

Inhaltsverzeichnis

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	Halogenderivate des Methans	56
3	Olefine	63
3.1	Historische Entwicklung der Olefinchemie	63
3.2	Olefine durch Kohlenwasserstoff-Splaltung	63
3.3	Spezielle Herstellverfahren für Olefine	68

3.3.1	Ethylen, Propen	68
3.3.2	Butene und Isobuten	72
3.3.3	Höhere Olefine	80
3.3.3.1	Unverzweigte höhere Olefine	81
3.3.3.2	Verzweigte höhere Olefine	90
3.4	Olefin-Metathese	93
4	Acetylen	99
4.1	Heutige Bedeutung des Acetylens	99
4.2	Herstellverfahren für Acetylen	101
4.2.1	Calciumcarbid als Basis	101
4.2.2	Thermische Verfahren	102
4.3	Verwendung von Acetylen	107
5	1,3-Diolefine	115
5.1	1,3-Butadien	115
5.1.1	Historische Synthesen für 1,3-Butadien	116
5.1.2	1,3-Butadien aus C ₄ -Crackfraktionen	117
5.1.3	1,3-Butadien aus C ₄ -Alkanen und -Alkenen	119
5.1.4	Verwendung von 1,3-Butadien	122
5.2	Isopren	126
5.2.1	Isopren aus C ₅ -Crackfraktionen	126
5.2.2	Isopren durch Aufbaureaktionen	128
5.3	Chloropren	131
5.4	Cyclopentadien	134
6	Synthesen mit Kohlenmonoxid	137
6.1	Hydroformylierung von Olefinen	137
6.1.1	Chemische Grundlagen der Hydroformylierung	138
6.1.2	Technische Durchführung der Hydroformylierung	141
6.1.3	Katalysevarianten der Hydroformylierung	144
6.1.4	Verwendung der Oxoprodukte	147
6.1.4.1	Oxoalkohole	147
6.1.4.2	Oxocarbonsäuren	149
6.1.4.3	Aldol- und Kondensationsprodukte der Oxoaldehyde	150
6.2	Carbonylierung von Olefinen	152
6.3	Carbonsäuresynthese nach Koch	154
7	Oxidationsprodukte des Ethylens	157
7.1	Ethylenoxid	157
7.1.1	Ethylenoxid nach dem Chlorhydrin-Verfahren	158
7.1.2	Ethylenoxid durch Direktoxidation	158
7.1.2.1	Chemische Grundlagen	158
7.1.2.2	Verfahrensdurchführung	160

7.1.2.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Ethylenoxid-Herstellung	162
7.2	Folgeprodukte des Ethylenoxids	163
7.2.1	Ethylenglykol und höhere Ethylenglykole	165
7.2.1.1	Entwicklungsmöglichkeiten der Ethylenglykol-Herstellung	166
7.2.1.2	Verwendung von Ethylenglykol	168
7.2.1.3	Folgeprodukte Glyoxal, Dioxolan, 1,4-Dioxan	169
7.2.2	Polyethoxylate	171
7.2.3	Ethanolamine und Folgeprodukte	172
7.2.4	Ethylenglykolether	176
7.2.5	Weitere Folgeprodukte des Ethylenoxids	178
7.3	Acetaldehyd	179
7.3.1	Acetaldehyd durch Ethylenoxidation	181
7.3.1.1	Chemische Grundlagen	181
7.3.1.2	Verfahrensdurchführung	182
7.3.2	Acetaldehyd aus Ethanol	183
7.3.3	Acetaldehyd durch C ₃ -/C ₄ -Alkanoxidation	185
7.4	Folgeprodukte des Acetaldehyds	185
7.4.1	Essigsäure	186
7.4.1.1	Essigsäure durch Acetaldehyd-Oxidation	188
7.4.1.2	Essigsäure durch Alkan- und Alkenoxidation	189
7.4.1.3	Carbonylierung von Methanol zu Essigsäure	192
7.4.1.4	Entwicklungsmöglichkeiten der Essigsäure-Herstellung	195
7.4.1.5	Verwendung von Essigsäure	197
7.4.2	Acetanhydrid und Keten	198
7.4.3	Aldolkondensation des Acetaldehyds und Folgeprodukte	202
7.4.4	Ethylacetat	206
7.4.5	Pyridin und Alkylpyridine	207

8 Alkohole 211

8.1	Niedere Alkohole	211
8.1.1	Ethanol	211
8.1.2	Isopropanol	217
8.1.3	Butanole	220
8.1.4	Amylalkohole	225
8.2	Höhere Alkohole	225
8.2.1	Oxidation von Paraffinen zu Alkoholen	229
8.2.2	Alfolsynthese	230
8.3	Mehrwertige Alkohole	232
8.3.1	Pentaerythrit	232
8.3.2	Trimethylolpropan	233
8.3.3	Neopentylglykol	234

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	243
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	248
9.1.5	Tetrafluorethylen	250
9.2	Vinylester und -ether	251
9.2.1	Vinylacetat	251
9.2.1.1	Vinylacetat auf Basis Acetylen oder Acetaldehyd	252
9.2.1.2	Vinylacetat auf Basis Ethylen	253
9.2.1.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Vinylacetat-Herstellung	256
9.2.2	Vinylester höherer Carbonsäuren	258
9.2.3	Vinylether	259
10	Komponenten für Polyamide	261
10.1	Dicarbonsäuren	263
10.1.1	Adipinsäure	264
10.1.2	1,12-Dodecandisäure	268
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	275
10.2.1.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Adiponitril-Herstellung	276
10.2.2	ω -Aminoundecansäure	276
10.3	Lactame	278
10.3.1	ϵ -Caprolactam	278
10.3.1.1	ϵ -Caprolactam nach der Cyclohexanonoxim-Route	278
10.3.1.2	Alternative Herstellverfahren für ϵ -Caprolactam	283
10.3.1.3	Entwicklungsmöglichkeiten der ϵ -Caprolactam-Herstellung	286
10.3.1.4	ϵ -Caprolactam-Verwendung	288
10.3.2	Laurinlactam	290

