäure (Propensäure) ..... 241</p> <p>2.25.3 Acrylnitril ..... 242</p> <p>2.25.4 Ungesättigte Carbonsäuren mit vier C-Atomen ..... 243</p> <p>2.25.5 Ölsäure (9-Octadecensäure) .... 244</p> <p>2.25.6 Mehrfach ungesättigte Monocarbonsäuren ..... 245</p> <p><b>2.26 Fette, Öle und Wachse</b> ..... 246</p> <p>2.26.1 Fette und Öle ..... 246</p> <p>2.26.2 Gewinnung der Fette ..... 247</p> <p>2.26.3 Wachse ..... 248</p> <p><b>2.27 Seifen und synthetische Waschmittel (Detergenzien)</b> ... 248</p> <p>2.27.1 Anionaktive Verbindungen .... 249</p> <p>2.27.2 Kationaktive Verbindungen ..... 251</p> <p>2.27.3 Nichtionogene Verbindungen .. 252</p> <p><b>2.28 Derivate aliphatischer Monocarbonsäuren</b> ..... 252</p> <p>2.28.1 Carbonsäurehalogenide ..... 252</p> <p>2.28.2 Carbonsäureanhydride ..... 255</p> <p>2.28.3 Ketene ..... 257</p> <p>2.28.4 Carbonsäureester ..... 258</p> <p>2.28.5 Orthocarbonsäureester ..... 261</p>
---	---

2.28.6	Carbonsäureamide	262	<b>2.34</b>	<b>Gesättigte aliphatische</b>	
2.28.7	Thiocarbonsäureamide	265		<b>Dicarbonsäuren</b>	324
2.28.8	Blausäure und Nitrile (oder Carbonitrile)	266	2.34.1	Oxalsäure	326
2.28.9	Hydroxamsäuren	269	2.34.2	Malonsäure	327
2.28.10	Imidoester, Amidine und Amidrazone	269	2.34.3	Bernsteinsäure	331
2.28.11	Säurehydrazide und Säureazide	270	2.34.4	Höhere Dicarbonsäuren	332
<b>2.29</b>	<b>Substitutionsprodukte aliphatischer Monocarbonsäuren</b>	271	<b>2.35</b>	<b>Ungesättigte aliphatische</b>	
2.29.1	Halogencarbonsäuren	271		<b>Dicarbonsäuren</b>	334
2.29.2	D- und L-Konfiguration am asymmetrischen C-Atom als stereogenem Zentrum	273	2.35.1	Ethylendicarbonsäuren (Malein- und Fumarsäure)	334
2.29.3	Absolute Konfiguration am asymmetrischen C-Atom (CIP-System)	275	2.35.2	Diels-Alder-Reaktion	336
2.29.4	Hydroxycarbonsäuren	279	2.35.3	Acetyldicarbonsäuren	340
2.29.5	Lactone	281	<b>2.36</b>	<b>Aliphatische Hydroxy-di- und</b>	
2.29.6	Die wichtigsten Hydroxysäuren	283		<b>tricarbonsäuren</b>	341
2.29.7	Aminocarbonsäuren	284	2.36.1	Tartronsäure (Hydroxymalonsäure)	341
