

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Volkswirtschaftliche Bedeutung der chemischen Industrie</b> .....	17
1.1 Umfang und Bedeutung der chemischen Industrie .....	17
1.2 Wichtige Chemieprodukte .....	20
1.3 Bedeutende Chemiefirmen .....	22
1.4 Zukunft der chemischen Industrie .....	22
1.5 Forschung in der chemischen Industrie .....	24
1.6 Literatur .....	25
<b>2 Energie und Rohstoffe</b> .....	27
2.1 Organische Rohstoffe .....	27
2.2 Anorganische Rohstoffe .....	32
2.3 Literatur .....	34
<b>Organisch-industrielle Chemie</b>	
<b>3 Rohstoffe und Rohstoffaufarbeitung</b> .....	35
3.1 Erdöl .....	35
3.1.1 Rohstoff Erdöl .....	35
3.1.2 Produkte aus Erdöl .....	41
3.1.3 Erdölverarbeitung .....	43
3.1.3.1 Destillation/Rektifikation .....	44
3.1.3.2 Cracken (Konversion) .....	49
a) Thermisches Cracken (Visbreaking, Coking) .....	49
b) Katalytisches Cracken .....	52
c) Hydrocracken .....	55
3.1.3.3 Reforming .....	56
3.1.3.4 Hydrierung .....	58
3.1.3.5 Isomerisierung .....	60
3.1.3.6 Alkylierung .....	60
3.1.3.7 Polymerisation .....	61
3.1.3.8 Überblick .....	62
3.1.4 Literatur .....	63
3.2 Erdgas .....	64
3.2.1 Wirtschaftliches .....	64
3.2.2 Klassifikation .....	64
3.2.3 Aufarbeitung .....	65
3.2.4 Transport und Lagerung .....	68
3.2.5 Literatur .....	69
3.3 Kohle .....	69
3.3.1 Aufbau der Kohle und Vorräte .....	69

3.3.2	Umwandlung der Kohle .....	71
3.3.2.1	Umwandlung von Kohle in Acetylen .....	72
3.3.2.2	Entgasung (Schwelung und Verkokung) .....	73
3.3.2.3	Kohlehydrierung .....	75
3.3.2.4	Kohlevergasung.....	76
	a) Reaktionsprinzip .....	76
	b) Verfahrensdurchführung .....	78
	c) Synthesegaschemie .....	80
3.3.3	Mögliche Substitution des Erdöls durch Kohle .....	84
3.3.4	Literatur .....	85
3.4	Biomasse/Biotechnologie .....	86
3.4.1	Biomasse als Energiequelle .....	87
3.4.2	Biomasse als Chemierohstoff .....	88
3.4.3	Darstellung von Single Cell Proteinen .....	90
3.4.4	Biotechnologie .....	91
3.4.5	Literatur .....	94
3.5	Technische Gase .....	94
3.5.1	Synthesegas .....	95
3.5.2	Wasserstoff .....	100
3.5.3	Kohlenmonoxid .....	104
3.5.4	Kohlendioxid .....	105
3.5.5	Luft und ihre Bestandteile .....	107
3.5.6	Literatur .....	110
<b>4</b>	<b>Grundchemikalien .....</b>	<b>111</b>
4.1	Vom Rohstoff zu den Grundchemikalien .....	111
4.2	Paraffine .....	115
4.2.1	Vorkommen und Verwendungsbereiche .....	115
4.2.2	Gewinnung .....	117
4.2.3	Trennung der iso- und n-Paraffine .....	118
4.2.4	Weiterverarbeitung .....	120
	4.2.4.1 Cracking und Pyrolyse .....	121
	4.2.4.2 Dehydrierung .....	121
	4.2.4.3 Chlorierung .....	122
	4.2.4.4 Sulfochlorierung und Sulfoxidation .....	123
	4.2.4.5 Oxidation .....	124
	4.2.4.6 Nitrierung .....	125
4.2.5	Literatur .....	125
4.3	Olefine und Acetylen .....	126
4.3.1	Überblick der Olefine .....	126
4.3.2	Monoolefine .....	126
	4.3.2.1 Darstellung der niederen Monoolefine.....	126
	a) Spaltung von nassem Erdgas .....	128
	b) Naphthapyrolyse .....	129
	c) Mitteldestillat- und Rohölsplaltung .....	133

