

Inhalt

1.	Aspekte der Energie- und Rohstoffversorgung	1
1.1.	Gegenwärtiger und absehbarer Energiebedarf	2
1.2.	Verfügbarkeit einzelner Energieträger	3
1.2.1.	Erdöl	3
1.2.2.	Erdgas	4
1.2.3.	Kohle	5
1.2.4.	Kernbrennstoffe	6
1.3.	Perspektiven künftiger Energieversorgung	7
1.4.	Gegenwärtige und absehbare Rohstoffsituation	9
1.4.1.	Petrochemische Primärprodukte	9
1.4.2.	Kohleveredlungsprodukte	12
2.	Basisprodukte der industriellen Synthese	15
2.1.	Synthesegas	15
2.1.1.	Synthesegas-Erzeugung	15
2.1.1.1.	Synthesegas durch Kohlevergasung	16
2.1.1.2.	Synthesegas durch Erdgas- und Erdölsplaltung	19
2.1.2.	Synthesegas-Reinigung und -Verwendung	21
2.2.	Gewinnung der reinen Synthesegas-Komponenten	25
2.2.1.	Kohlenmonoxid	25
2.2.2.	Wasserstoff	27
2.3.	C ₁ -Bausteine	31
2.3.1.	Methanol	31
2.3.1.1.	Herstellung von Methanol	31
2.3.1.2.	Verwendung und Verwendungsmöglichkeiten für Methanol	34
2.3.2.	Formaldehyd	40
2.3.2.1.	Formaldehyd aus Methanol	41
2.3.2.2.	Verwendung und Verwendungsmöglichkeiten für Formaldehyd	43
2.3.3.	Ameisensäure	45
2.3.4.	Blausäure	49
2.3.5.	Methylamine	54
2.3.6.	Halogen-Derivate des Methans	55
2.3.6.1.	Chlormethane	56
2.3.6.2.	Chlorfluormethane	61

3.	Olefine	65
3.1.	Historische Entwicklung der Olefinchemie	65
3.2.	Olefine durch Kohlenwasserstoff-Spaltung	65
3.3.	Spezielle Herstellverfahren für Olefine	70
3.3.1.	Ethylen, Propen	70
3.3.2.	Butene und Isobuten	74
3.3.3.	Höhere Olefine	82
3.3.3.1.	Unverzweigte höhere Olefine	83
3.3.3.2.	Verzweigte höhere Olefine	92
3.4.	Olefin-Metathese	95
4.	Acetylen	101
4.1.	Heutige Bedeutung des Acetylens	101
4.2.	Herstellverfahren für Acetylen	103
4.2.1.	Calciumcarbid als Basis	103
4.2.2.	Thermische Verfahren	104
4.3.	Verwendung von Acetylen	109
5.	1,3-Diolefine	117
5.1.	1,3-Butadien	117
5.1.1.	Historische Synthesen für 1,3-Butadien	118
5.1.2.	1,3-Butadien aus C ₄ -Crackfraktionen	119
5.1.3.	1,3-Butadien aus C ₄ -Alkanen und -Alkenen	122
5.1.4.	Verwendung von 1,3-Butadien	125
5.2.	Isopren	128
5.2.1.	Isopren aus C ₅ -Crackfraktionen	128
5.2.2.	Isopren durch Aufbaureaktionen	130
5.3.	Chloropren	133
5.4.	Cyclopentadien	136
6.	Synthesen mit Kohlenmonoxid	139
6.1.	Hydroformylierung von Olefinen	139
6.1.1.	Chemische Grundlagen der Hydroformylierung	140
6.1.2.	Technische Durchführung der Hydroformylierung	143
6.1.3.	Katalyse-Varianten der Hydroformylierung	147
6.1.4.	Verwendung der Oxo-Produkte	149
6.1.4.1.	Oxo-Alkohole	149
6.1.4.2.	Oxo-Carbonsäuren	151
6.1.4.3.	Aldol- und Kondensationsprodukte der Oxo-Aldehyde	152
6.2.	Carbonylierung von Olefinen	154
6.3.	Carbonsäure-Synthese nach Koch	156
7.	Oxidationsprodukte des Ethylens	159
7.1.	Ethylenoxid	159