2.29.8	Die wichtigsten aliphatischen Aminosäuren	290	2.36.2	Äpfelsäure (Monohydroxybernsteinsäure)	341
<b>2.30</b>	<b>Aliphatische Aldehyd- und</b>		2.36.3	Walden-Umkehr	342
	<b>Ketocarbonsäuren</b>	292	2.36.4	Asymmetrische Synthese, Stereoselektive Synthese, Asymmetrische Induktion	344
2.30.1	Aldehydcarbonsäuren	292	2.36.5	Weinsäure (Dihydroxybernsteinsäure)	346
2.30.2	$\alpha$ -Ketosauren	293	2.36.6	Methoden der Spaltung von Racemformen	347
2.30.3	$\beta$ -Ketosauren	294	2.36.7	Citronensäure	349
2.30.4	Keto-Enol-Tautomerie (Oxo-Enol-Tautomerie)	294	<b>2.37</b>	<b>Aliphatische Ketodicarbonsäuren</b>	350
2.30.5	Darstellung des Acetessigesters	296	2.37.1	Mesoxalsäure	350
2.30.6	Synthesen mit Acetessigester	297	2.37.2	Oxalessigsäure	351
2.30.7	$\gamma$ -Ketosauren	299	<b>2.38</b>	<b>Derivate der Kohlensäure</b>	352
<b>2.31</b>	<b>Mehrwertige Alkohole</b>	301	2.38.1	Halogenide der Kohlensäure	352
2.31.1	Zweiwertige Alkohole (Glykole, 1,2-Diole)	301	2.38.2	Ester der Kohlensäure	353
2.31.2	Dreiwertige Alkohole	309	2.38.3	Amide der Kohlensäure	353
2.31.3	Vierwertige Alkohole	314	2.38.4	Amide der Orthokohlensäure	359
2.31.4	Fünfwertige Alkohole (Pentite)	315	<b>2.39</b>	<b>Thioderivate der Kohlensäure</b>	360
2.31.5	Sechswertige Alkohole (Hexite)	316	2.39.1	Schwefelkohlenstoff (Kohlendisulfid)	360
<b>2.32</b>	<b>Aliphatische Hydroxyaldehyde</b>		2.39.2	Thioharnstoff (Thiocarbamid)	361
	<b>und Hydroxyketone</b>	317	2.39.3	Thiosemicarbazid	362
2.32.1	Hydroxyaldehyde (Aldehydalkohole)	317	2.39.4	Thiocarbonohydrazid	363
2.32.2	Hydroxyketone (Ketonalkohole)	318	<b>2.40</b>	<b>Cyansäure und ihre Derivate</b>	364
<b>2.33</b>	<b>Aliphatische Dialdehyde, Keto-</b>		2.40.1	Cyanhalogenide	365
	<b>aldehyde und Diketone</b>	319	2.40.2	Cyansäureester	365
2.33.1	Dialdehyde	319	2.40.3	Isocyansäureester	367
2.33.2	Ketoaldehyde	321	2.40.4	Cyanamide	368
2.33.3	Diketone	321	2.40.5	Carbodiimide	369
			<b>2.41</b>	<b>Thiocyansäure und ihre</b>	
				<b>Derivate</b>	369
			2.41.1	Darstellung	370
			2.41.2	Thio- und Isothiocyansäureester	370