4.3.2.2	Verwendung der niederen Monoolefine	135
4.3.2.3	Höhere $\alpha$ -Olefine	138
4.3.3	Diene	141
4.3.3.1	Butadien	142
4.3.3.2	Isopren	144
4.3.3.3	Chloropren	148
4.3.3.4	Cyclopentadien	148
4.3.4	Acetylen	151
4.3.4.1	Herstellung	151
4.3.4.2	Verwendung	153
4.3.4.3	Sicherheitsvorkehrungen	154
4.3.5	Literatur	155
4.4	Aromaten	156
4.4.1	Rohstoffquellen	157
4.4.2	Isolierung der Aromaten	158
4.4.2.1	Azeotropdestillation	159
4.4.2.2	Extraktivdestillation	160
4.4.2.3	Flüssig-Flüssig-Extraktion	160
4.4.2.4	Adsorption	164
4.4.2.5	Auftrennung der Aromaten	164
4.4.3	Umwandlung der Aromaten	165
4.4.4	Einzelbetrachtung der Aromaten	166
4.4.4.1	Benzol	166
4.4.4.2	Toluol	167
4.4.4.3	Xylole	168
4.4.4.4	Ethylbenzol und Styrol	170
4.4.4.5	Trimethylbenzole	172
4.4.4.6	Cumol	172
4.4.4.7	Durol	173
4.4.4.8	Naphthalin	173
4.4.4.9	Anthracen	175
4.4.5	Literatur	175
<b>5</b>	<b>Zwischenprodukte</b>	<b>177</b>
5.1	Überblick	177
5.2	Sauerstoffhaltige Verbindungen	179
5.2.1	Alkohole	179
5.2.1.1	Kurzkettige Monoalkohole	179
5.2.1.1.1	Methanol	179
5.2.1.1.2	Ethanol	183
5.2.1.1.3	Isopropanol	184
5.2.1.2	Langkettige Monoalkohole	185
5.2.1.2.1	Oxo-Alkohole	185
5.2.1.2.2	Fettalkohole	187

5.2.1.3	Mehrwertige Alkohole	190
5.2.1.3.1	1,2-Ethandiol und Derivate	190
5.2.1.3.2	1,4-Butandiol	192
5.2.1.3.3	Weitere Diole	193
5.2.1.3.4	Glycerin	193
5.2.2	Phenole	196
5.2.2.1	Phenol	196
5.2.2.2	Kresole und Xylenole	200
5.2.2.3	Bisphenol A	201
5.2.2.4	Resorcin und Hydrochinon	201
5.2.2.5	Naphthole	203
5.2.3	Ether	203
5.2.3.1	Lineare Ether	204
5.2.3.2	Ethylenoxid	205
5.2.3.3	Propylenoxid	208
5.2.3.4	Tetrahydrofuran	213
5.2.4	Aldehyde	214
5.2.4.1	Formaldehyd	215
5.2.4.2	Acetaldehyd	217
5.2.4.3	Propionaldehyd	223
5.2.4.4	Butyraldehyd	224
5.2.4.5	C <sub>5</sub> -C <sub>18</sub> -Aldehyde	225
5.2.4.6	Acrolein	226
5.2.4.7	Crotonaldehyd	227
5.2.5	Ketone	228
5.2.5.1	Aceton und seine Derivate	228
5.2.5.2	Methylethylketon	232
5.2.5.3	Cyclohexanon	233
5.2.5.4	Cyclododecanon	234
5.2.5.5	Chinon	236
5.2.5.6	Anthrachinon	236
5.2.6	Carbonsäuren und ihre Derivate	238
5.2.6.1	Niedermolekulare Monocarbonsäuren	239
5.2.6.1.1	Ameisensäure	239
5.2.6.1.2	Essigsäure und Essigsäureanhydrid	240
5.2.6.1.3	Propionsäure	244
5.2.6.1.4	Acrylsäure	245
5.2.6.1.5	Methacrylsäure	246
5.2.6.2	Koch-Säuren	247
5.2.6.3	Fettsäuren	249
5.2.6.4	Dicarbonsäuren	254
5.2.6.4.1	Adipinsäure	254
5.2.6.4.2	1,12-Dodecandisäure	255
5.2.6.4.3	Maleinsäure und Maleinsäureanhydrid	256