7.1.1.	Ethylenoxid nach dem Chlorhydrin-Verfahren	160
7.1.2.	Ethylenoxid durch Direktoxidation	161
7.1.2.1.	Chemische Grundlagen	161
7.1.2.2.	Verfahrensdurchführung	162
7.1.2.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Ethylenoxid-Herstellung	164
7.2.	Folgeprodukte des Ethylenoxids	165
7.2.1.	Ethylenglykol und höhere Ethylenglykole	167
7.2.1.1.	Entwicklungsmöglichkeiten der Ethylenglykol-Herstellung	168
7.2.1.2.	Verwendung von Ethylenglykol	171
7.2.1.3.	Folgeprodukte Glyoxal, Dioxolan, 1,4-Dioxan	171
7.2.2.	Polyethoxylate	174
7.2.3.	Ethanolamine und Folgeprodukte	174
7.2.4.	Ethylenglykolether	178
7.2.5.	Weitere Folgeprodukte des Ethylenoxids	180
7.3.	Acetaldehyd	181
7.3.1.	Acetaldehyd durch Ethylen-Oxidation	183
7.3.1.1.	Chemische Grundlagen	183
7.3.1.2.	Verfahrensdurchführung	185
7.3.2.	Acetaldehyd aus Ethanol	186
7.3.3.	Acetaldehyd durch C ₃ -/C ₄ -Alkan-Oxidation	187
7.4.	Folgeprodukte des Acetaldehyds	188
7.4.1.	Essigsäure	189
7.4.1.1.	Essigsäure durch Acetaldehyd-Oxidation	190
7.4.1.2.	Essigsäure durch Alkan- und Alken-Oxidation	191
7.4.1.3.	Carbonylierung von Methanol zu Essigsäure	194
7.4.1.4.	Entwicklungsmöglichkeiten der Essigsäure-Herstellung	197
7.4.1.5.	Verwendung von Essigsäure	199
7.4.2.	Acetanhydrid und Keten	200
7.4.3.	Aldolkondensation des Acetaldehyds und Folgeprodukte	204
7.4.4.	Ethylacetat	207
7.4.5.	Pyridin und Alkylpyridine	208
8.	Alkohole	213
8.1.	Niedere Alkohole	213
8.1.1.	Ethanol	213
8.1.2.	Isopropanol	219
8.1.3.	Butanole	222
8.1.4.	Amylalkohole	226
8.2.	Höhere Alkohole	227
8.2.1.	Oxidation von Paraffinen zu Alkoholen	230
8.2.2.	Alfol-Synthese	232
8.3.	Mehrwertige Alkohole	233
8.3.1.	Pentaerythrit	234

8.3.2	Trimethylpropan	235
8.3.3.	Neopentylglykol	235
9.	Vinyl-Halogen- und Vinyl-Sauerstoff-Verbindungen	237
9.1.	Vinyl-Halogen-Verbindungen	237
9.1.1.	Vinylchlorid	237
9.1.1.1.	Vinylchlorid aus Acetylen	238
9.1.1.2.	Vinylchlorid aus Ethylen	239
9.1.1.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Vinylchlorid-Herstellung	242
9.1.1.4.	Verwendung von Vinylchlorid und 1.2-Dichlorethan	244
9.1.2.	Vinylidenchlorid	245
9.1.3.	Vinylfluorid und Vinylidenfluorid	246
9.1.4.	Trichlor- und Tetrachlorethylen	247
9.1.5.	Tetrafluorethylen	249
9.2.	Vinylester und -ether	250
9.2.1.	Vinylacetat	251
9.2.1.1.	Vinylacetat auf Basis Acetylen oder Acetaldehyd	251
9.2.1.2.	Vinylacetat auf Basis Ethylen	252
9.2.1.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Vinylacetat-Herstellung	255
9.2.2.	Vinylester höherer Carbonsäuren	256
9.2.3.	Vinylether	258
10.	Komponenten für Polyamide	261
10.1.	Dicarbonsäuren	263
10.1.1.	Adipinsäure	264
10.1.2.	1.12-Dodecandisäure	267
10.2.	Diamine und Aminocarbonsäuren	269
10.2.1.	Hexamethyldiamin	269
10.2.1.1.	Herstellung des Adiponitrils	270
10.2.1.2.	Hydrierung des Adiponitrils	274
10.2.1.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Adiponitril-Herstellung	275
10.2.2.	ω -Aminoundecansäure	275
10.3.	Lactame	276
10.3.1.	ϵ -Caprolactam	276
10.3.1.1.	ϵ -Caprolactam nach der Cyclohexanonoxim-Route	277
10.3.1.2.	Alternative Herstellverfahren für ϵ -Caprolactam	282
10.3.1.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der ϵ -Caprolactam-Herstellung	284
10.3.1.4.	ϵ -Caprolactam-Verwendung	286
10.3.2.	Laurinlactam	288
11.	Umsetzungsprodukte des Propens	291
11.1.	Oxidationsprodukte des Propens	292
11.1.1.	Propylenoxid	292
11.1.1.1.	Propylenoxid nach dem Chlorhydrin-Verfahren	292
11.1.1.2.	Indirekte Oxidationsverfahren zu Propylenoxid	293