<b>2.42</b>	<b>Dicyan und Dirhodan</b> .....	371	<b>2.44.2</b>	Nitrene .....	379
2.42.1	Dicyan .....	371	<b>2.45</b>	<b>Organische Übergangsmetall-</b>	
2.42.2	Dirhodan .....	372		<b>komplexe</b> .....	380
<b>2.43</b>	<b>Kohlenmonoxid und seine</b>		2.45.1	Die Achtzehn-Elektronen-Regel	381
	<b>Derivate</b> .....	373	2.45.2	Rückbindung .....	382
2.43.1	Kohlenmonoxid .....	373	2.45.3	Oxidative Addition und	
2.43.2	Alkylisocyanide (Isonitrile) .....	374		Reduktive Eliminierung .....	382
<b>2.44</b>	<b>Carbene und Nitrene als</b>		2.45.4	Wacker-Hoechst-Verfahren .....	384
	<b>instabile Zwischenprodukte</b> .....	376	2.45.5	Oxosynthese .....	384
2.44.1	Carbene .....	377			

### 3 Alicyclische Verbindungen

387

<b>3.1</b>	<b>Kleine Kohlenstoffringe</b> .....	389	3.3.2	Cyclooctan, Cycloocten .....	410
3.1.1	Cyclopropan .....	389	3.3.3	Cyclododecatrien .....	411
3.1.2	Stereoisomerie carbocyclischer		<b>3.4</b>	<b>Große Kohlenstoffringe</b> .....	411
	Verbindungen .....	391	3.4.1	Darstellung .....	412
3.1.3	Cyclopropan .....	391	<b>3.5</b>	<b>Bi- und polycyclische Kohlen-</b>	
3.1.4	Cyclobutan und seine Derivate .....	392		<b>wasserstoffe</b> .....	413
<b>3.2</b>	<b>Normale Kohlenstoffringe</b> .....	396	3.5.1	Spirane .....	413
3.2.1	Cyclopentan und seine Derivate	396	3.5.2	Kondensierte Ringsysteme .....	414
3.2.2	Cyclohexan und seine Derivate .....	400	3.5.3	Brücken-Ringsysteme .....	416
3.2.3	Cycloheptan und seine Derivate	406	3.5.4	Diamantoide Ringsysteme .....	418
<b>3.3</b>	<b>Mittlere Kohlenstoffringe</b> .....	408	3.5.5	Kleine bi- und polycyclische	
3.3.1	Cyclooctatetraen .....	409		Systeme .....	419

### 4 Kohlenhydrate

425

<b>4.1</b>	<b>Monosaccharide</b> .....	426	4.1.14	L(+)-Ascorbinsäure, Vitamin C	450
4.1.1	Konfiguration der Zucker .....	426	<b>4.2</b>	<b>Oligosaccharide</b> .....	453
4.1.2	Reaktionen der Monosaccharide	430	4.2.1	Disaccharide, C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> .....	453
4.1.3	Umwandlung von Mono-		4.2.2	Trisaccharide, C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>16</sub> .....	459
	sacchariden .....	434	4.2.3	Pseudooligosaccharide .....	459
4.1.4	Nachweisreaktionen der		<b>4.3</b>	<b>Polysaccharide (Glycane)</b> .....	460
	Monosaccharide .....	434	4.3.1	Stärke (Amylum) .....	460
4.1.5	Synthese, Auf- und Abbau		4.3.2	Glykogen .....	463
	von Monosacchariden .....	435	4.3.3	Inulin .....	464
4.1.6	Ringstruktur der Mono-		4.3.4	Chitin .....	464
	saccharide .....	437	4.3.5	Pektine .....	464
4.1.7	Glykoside .....	442	4.3.6	Cellulose .....	465
4.1.8	Pentosen, C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> .....	443	4.3.7	Hemicellulosen .....	466
4.1.9	Hexosen, C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .....	444	4.3.8	Celluloseether .....	466
4.1.10	Reaktionen der Hydroxyl-		4.3.9	Cellulosenitrate .....	467
	gruppen .....	445	4.3.10	Halbsynthetische Fasern .....	467
4.1.11	Desoxyzucker .....	446			
4.1.12	Aminozucker .....	447			
4.1.13	Zuckermercaptale und				
	Thiozucker .....	449			