5.2.6.5	Aromatische Carbonsäuren .....	263
5.2.6.5.1	Benzoessäure .....	263
5.2.6.5.2	Terephthalsäure .....	264
5.2.6.5.3	Phthalsäure und Phthalsäureanhydrid .....	268
5.2.6.5.4	Isophthalsäure .....	269
5.2.6.5.5	Pyromellitsäuredianhydrid .....	270
5.2.6.6	Aminosäuren .....	270
5.2.6.6.1	Lysin .....	270
5.2.6.6.2	Methionin .....	272
5.2.6.6.3	Glutaminsäure .....	272
5.2.6.7	Frucht- und Nahrungsmittelsäuren .....	273
5.2.6.7.1	Milchsäure .....	273
5.2.6.7.2	Äpfelsäure .....	273
5.2.6.7.3	Weinsäure .....	274
5.2.6.7.4	Citronensäure .....	274
5.2.6.7.5	Sorbinsäure .....	274
5.2.7	Einführung von Sauerstoff in organische Verbindungen .....	275
5.2.8	Literatur .....	279
5.3	Halogenhaltige Verbindungen .....	281
5.3.1	Chlorhaltige Verbindungen .....	281
5.3.1.1	Chlormethane .....	282
5.3.1.2	Chlorhaltige C <sub>2</sub> -Produkte .....	286
5.3.1.2.1	Ethylchlorid .....	286
5.3.1.2.2	Vinylchlorid und 1,2-Dichlorethan .....	287
5.3.1.2.3	Vinylidenchlorid .....	290
5.3.1.2.4	Tri- und Tetrachlorethen .....	291
5.3.1.3	Höhere chlorhaltige Produkte .....	292
5.3.1.3.1	Langkettige Chlorparaffine .....	292
5.3.1.3.2	Allylchlorid .....	293
5.3.1.3.3	Chlorhaltige Aromaten .....	294
5.3.2	Fluorhaltige Verbindungen .....	295
5.3.2.1	Fluorchloralkane .....	295
5.3.2.2	Fluorethane und Fluorethene .....	296
5.3.2.3	Perfluorverbindungen .....	298
5.3.3	Bromhaltige Verbindungen .....	298
5.3.4	Literatur .....	299
5.4	Stickstoffhaltige Verbindungen .....	299
5.4.1	Amine .....	301
5.4.1.1	Methylamine .....	301
5.4.1.2	Fettamine .....	302
5.4.1.3	Hexamethyldiamin .....	302
5.4.1.4	Ethanolamine .....	303
5.4.1.5	Anilin .....	304
5.4.1.6	Pyridine .....	305

5.4.2	Amide	305
5.4.2.1	Harnstoff	305
5.4.2.2	Melamin	309
5.4.3	Lactame	309
5.4.3.1	$\epsilon$ -Caprolactam	309
5.4.3.2	Lauryllactam	312
5.4.4	Blausäure	312
5.4.5	Nitrile	314
5.4.5.1	Acrylnitril	314
5.4.5.2	Adipodinitril	316
5.4.6	Isocyanate	317
5.4.7	Einführung des Stickstoffs in organische Verbindungen	319
5.4.8	Literatur	320
5.5	Schwefelhaltige Verbindungen	320
5.6	Phosphorhaltige Verbindungen	321
5.7	Metallorganische Verbindungen	323
5.7.1	Bleialkyle	323
5.7.2	Aluminiumalkyle	323
5.7.3	Siliciumorganische Verbindungen	326
5.7.4	Zinnorganische Verbindungen	328
5.7.5	Metallorganische Komplexe in der technischen organischen Synthese	329
5.7.6	Literatur	332
<b>6</b>	<b>Endprodukte</b>	<b>333</b>
6.1	Polymere	334
6.1.1	Allgemeines über Polymere	334
6.1.1.1	Struktur der Polymere	334
6.1.1.2	Polymersynthesen	337
6.1.1.2.1	Polykondensation und Polyaddition	337
6.1.1.2.2	Polymerisation	339
6.1.1.3	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	352
6.1.1.3.1	Entwicklung der Polymer-Produktion	352
6.1.1.3.2	Einteilung der Polymere	353
6.1.1.3.3	Kunststoff-Additive	360
6.1.2	Einzelbetrachtung der Polymere	362
6.1.2.1	Polymerisate	363
6.1.2.1.1	Polyolefine	363
a)	Polyethylen	363
b)	Polypropylen	368
c)	Polyisobuten	369
6.1.2.1.2	Halogenhaltige Polyolefine	370
a)	Polyvinylchlorid	370
b)	Polyvinylidenchlorid	371
c)	Fluorhaltige Polyolefine	372

