

# Chemische Prozeßkunde

Ulfert Onken  
Arno Behr

304 Abbildungen  
185 Tabellen



1996

Georg Thieme Verlag Stuttgart • New York

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kapitel 1 Chemische Prozesse und chemische Industrie</b>	<b>1</b>
1.1 Chemische Prozeßkunde als Teil der technischen Chemie ..	1
1.2 Besonderheiten chemischer Prozesse .....	1
1.3 Chemie und Umwelt .....	4
1.4 Chemie Wirtschaft.....	11
1.5 Struktur von Chemieunternehmen .....	17
1.6 Bedeutung von Forschung und Entwicklung für die chemische Industrie. ....	20
1.7 Entwicklungstendenzen und Zukunftsaussichten der chemischen Industrie ....	24
Literatur .....	26
<b>Kapitel 2 Charakterisierung chemischer Produktionsverfahren .....</b>	<b>28</b>
2.1 Laborverfahren und technische Verfahren .....	28
2.2 Gliederung chemischer Produktionsverfahren .....	35
2.3 Darstellung chemischer Verfahren und Anlagen durch Fließbilder .....	39
Literatur .....	51
<b>Kapitel 3 Gesichtspunkte für die Verfahrensauswahl .....</b>	<b>52</b>
3.1 Stoffliche Gesichtspunkte _____	52
3.1.1 Phenol - sechs technische Synthesewege .....	52
3.1.2 Acetylen oder Ethylen als Grundstoff für C <sub>2</sub> -Zwischenprodukte? .....	62
3.1.3 Essigsäure aus Kohle oder Erdöl? .....	62
3.1.4 Vermeidung eines Koppelprodukts: Methylenechlorid aus Methanol .....	63
3.1.5 Zusammenfassung .....	64
3.2 Energieaufwand .....	65
3.2.1 Wasserstoff .....	66
3.2.2 Schweres Wasser .....	75
3.2.3 Phosphorsäure durch thermischen oder nassen Aufschluß von Calciumphosphat .....	79
3.2.4 Zusammenfassung .....	79
3.3 Sicherheit .....	80
3.3.1 Exotherme Reaktionen .....	80
3.3.2 Brennbare und explosive Stoffe und Stoffgemische .....	85
3.3.3 Toxische Stoffe .....	91
3.3.4 Zusammenfassung und Folgerungen .....	93
3.4 Umwelt .....	94
3.4.1 Luftverunreinigungen .....	95
3.4.2 Abwasserbelastungen .....	101
3.4.3 Abfälle .....	112
3.4.4 Zusammenfassung und Folgerungen .....	120
3.5 Chargen-Verfahren oder kontinuierliches Verfahren ...	121
3.5.1 Herstellung von Natriumbenzolsulfonat .....	122
3.5.2 Unterschiede zwischen diskontinuierlichen und kontinuierlichen Verfahren ...	124
3.5.3 Entscheidungskriterien .....	127
Literatur .....	128