**5 Aromatische Verbindungen**

469

<b>5.1 Aromatische Kohlenwasserstoffe (Arene)</b> .....	474	<b>5.8 Aromatische Aldehyde und Ketone</b> .....	530
5.1.1 Benzol .....	475	5.8.1 Benzaldehyd .....	530
5.1.2 Homologe des Benzols (Alkylbenzole) .....	476	5.8.2 Homologe des Benzaldehyds ...	537
5.1.3 Toluol .....	478	5.8.3 Phenol- und Phenoether-aldehyde .....	537
5.1.4 Ethylbenzol .....	479	5.8.4 Vanillin .....	540
5.1.5 Xylole .....	479	5.8.5 Aromatische Ketone .....	541
5.1.6 Trimethylbenzole .....	479	<b>5.9 Aromatische Carbonsäuren (Aren-carbonsäuren)</b> .....	547
5.1.7 Cumol .....	479	5.9.1 Aromatische Monocarbonsäuren .....	547
<b>5.2 Halogenderivate der aromatischen Kohlenwasserstoffe</b> ....	480	5.9.2 Araliphatische Monocarbonsäuren .....	554
5.2.1 Addition von Halogenen an den Benzolkern .....	480	5.9.3 Ungesättigte araliphatische Monocarbonsäuren .....	556
5.2.2 Halogenbenzole .....	481	5.9.4 Aromatische Dicarbonsäuren ..	558
5.2.3 Mechanismen der mehrfachen elektrophilen Substitution am Benzolkern .....	484	<b>5.10 Reduktionsprodukte der aromatischen Nitroverbindungen</b> ....	564
5.2.4 Seitenkettenhalogenierung der Alkylbenzole .....	487	5.10.1 Reduktion in Mineralsaurer Lösung .....	564
<b>5.3 Aromatische Nitroverbindungen</b> .....	489	5.10.2 Reduktion in neutraler oder schwach saurer Lösung .....	564
5.3.1 Nitrobenzole .....	489	5.10.3 Reduktion in alkalischer Lösung .....	566
5.3.2 Nitrotoluole .....	491	<b>5.11 Aromatische Amine</b> .....	570
<b>5.4 Aromatische Sulfonsäuren (Arensulfonsäuren)</b> .....	492	5.11.1 Anilin .....	571
5.4.1 Darstellung .....	493	5.11.2 Derivate des Anilins .....	572
5.4.2 Derivate der aromatischen Sulfonsäuren .....	494	5.11.3 Nitroaniline (Nitraniline) .....	574
<b>5.5 Phenole</b> .....	497	5.11.4 Anilinsulfonsäuren .....	575
5.5.1 Einwertige Phenole .....	497	5.11.5 Arsenverbindungen des Anilins ..	577
5.5.2 Alkylphenylether (Phenoether) ..	499	5.11.6 N-Alkylierte Aniline (Aliphatisch-aromatische Amine) ..	578
5.5.3 Halogenierte Phenole .....	502	5.11.7 Rein aromatische Amine .....	579
5.5.4 Phenolsulfonsäuren .....	503	5.11.8 Phenylendiamine .....	580
5.5.5 Nitrophenole .....	503	<b>5.12 Aromatische Diazoverbindungen</b> ..	581
5.5.6 Nitrosophenole .....	506	5.12.1 Diazoniumsalze .....	581
5.5.7 Homologe des Phenols .....	507	5.12.2 Diazotate .....	583
5.5.8 Zweiwertige Phenole .....	509	<b>5.13 Reaktionen aromatischer Diazoverbindungen</b> .....	583
5.5.9 Cyclophane und Catenane .....	512	5.13.1 Reaktionen, die unter Abspaltung der Diazogruppe verlaufen (Diazospaltung) .....	584
5.5.10 Dreiwertige Phenole .....	515	5.13.2 Reaktionen, bei denen der Diazostickstoff im Molekül verbleibt .....	587
<b>5.6 Benzochinone</b> .....	516	5.13.3 Kupplungsreaktionen .....	588
5.6.1 Die wichtigsten Benzochinone ..	517	<b>5.14 Azofarbstoffe</b> .....	591
5.6.2 Redoxreaktionen der <i>p</i> -Chinone ..	519	5.14.1 Konstitution und Farbe .....	591
5.6.3 1,4-Additionen der <i>p</i> -Chinone ..	520		
5.6.4 Chinoide Farbstoffe .....	522		
<b>5.7 Aromatische Alkohole und Arylalkylamine</b> .....	524		
5.7.1 Aromatische Alkohole .....	524		
5.7.2 Arylalkylamine .....	526		