11.1.1.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Propylenoxid-Herstellung	297
11.1.2.	Folgeprodukte des Propylenoxids	302
11.1.3.	Aceton	304
11.1.3.1.	Direktoxidation des Propens	304
11.1.3.2.	Aceton aus Isopropanol	305
11.1.4.	Folgeprodukte des Acetons	307
11.1.4.1.	Aceton-Aldolisierung und Folgeprodukte	308
11.1.4.2.	Methacrylsäure und -ester	309
11.1.5.	Acrolein	314
11.1.6.	Folgeprodukte des Acroleins	315
11.1.7.	Acrylsäure und -ester	317
11.1.7.1.	Historische Acrylsäure-Herstellung	318
11.1.7.2.	Acrylsäure aus Propen	320
11.1.7.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Acrylsäure-Herstellung	322
11.2.	Allyl-Verbindungen und Folgeprodukte	323
11.2.1.	Allylchlorid	323
11.2.2.	Allylalkohol und -ester	326
11.2.3.	Glycerin aus Allyl-Vorstufen	329
11.3.	Acrylnitril	332
11.3.1.	Historische Acrylnitril-Herstellung	332
11.3.2.	Ammonoxidation von Propen	334
11.3.2.1.	Sohio-Acrylnitril-Verfahren	335
11.3.2.2.	Weitere Propen-(Propan-)Ammonoxidations-Verfahren	336
11.3.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Acrylnitril-Herstellung	338
11.3.4.	Acrylnitril-Verwendung und Folgeprodukte	339
12.	Aromaten, Gewinnung und Umwandlung	343
12.1.	Bedeutung der Aromaten	343
12.2.	Rohstoffquellen für Aromaten	344
12.2.1.	Aromaten aus der Steinkohlen-Verkokung	345
12.2.2.	Aromaten aus Reformat- und Pyrolysebenzin	346
12.2.2.1.	Aromaten-Isolierung	350
12.2.2.2.	Spezielle Trennverfahren für Nichtaromaten/Aromaten und Aromaten-Gemische	350
12.2.3.	Entwicklungsmöglichkeiten der Aromaten-Herstellung	356
12.2.4.	Kondensierte Aromaten	358
12.2.4.1.	Naphthalin	358
12.2.4.2.	Anthracen	360
12.3.	Umwandlungsverfahren für Aromaten	363
12.3.1.	Hydrodealkylierung	363
12.3.2.	<i>m</i> -Xylol-Isomerisierung	365
12.3.3.	Disproportionierung und Transalkylierung	367
13.	Umsetzungsprodukte des Benzols	369
13.1.	Alkylierungs- und Hydrierungsprodukte des Benzols	369
13.1.1.	Ethylbenzol	369

13.1.2.	Styrol	373
13.1.3.	Cumol	377
13.1.4.	Höhere Alkylbenzole	378
13.1.5.	Cyclohexan	380
13.2.	Oxidations- und Folgeprodukte des Benzols	382
13.2.1.	Phenol	382
13.2.1.1.	Herstellverfahren für Phenol	383
13.2.1.2.	Entwicklungsmöglichkeiten der Phenol-Herstellung	391
13.2.1.3.	Phenol-Verwendung und -Folgeprodukte	394
13.2.2.	Dihydroxybenzole	398
13.2.3.	Maleinsäureanhydrid	402
13.2.3.1.	Maleinsäureanhydrid durch Benzol-Oxidation	403
13.2.3.2.	Maleinsäureanhydrid durch Buten-Oxidation	405
13.2.3.3.	Maleinsäureanhydrid durch Butan-Oxidation	406
13.2.3.4.	Maleinsäureanhydrid-Verwendung und -Folgeprodukte	407
13.3.	Weitere Benzolderivate	411
13.3.1.	Nitrobenzol	411
13.3.2.	Anilin	412
13.3.3.	Diisocyanate	415
14.	Oxidationsprodukte des Xylols und Naphthalins	423
14.1.	Phthalsäureanhydrid	423
14.1.1.	Naphthalin-Oxidation zu Phthalsäureanhydrid	423
14.1.2.	<i>o</i> -Xylol-Oxidation zu Phthalsäureanhydrid	425
14.1.3.	Phthalsäureester	427
14.2.	Terephthalsäure	430
14.2.1.	Herstellung von Dimethylterephthalat und Terephthalsäure	431
14.2.2.	Faserreine Terephthalsäure	434
14.2.3.	Weitere Herstellwege für Terephthalsäure und Derivate	436
14.2.4.	Verwendung von Terephthalsäure und Dimethylterephthalat	440
15.	Anhang	445
15.1.	Verfahrens- und Produktschemata	445
15.2.	Definitionen für reaktionskennzeichnende Größen	467
15.3.	Firmenkurzbezeichnungen	469
15.4.	Quellenhinweise	470
15.4.1.	Allgemeine Literatur	471
15.4.2.	Spezielle Literatur	471
	Register	483