<b>Kapitel 4 Verfahrensentwicklung</b> .....	131		
4.1 Ausgangssituation und Ablauf .....	131	4.3.3 Energiebilanzen .....	154
4.2 Verfahrensinformationen ....	133	44 Versuchsanlagen .....	159
4.2.1 Übersicht .....	133	4.4.1 Notwendigkeit und Aufgaben .....	159
4.2.2 Sicherheitstechnische Kenndaten .....	135	4.4.2 Planung einer Versuchsan- lage .....	160
4.2.3 Toxikologische Daten .....	138	4.4.3 Typen von Versuchsanlagen ..	161
4.3 Stoff- und Energiebilanzen ...	141	4.5 Auswertung und Optimierung .....	163
4.3.1 Stoff- und Energiebilanzen - Werkzeug in Verfahrens- entwicklung und Anlagen- Projektierung .....	141	4.5.1 Auswertung .....	163
4.3.2 Stoffbilanzen .....	141	4.5.2 Verfahrensoptimierung .....	164
		Literatur .....	166
<b>Kapitel 5 Wirtschaftlichkeit von Verfahren und Produktionsanlagen</b> .....	169		
5.1 Erlöse, Kosten und Gewinn ..	169	5.3.3 Gewinn bzw. Verlust in Abhängigkeit von der Kapazitätsauslastung .....	182
5.2 Herstellkosten .....	171	5.4 Wirtschaftlichkeit von Projekten .....	184
5.2.1 Vorkalkulation und Nachkalkulation .....	171	5.4.1 Rentabilität als Maß für die Wirtschaftlichkeit .....	184
5.2.2 Ermittlung des Kapitalbedarfs .....	171	5.4.2 Kapitalrückflußzeit .....	185
5.2.3 Ermittlung der Herstell- kosten .....	175	5.4.3 Andere Methoden der Rentabilitätsbewertung .....	186
5.3 Kapazitätsauslastung und Wirtschaftlichkeit .....	179	5.4.4 Entscheidung zwischen Alternativen .....	188
5.3.1 Erlöse und Gewinn .....	179	Literatur .....	192
5.3.2 Fixe Kosten und veränderliche Kosten .....	181		
<b>Kapitel 6 Planung und Bau von Anlagen</b> .....	193		
6.1 Projektablauf .....	193	6.5 Projektentwicklung .....	203
6.2 Projektorganisation .....	194	6.5.1 Ablaufplanung und -Überwachung .....	203
6.3 Genehmigungsverfahren von Chemieanlagen .....	197	6.5.2 Bau und Montage .....	208
6.4 Anlagenplanung .....	199	Literatur .....	212
<b>Kapitel 7 Organische Grundstoffe</b> .....	214		
7.1 Erdöl und Erdgas .....	214	7.1.3 Förderung .....	218
7.1.1 Zusammensetzung und Klassifizierung .....	214	7.1.4 Erdölraffinerien .....	225
7.1.2 Bildung und Vorkommen .....	216	7.1.5 Thermische Konversions- verfahren .....	232

7.1.6 Katalytische Konversionsverfahren . . . . . 246  
 7.1.7 Aufarbeitung von Erdgas \_\_\_\_\_ 253  
 7.2 Rohstoff Kohle . . . . . 254  
 7.2.1 Zusammensetzung und Klassifizierung . . . . . 254  
 7.2.2 Vorkommen . . . . . 256  
 7.2.3 Förderung . . . . . 256  
 7.2.4 Verarbeitung . . . . . 258  
 7.2.5 Produkte auf Kohlebasis . . . . . 271

7.3 Nachwachsende Rohstoffe ... 273  
 7.3.1 Fette und Öle . . . . . 273  
 7.3.2 Kohlenhydrate . . . . . 282  
 7.3.3 Pflanzliche Sekrete und Extrakte . . . . . 288  
 7.3.4 Bedeutung nachwachsender Rohstoffe . . . . . 289  
 Literatur . . . . . 291

**Kapitel 8 Organische Zwischenprodukte** . . . . . 296

8.1 Folgeprodukte aus Alkanen .. 296  
 8.1.1 Methan . . . . . 296  
 8.1.2 Höhere n- und iso-Alkane ... 298  
 8.1.3 Cycloalkane . . . . . 300  
 8.2 Zwischenprodukte aus Ethylen . . . . . 301  
 8.2.1 Ethylenoxid . . . . . 303  
 8.2.2 Acetaldehyd . . . . . 305  
 8.2.3 Essigsäure . . . . . 307  
 8.2.4 Vinylacetat . . . . . 309  
 8.2.5 Vinylchlorid . . . . . 311  
 8.2.6 Ethylbenzol und Styrol . . . . . 313  
 8.3 Zwischenprodukte aus Propen und höheren Olefinen . . . . . 315  
 8.3.1 Produkte aus Propen . . . . . 315  
 8.3.2 Produkte aus C<sub>4</sub>-Olefinen \_\_\_\_\_ 324  
 8.3.3 Langkettige Olefine . . . . . 332

8.4 Alkohole . . . . . 337  
 8.4.1 Methanol . . . . . 337  
 8.4.2 Ethanol . . . . . 346  
 8.4.3 Höhere Alkohole . . . . . 349  
 8.5 Aliphatische Halogenverbindungen . . . . . 352  
 8.5.1 Chlormethane . . . . . 352  
 8.5.2 Chlorderivate höherer Aliphaten . . . . . 355  
 8.5.3 Aliphatische Fluorverbindungen . . . . . 357  
 8.6 Aromatische Zwischenprodukte . . . . . 360  
 8.6.1 Herstellungsverfahren . . . . . 360  
 8.6.2 Produkte . . . . . 368  
 Literatur . . . . . 372