11	Umsetzungsprodukte des Propens	293
11.1	Oxidationsprodukte des Propens	294
11.1.1	Propylenoxid	294
11.1.1.1	Propylenoxid nach dem Chlorhydrinverfahren	294
11.1.1.2	Indirekte Oxidationsverfahren zu Propylenoxid	295
11.1.1.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Propylenoxid-Herstellung	299
11.1.2	Folgeprodukte des Propylenoxids	304
11.1.3	Aceton	306
11.1.3.1	Direktoxidation des Propens	307
11.1.3.2	Aceton aus Isopropanol	308
11.1.4	Folgeprodukte des Acetons	310
11.1.4.1	Acetonaldolisierung und Folgeprodukte	310
11.1.4.2	Methacrylsäure und -ester	312
11.1.5	Acrolein	317
11.1.6	Folgeprodukte des Acroleins	318
11.1.7	Acrylsäure und -ester	321
11.1.7.1	Historische Acrylsäure-Herstellung	321
11.1.7.2	Acrylsäure aus Propen	323
11.1.7.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Acrylsäure-Herstellung	325
11.2	Allylverbindungen und Folgeprodukte	326
11.2.1	Allylchlorid	327
11.2.2	Allylalkohol und -ester	330
11.2.3	Glycerin aus Allylvorstufen	332
11.3	Acrylnitril	335
11.3.1	Historische Acrylnitril-Herstellung	336
11.3.2	Ammonoxidation von Propen	338
11.3.2.1	Sohio-Acrylnitril-Verfahren	339
11.3.2.2	Weitere Propen-(Propan-)Ammonoxidations-Verfahren	340
11.3.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Acrylnitril-Herstellung	341
11.3.4	Acrylnitril-Verwendung und Folgeprodukte	342
12	Aromaten, Gewinnung und Umwandlung	345
12.1	Bedeutung der Aromaten	345
12.2	Rohstoffquellen für Aromaten	346
12.2.1	Aromaten aus der Steinkohlen-Verkokung	347
12.2.2	Aromaten aus Reformat- und Pyrolysebenzin	348
12.2.2.1	Aromatenisolierung	352
12.2.2.2	Spezielle Trennverfahren für Nichtaromaten/Aromaten- und Aromatengemische	352
12.2.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Aromatenherstellung	358
12.2.4	Kondensierte Aromaten	360

12.2.4.1	Naphthalin	360
12.2.4.2	Anthracen	362
12.3	Umwandlungsverfahren für Aromaten	365
12.3.1	Hydrodealkylierung	366
12.3.2	<i>m</i> -Xylol-Isomerisierung	367
12.3.3	Disproportionierung, Transalkylierung und Methylierung	370
13	Umsetzungsprodukte des Benzols	373
13.1	Alkylierungs- und Hydrierungsprodukte des Benzols	373
13.1.1	Ethylbenzol	373
13.1.2	Styrol	377
13.1.3	Cumol	380
13.1.4	Höhere Alkylbenzole	382
13.1.5	Cyclohexan	384
13.2	Oxidations- und Folgeprodukte des Benzols	386
13.2.1	Phenol	386
13.2.1.1	Herstellverfahren für Phenol	387
13.2.1.2	Entwicklungsmöglichkeiten der Phenolherstellung	396
13.2.1.3	Phenol-Verwendung und -Folgeprodukte	399
13.2.2	Dihydroxybenzole	403
13.2.3	Maleinsäureanhydrid	407
13.2.3.1	Maleinsäureanhydrid durch Benzoloxidation	408
13.2.3.2	Maleinsäureanhydrid durch Butenoxidation	410
13.2.3.3	Maleinsäureanhydrid durch Butanoxidation	411
13.2.3.4	Maleinsäureanhydrid-Verwendung und -Folgeprodukte	412
13.3	Weitere Benzolderivate	415
13.3.1	Nitrobenzol	415
13.3.2	Anilin	417
13.3.3	Diisocyanate	420
14	Oxidationsprodukte des Xylols und Naphthalins	427
14.1	Phthalsäureanhydrid	427
14.1.1	Naphthalinoxidation zu Phthalsäureanhydrid	427
14.1.2	<i>o</i> -Xylol-Oxidation zu Phthalsäureanhydrid	429
14.1.3	Phthalsäureester	432
14.2	Terephthalsäure	435
14.2.1	Herstellung von Dimethylterephthalat und Terephthalsäure	436
14.2.2	Faserreine Terephthalsäure	438
14.2.3	Weitere Herstellwege für Terephthalsäure und Derivate	441
14.2.4	Verwendung von Terephthalsäure und Dimethylterephthalat	445

15	Anhang	449
15.1	Definitionen für reaktionskennzeichnende Größen	449
15.2	Firmenkurzbezeichnungen	452
15.3	Quellenhinweise	453

Stichwortverzeichnis	471
-----------------------------	-----

Verfahrens- und Produktschemata (Ausschlagtafeln)