5.14.2	Färbetechnik .....	595	5.18.4	Radikal-Ionen .....	617
5.14.3	Basische Azofarbstoffe .....	597	<b>5.19</b>	<b>Phenylierte ungesättigte Kohlenwasserstoffe</b> .....	618
5.14.4	Saure Azofarbstoffe .....	597	5.19.1	Arylalkene .....	618
5.14.5	Substantive Azofarbstoffe (Direktfarbstoffe) .....	597	5.19.2	Arylalkine .....	621
5.14.6	Naphthol-AS-Farbstoffe .....	598	5.19.3	Kumulene .....	622
5.14.7	Reaktivfarbstoffe .....	600	5.19.4	Die Allen-Isomerie (Molekülasymmetrie) .....	623
5.14.8	Dispersionsfarbstoffe .....	601	<b>5.20</b>	<b>Kondensierte aromatische Ringsysteme</b> .....	625
5.14.9	Metallkomplexazofarbstoffe .....	601	5.20.1	Inden .....	625
5.14.10	Diazotypie und verwandte Kopierverfahren .....	602	5.20.2	Fluoren .....	627
<b>5.15</b>	<b>Biphenyl und Arylmethane</b> .....	603	5.20.3	Naphthalin .....	627
5.15.1	Biphenyl (Diphenyl) .....	603	5.20.4	Acenaphthylen .....	636
5.15.2	Diphenylmethan .....	605	5.20.5	Anthracen .....	636
5.15.3	Triphenylmethan (Tritan) .....	606	5.20.6	Phenanthren, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> .....	643
<b>5.16</b>	<b>Triphenylmethanfarbstoffe</b> .....	607	5.20.7	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe .....	646
5.16.1	Aminotriphenylmethanfarbstoffe .....	608	<b>5.21</b>	<b>Nichtbenzoide Aromaten</b> .....	648
5.16.2	Hydroxytriphenylmethanfarbstoffe .....	609	5.21.1	Cyclopentadienide .....	649
5.16.3	Phthaleine .....	610	5.21.2	Aromatenkomplexe .....	650
<b>5.17</b>	<b>Arylethane</b> .....	612	5.21.3	Tropyliumsalze .....	651
<b>5.18</b>	<b>Freie Radikale</b> .....	613	5.21.4	Tropon .....	653
5.18.1	Kohlenstoffradikale .....	613	5.21.5	Tropolon und seine Derivate .....	653
5.18.2	Stickstoffradikale .....	615	5.21.6	Azulene .....	655
5.18.3	Aroxye, Phenoxyradikale .....	616	5.21.7	Die <i>Hückelsche</i> (4n + 2) $\pi$ -Regel .....	656

## 6 Isoprenoide (Terpene und Steroide)

663

<b>6.1</b>	<b>Acyclische Terpene</b> .....	664	<b>6.5</b>	<b>Diterpene</b> .....	676
6.1.1	Terpenkohlenwasserstoffe .....	664	6.5.1	Acyclische Diterpene .....	676
6.1.2	Terpenalkohole .....	664	6.5.2	Monocyclische Diterpene .....	676
6.1.3	Terpenaldehyde und Terpenketone .....	665	6.5.3	Tricyclische Diterpene .....	677
<b>6.2</b>	<b>Monocyclische Terpene</b> .....	666	6.5.4	Tetracyclische Diterpene .....	678
6.2.1	<i>p</i> -Menthan .....	666	<b>6.6</b>	<b>Triterpene (Squalenoide)</b> .....	678
6.2.2	Terpenkohlenwasserstoffe .....	666	<b>6.7</b>	<b>Tetraterpene</b> .....	680
6.2.3	Terpenalkohole und Terpenthiole .....	667	6.7.1	Carotinoide (Polyfarbstoffe) .....	680
6.2.4	Terpenketone .....	668	<b>6.8</b>	<b>Polyprene</b> .....	682
<b>6.3</b>	<b>Bicyclische Terpene</b> .....	669	6.8.1	Polyprenole .....	682
6.3.1	Carangruppe .....	670	6.8.2	Naturkautschuk .....	683
6.3.2	Pinangruppe .....	670	6.8.3	Synthetische Elastomere .....	684
6.3.3	Bornangruppe .....	671	6.8.4	Guttapercha .....	686
<b>6.4</b>	<b>Sesquiterpene</b> .....	674	<b>6.9</b>	<b>Sterine (Sterole)</b> .....	689
6.4.1	Acyclische Sesquiterpene .....	674	<b>6.10</b>	<b>Gallensäuren</b> .....	690
6.4.2	Monocyclische Sesquiterpene .....	674	<b>6.11</b>	<b>Steroid-Vitamine</b> .....	691
6.4.3	Bicyclische Sesquiterpene .....	675			
6.4.4	Tricyclische Sesquiterpene .....	675			