6.1.2.1.3	Styrol-Polymerisate .....	372
	a) Polystyrol .....	372
	b) Co- und Terpolymerisate .....	375
6.1.2.1.4	Polyacrylverbindungen .....	376
	a) Polyacrylester .....	376
	b) Polymethacrylester .....	376
	c) Polyacrylnitril .....	377
6.1.2.1.5	Halogenfreie Polyvinylverbindungen .....	377
	a) Polyvinylether .....	377
	b) Polyvinylester .....	378
	c) Polyvinylalkohol .....	378
	d) Polyvinylacetale .....	378
	e) Polyvinylamine .....	378
6.1.2.1.6	Polydiene .....	379
	a) Polybutadien .....	379
	b) Styrol-Butadien-Kautschuk .....	380
	c) Nitrilkautschuk .....	380
	d) Polyisopren .....	380
	e) Butylkautschuk .....	381
	f) Polychloropren .....	381
6.1.2.2	Polykondensate .....	381
	6.1.2.2.1 Polyester .....	381
	6.1.2.2.2 Polyamide .....	383
	6.1.2.2.3 Pheno- und Aminoplaste .....	386
	a) Phenoplaste .....	386
	b) Aminoplaste .....	390
	6.1.2.2.4 Polycarbonate .....	391
	6.1.2.2.5 Silicone .....	391
6.1.2.3	Polyaddukte .....	393
	6.1.2.3.1 Epoxidharze .....	393
	6.1.2.3.2 Polyurethane .....	396
	6.1.2.3.3 Polyacetale .....	398
6.1.2.4	Spezialkunststoffe .....	398
6.1.3	Literatur .....	401
6.2	Waschmittel .....	403
	6.2.1 Tenside .....	404
	6.2.1.1 Aniontenside .....	407
	6.2.1.2 Kationtenside .....	411
	6.2.1.3 Amphotenside .....	412
	6.2.1.4 Niotenside (Nonionics) .....	413
	6.2.2 Zusatzstoffe für Waschmittel .....	413
	6.2.2.1 Komplexbildner .....	413
	6.2.2.2 Bleichmittel .....	415
	6.2.2.3 Weißtöner .....	415

6.2.2.4	Vergrauungsinhibitoren	416
6.2.2.5	Korrosionsinhibitoren	416
6.2.2.6	Schaumregulatoren	416
6.2.2.7	Enzyme	417
6.2.2.8	Stellmittel	417
6.2.2.9	Parfümöle und Farbstoffe	417
6.2.3	Konfektionierung von Pulverwaschmitteln	417
6.2.4	Biologische Abbaubarkeit	418
6.2.5	Literatur	419
6.3	Pflanzenschutzmittel	420
6.3.1	Bedeutung des Pflanzenschutzes	420
6.3.2	Pflanzenschutz und Umwelt	420
6.3.3	Verschiedene Möglichkeiten des Pflanzenschutzes	421
6.3.4	Einteilung der chemischen Pflanzenschutzmittel	421
6.3.5	Wirkstoffe gegen tierische Schädlinge	423
6.3.6	Wirkstoffe gegen Pflanzenkrankheiten	424
6.3.7	Wirkstoffe zur Unkrautbekämpfung	424
6.3.8	Literatur	425
6.4	Pharmaka	426
6.4.1	Wirtschaftliche Gesichtspunkte	426
6.4.2	Synthetische Gesichtspunkte	427
6.4.3	Arzneimittelkosten	431
6.4.4	Entwicklung der Arzneimittelforschung	431
6.4.5	Literatur	432
6.5	Farbstoffe und Pigmente	433
6.5.1	Historische Entwicklung	433
6.5.2	Farbstoffe	433
6.5.2.1	Einteilung nach dem färberischen Verhalten	434
6.5.2.2	Einteilung nach der chemischen Struktur	435
6.5.2.3	Anwendung und Bedeutung	436
6.5.3	Farbpigmente	437
6.5.4	Literatur	438