**Kapitel 9 Organische Folgeprodukte** . . . . . 375

9.1 Polymere . . . . . 375  
 9.1.1 Aufbau und Synthese der Polymere \_\_\_\_\_ 375  
 9.1.2 Polymerisationstechnik . . . . . 381  
 9.1.3 Eigenschaften und Anwendungen wichtiger Massenkunststoffe \_\_\_\_\_ 389  
 9.1.4 Neuere Entwicklungen in der Polymerchemie \_\_\_\_\_ 396  
 9.2 Tenside und Waschmittel . . . . . 401  
 9.2.1 Aufbau und Eigenschaften ... 401  
 9.2.2 Anionische Tenside . . . . . 402

9.2.3 Kationische Tenside . . . . . 406  
 9.2.4 Nichtionische Tenside . . . . . 407  
 9.2.5 Amphotere Tenside . . . . . 408  
 9.2.6 Vergleich der Tensidklassen .. 409  
 9.2.7 Anwendungsgebiete . . . . . 411  
 9.2.8 Neue Entwicklungen . . . . . 418  
 Farbstoffe . . . . . 422  
 9.3.1 Übersicht . . . . . 422  
 9.3.2 Azofarbstoffe . . . . . 423  
 9.3.3 Carbonylfarbstoffe . . . . . 425  
 9.3.4 Methinfarbstoffe . . . . . 427  
 9.3.5 Phthalocyanine . . . . . 428

## X Inhaltsverzeichnis

9.3.6	Schwefelfarbstoffe . . . . .	429	9.5	Pflanzenschutzmittel . . . . .	447
9.3.7	Färbevorgänge . . . . .	429	9.5.1	Bedeutung des Pflanzenschutzes. . . . .	447
9.4	Pharmazeutika . . . . .	431	9.5.2	Insektizide . . . . .	448
9.4.1	Allgemeines . . . . .	431	9.5.3	Herbizide . . . . .	451
9.4.2	Gesetzliche Regelungen . . . . .	432	9.5.4	Fungizide . . . . .	454
9.4.3	Arten pharmazeutischer Produkte . . . . .	433	9.5.5	Marktdaten zum Pflanzenschutz . . . . .	455
9.4.4	Wirkstoffherstellung durch chemische Synthese . . . . .	439	9.6	Metallorganische Verbindungen und homogene Katalyse ..	457
9.4.5	Wirkstoffherstellung durch biochemische Verfahren . . . . .	440	9.6.1	Hauptgruppenmetallorganyle .	458
9.4.6	Sonstige Verfahren zur Wirkstoffherstellung . . . . .	447	9.6.2	Übergangsmetallorganyle ....	460
			9.6.3	Homogene Katalyse . . . . .	462
				Literatur . . . . .	468

## Kapitel 10 Anorganische Grundstoffe

10.1	Anorganische Schwefelverbindungen . . . . .	475	10.3.2	Chlor und Alkalilauge durch Alkalichlorid-Elektrolyse _____	491
10.1.1	Schwefel und Sulfide . . . . .	475	10.3.3	Natronlauge und Soda . . . . .	497
10.1.2	Schwefeldioxid . . . . .	476	10.4	Anorganische Phosphorverbindungen . . . . .	500
10.1.3	Schwefeltrioxid und Schwefelsäure . . . . .	478	10.4.1	Phosphaterze . . . . .	500
10.1.4	Schwefelkohlenstoff . . . . .	480	10.4.2	Elementarer Phosphor . . . . .	501
10.2	Anorganische Stickstoffverbindungen . . . . .	480	10.4.3	Phosphorsäure und Phosphate . . . . .	502
10.2.1	Ammoniak . . . . .	480	10.4.4	Weitere Phosphorderivate _____	504
10.2.2	Salpetersäure . . . . .	486	10.5	Technische Gase . . . . .	505
10.2.3	Harnstoff und Melamin . . . . .	488	10.5.1	Sauerstoff und Stickstoff . . . . .	505
10.2.4	Hydrazin . . . . .	489	10.5.2	Edelgase . . . . .	508
10.3	Chlor und Alkalien . . . . .	490	10.5.3	Kohlendioxid . . . . .	509
10.3.1	Bedeutung des Chlors als Grundstoff . . . . .	490		Literatur . . . . .	510