<b>6.12 Steroid-Hormone (Sexual- und Nebennierenrindenhormone)</b>	693	<b>6.13 Herzaktive Steroide</b>	698
6.12.1 Männliche Sexualhormone (Androgene)	693	6.13.1 Cardenolide	698
6.12.2 Weibliche Sexualhormone (Östrogene und Gestagene)	694	6.13.2 Bufadienolide	699
6.12.3 Corticoide	696	<b>6.14 Steroid-Sapogenine</b>	700
		<b>6.15 Steroid-Alkaloide</b>	700

## 7 Heterocyclische Verbindungen

703

<b>7.1 Fünfringe mit einem Heteroatom</b>	706	<b>7.7 Benzoaniellierte Ringsysteme des Pyridins und <math>\gamma</math>-Pyrons</b>	773
7.1.1 Pyrrolgruppe	706	7.7.1 Chinolingruppe	773
7.1.2 Porphinfarbstoffe	710	7.7.2 Benzochinolingruppe	776
7.1.3 Furangruppe	718	7.7.3 Isochinolingruppe	778
7.1.4 Thiophengruppe	721	7.7.4 Chromangruppe	779
<b>7.2 Benzoaniellierte Ringsysteme der Pyrrol-, Furan- und Thiophengruppe</b>	724	<b>7.8 Sechsringe mit zwei Heteroatomen</b>	782
7.2.1 Indolgruppe	724	7.8.1 Pyridazingruppe	783
7.2.2 Indolizingruppe	731	7.8.2 Pyrimidingruppe	783
7.2.3 Cumarongruppe	732	7.8.3 Pyrazingruppe	786
7.2.4 Thionaphthengruppe	733	7.8.4 Benzodiazine	788
7.2.5 Kondensierte tricyclische Systeme	734	7.8.5 Phenazine, Phenoxazine, Dibenzo- <i>p</i> -dioxine und Phenothiazine	789
<b>7.3 Fünfringe mit zwei Stickstoffatomen</b>	735	<b>7.9 Sechsringe mit drei oder vier Heteroatomen</b>	793
7.3.1 Pyrazolgruppe	736	7.9.1 Triazine	793
7.3.2 Imidazolgruppe	741	7.9.2 Tetrazine	795
<b>7.4 Fünfringe mit zwei verschiedenen Heteroatomen</b>	746	<b>7.10 Benzoaniellierte Siebenringe mit einem oder zwei Heteroatomen</b>	796
7.4.1 Oxazolgruppe	746	7.10.1 Benzazepine	796
7.4.2 Isoxazolgruppe	748	7.10.2 Benzodiazepine	796
7.4.3 Thiazolgruppe	749	<b>7.11 Bicyclische Heterosysteme</b>	797
7.4.4 Isothiazolgruppe	754	7.11.1 Purine	797
<b>7.5 Fünfringe mit drei und mehr Heteroatomen</b>	755	7.11.2 Pterine	801
7.5.1 Triazolgruppe	755	7.11.3 Flavine (Isoalloxazine)	802
7.5.2 Tetrazolgruppe	758	7.11.4 Bicyclische Amidine	803
7.5.3 Pentazolgruppe	760	<b>7.12 Alkaloide</b>	803
7.5.4 Sydnone, Mesoionische Verbindungen	760	7.12.1 Alkaloide vom Tetrahydropyrrol-, Pyridin-, Piperidin-Typ	804
7.5.5 Thiadiazolgruppe	761	7.12.2 Alkaloide vom Tropan-Typ	807
<b>7.6 Sechsringe mit einem Heteroatom</b>	762	7.12.3 Alkaloide vom Chinolizidin-Typ	810
7.6.1 Pyridingruppe	762	7.12.4 Alkaloide vom Chinolin-Typ	811
7.6.2 Pyrangruppe	771	7.12.5 Alkaloide vom Isochinolin-Typ	812
		7.12.6 Alkaloide vom Indol-Typ	816