## Anorganisch-industrielle Chemie

<b>7</b>	<b>Anorganisch-technische Rohstoffe</b>	<b>440</b>
<b>8</b>	<b>Anorganisch-technische Zwischenprodukte</b>	<b>441</b>
8.1	Stickstoffhaltige Verbindungen	441
8.1.1	Ammoniak	441
8.1.2	Salpetersäure und Nitrate	447
8.1.3	Literatur	448
8.2	Schwefelhaltige Verbindungen	449
8.2.1	Schwefel und Schwefeloxide	449
8.2.2	Schwefelsäure und Sulfate	450
8.2.3	Literatur	454

8.3	Halogenhaltige Verbindungen	455
8.3.1	Chlorhaltige Verbindungen	455
8.3.1.1	Chloride	455
8.3.1.2	Chlor	460
8.3.1.3	Chlorwasserstoff und Salzsäure	468
8.3.2	Fluorhaltige Verbindungen	470
8.3.2.1	Fluoride	470
8.3.2.2	Fluorwasserstoff und Flußsäure	470
8.3.2.3	Fluor	471
8.3.3	Bromhaltige Verbindungen	472
8.3.4	Literatur	474
8.4	Kohlenstoffhaltige Verbindungen	475
8.4.1	Graphit, Ruß, Aktivkohle	475
8.4.1.1	Graphit und Kunstkohle	475
8.4.1.2	Aktivkohle	476
8.4.2	Carbonate	476
8.4.3	Literatur	478
8.5	Phosphorhaltige Verbindungen	478
8.5.1	Vorkommen und Abbau von Phosphaten	478
8.5.2	Elementarer Phosphor	479
8.5.3	Phosphorsäure	479
8.5.4	Phosphate	480
8.5.5	Phosphorsulfide	481
8.5.6	Phosphorhalogenide	481
8.5.7	Literatur	482
8.6	Siliciumhaltige Verbindungen	482
8.6.1	Elementares Silicium	482
8.6.2	Siliciumdioxid	483
8.6.3	Molsiebe (Zeolithe)	484
8.6.4	Literatur	491
<b>9</b>	<b>Anorganisch-technische Endprodukte</b>	<b>493</b>
9.1	Düngemittel	493
9.1.1	Historische Entwicklung	493
9.1.2	Stickstoffdüngemittel	493
9.1.3	Düngephosphate	494
9.1.4	Kalidüngemittel	495
9.1.5	Wirtschaftliches	495
9.1.6	Düngemittel und Umweltschutz	496
9.1.7	Literatur	496
9.2	Werkstoffe in der chemischen Industrie	497
9.2.1	Metallische Werkstoffe	497
9.2.1.1	Eisenwerkstoffe	497
9.2.1.2	Nichteisenmetalle	499

9.2.2	Anorganische nichtmetallische Werkstoffe	501
9.2.2.1	Glas	501
9.2.2.2	Email	502
9.2.2.3	Feuerfeste und säurefeste Steine	502
9.2.2.4	Graphit	502
9.2.3	Organische Werkstoffe	503
9.2.3.1	Thermoplaste	504
9.2.3.2	Elastomere	504
9.2.3.3	Duromere	504
9.2.3.4	Kunststoffschäume	505
9.2.3.5	Hölzer	505
9.2.3.6	Verbundwerkstoffe	505
9.2.4	Literatur	506
9.3	Anorganische Pigmente	506
9.3.1	Weißpigmente	507
9.3.2	Schwarzpigmente	508
9.3.3	Buntpigmente	509
9.3.4	Literatur	509
9.4	Katalysatoren	510
9.4.1	Verfahrenstechnische Aspekte	514
9.4.2	Katalysatorherstellung	515
9.4.3	Katalysatorcharakterisierung	518
9.4.4	Literatur	519
9.5	Anorganische Polymere	519
9.5.1	Kohlenstoff-Fasern (Carbonfasern)	520
9.5.2	Polyphosphazene	521
9.5.3	Borhaltige Fasern	522
9.5.4	Glasfasern	523
9.5.5	Metallfasern	524
9.5.6	Literatur	524
10	Chemie und Umwelt	525
10.1	Reinhaltung des Wassers	525
10.2	Reinhaltung der Luft	528
10.3	Recycling von Rohstoffen	531
10.4	Literatur	532
	Namen- und Sachverzeichnis	535