## Kapitel 11 Anorganische Massenprodukte

11.1	Düngemittel . . . . .	512	11.2	Silikate, Tone und Feinkeramika . . . . .	519
11.1.1	Bedeutung der Düngemittel ..	512	11.2.1	Silikate . . . . .	519
11.1.2	Stickstoffdüngemittel . . . . .	512	11.2.2	Tone und Feinkeramika . . . . .	520
11.1.3	Phosphor-Düngemittel . . . . .	515	11.3	Baustoffe . . . . .	522
11.1.4	Kali-Düngemittel . . . . .	515	11.3.1	Übersicht . . . . .	522
11.1.5	Mehrnährstoffdünger . . . . .	516	11.3.2	Gips . . . . .	523
11.1.6	Wirtschaftliche Betrachtung ..	517	11.3.3	Kalk . . . . .	524
			11.3.4	Zement . . . . .	525
			11.3.5	Grobkeramika . . . . .	526

11.4	Metalle . . . . .	526	11.4.5	Edelmetalle . . . . .	535
11.4.1	Eisenmetalle . . . . .	527	11.4.6	Leichtmetalle . . . . .	538
11.4.2	Buntmetalle . . . . .	532	11.4.7	Korrosion und	
11.4.3	Weißmetalle . . . . .	534		Korrosionsschutz . . . . .	539
11.4.4	Legierungsmetalle . . . . .	534		Literatur . . . . .	541

**Kapitel 12 Anorganische Spezialprodukte . . . . . 543**

12.1	Keramische Hochleistungswerkstoffe . . . . .	543	12.3.2	Katalysatorherstellung . . . . .	557
12.1.1	Feuerfeste Keramik . . . . .	543	12.3.3	Katalysator- Charakterisierung . . . . .	559
12.1.2	Elektro-und Magnetokeramik . . . . .	543	12.3.4	Spezielle Heterogenkatalysatoren . . . . .	565
12.1.3	Oxidkeramik . . . . .	544	12.4	Silicone . . . . .	568
12.1.4	NichtOxidkeramik . . . . .	545	12.4.1	Struktur und Eigenschaften ..	568
12.2	Anorganische Fasern . . . . .	548	12.4.2	Herstellung der Ausgangsverbindungen . . . . .	570
12.2.1	Natürliche Fasern . . . . .	548	12.4.3	Herstellung der Silicone . . . . .	573
12.2.2	Carbonfasern . . . . .	549	12.4.4	Technische Siliconerzeugnisse . . . . .	576
12.2.3	Glasfasern . . . . .	550	12.5	Produkte für die Kommunikationstechnik . . . . .	578
12.2.4	Mineralfasern . . . . .	550	12.5.1	Mikroelektronik . . . . .	578
12.2.5	Aluminiumoxid-Fasern . . . . .	551	12.5.2	Optoelektronik . . . . .	581
12.2.6	Bor-haltige Fasern . . . . .	551	12.5.3	Audio- und Videotechnik_____	584
12.2.7	Siliciumcarbid-Fasern . . . . .	552	12.5.4	Reprographie . . . . .	585
12.2.8	Polyphosphazene . . . . .	552		Literatur . . . . .	589
12.2.9	Metallfasern . . . . .	553			
12.3	Katalysatoren . . . . .	553			
12.3.1	Grundprinzipien der heterogenen Katalyse . . . . .	553			

**Anhang 1 . . . . . 592**

Größen zur Charakterisierung von Verfahren und Anlagen

**Anhang 2 . . . . . 595**

Gefährliche Stoffe - Begriffe, Einstufung und Kennzeichnung

**Anhang 3 . . . . . 601**

Enzyklopädien und Nachschlagewerke zur Technischen Chemie

**Sachverzeichnis . . . . . 602**

**Produktschema - Ausklapptafeln F 1-F 14 . . . . . Am Schluß des Buches**