**8 Aminosäuren, Peptide und Proteine**

821

<b>8.1 Aminosäuren als Protein-</b>		<b>8.2.2 Bausteinanalyse der Peptide ...</b>	834
<b>bausteine</b> .....	822	<b>8.2.3 Sequenzanalyse der Peptide ...</b>	835
8.1.1 Aliphatische Aminosäuren .....	822	<b>8.2.4 Natürliche Peptide .....</b>	836
8.1.2 Aromatische Aminosäuren .....	825	<b>8.3 Eigenschaften und Struktur</b>	
8.1.3 Heterocyclische Aminosäuren ..	827	<b>der Proteine</b> .....	840
8.1.4 Technische Gewinnung von		<b>8.3.1 Skleroproteine .....</b>	841
Aminosäuren .....	827	<b>8.3.2 Sphäroproteine .....</b>	844
<b>8.2 Peptide</b> .....	829	<b>8.3.3 Konjugierte Proteine .....</b>	845
8.2.1 Peptidsynthesen .....	829		

**9 Chemie und Funktion der Nucleinsäuren**

851

<b>9.1 Bausteine der Nucleinsäuren ...</b>	851	<b>9.5 Funktion der Nucleinsäuren ...</b>	864
9.1.1 Nucleoside .....	852	9.5.1 Der genetische Code .....	865
9.1.2 Nucleotide .....	853	9.5.2 Mutationen .....	867
<b>9.2 Struktur der Nucleinsäuren ...</b>	854	9.5.3 Transkription der DNA .....	868
9.2.1 Sequenzanalyse der DNA .....	858	9.5.4 Translation .....	869
<b>9.3 Synthesen von Nucleinsäure-</b>		9.5.5 Kontrolle der Gen-Expression ..	872
<b>sequenzen</b> .....	859	<b>9.6 Gentechnik und Biosynthese ...</b>	873
9.3.1 Diester-Methode .....	859	9.6.1 Modifikation von Plasmiden ...	873
9.3.2 Triester-Methode .....	860	9.6.2 Klonierung .....	874
9.3.3 Sticky-end-Methode .....	861	9.6.3 Biosynthese von Hormonen ...	876
<b>9.4 Viren</b> .....	862		

**10 Enzyme**

879

<b>10.1 Oxidoreduktasen</b> .....	880	10.3.2 Glykosidhydrolasen .....	889
10.1.1 Pyridinnucleotide .....	880	10.3.3 Peptidhydrolasen .....	890
10.1.2 Flavinenzyme .....	882	<b>10.4 Lyasen</b> .....	891
10.1.3 Zellhämone .....	884	10.4.1 C-C-Lyasen .....	891
<b>10.2 Transferasen</b> .....	885	10.4.2 C-O-Lyasen .....	893
10.2.1 Phosphotransferasen .....	885	<b>10.5 Isomerasen</b> .....	894
10.2.2 Acyltransferasen .....	886	<b>10.6 Ligasen (Synthetasen)</b> .....	894
10.2.3 Aminotransferasen .....	886		
10.2.4 Methyl- und Formyltransferasen	887		
<b>10.3 Hydrolasen</b> .....	888		
10.3.1 Esterhydrolasen .....	889		

**11 Stoffwechselfvorgänge**

895

- |        |   |     |        |  |     |
|--------|---|-----|--------|--|-----|
| 11.1   | Photosynthese-Zyklus .....                                | 895 | 11.2.2 | Glykolyse (Zuckerabbau<br>im Organismus) ..... | 901 |
| 11.2   | Enzymatischer Abbau und<br>Aufbau der Kohlenhydrate ..... | 898 | 11.2.3 | Citronensäure-Zyklus .....                     | 903 |
| 11.2.1 | Alkoholische Gärung .....                                 | 898 |        |  |     |

**Namensregister**

905

**Sachregister**

915