

TECHNISCHE ANORGANISCHE CHEMIE

Mit 109 Bildern, 135 Tabellen und 54 Übersichten



Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH · Leipzig

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	15
1.1.	Aufgabe, Stellung und Entwicklung der technischen anorganischen Chemie	15
1.2.	Rohstoffe	16
1.2.1.	Rohstoffsituation	16
1.2.2.	Rohstoffvorkommen und -nutzung	17
1.3.	Verfahren	20
1.3.1.	Verfahren ohne Stoffumwandlung	20
1.3.2.	Verfahren mit Stoffumwandlung	21
1.3.3.	Tendenzen der Verfahrensentwicklung	21
1.4.	Wichtige Betriebsmittel	22
1.4.1.	Wärmeenergie	23
1.4.2.	Kälte	24
1.4.3.	Elektroenergie	24
1.4.4.	Wasser	25
1.4.5.	Gasförmige Betriebsmittel	26
1.4.6.	Vakuum	26
1.5.	Werkstoffe	26
1.6.	Umweltschutz in der technischen anorganischen Chemie	28
1.6.1.	Luftreinhaltung	30
1.6.2.	Gewässerreinhaltung	31
1.6.3.	Bodenreinhaltung	32
	<i>Literatur zum Abschnitt 1.</i>	32
2.	Prozeßaspekte in der technischen anorganischen Chemie	33
2.1.	Einleitung	33
2.2.	Erkundung und Gewinnung von Rohstoffen	34
2.3.	Mechanische Stofftrennverfahren und angrenzende Prozesse	37
2.3.1.	Zerkleinerung	37
2.3.2.	Agglomeration (Kornvergrößerung)	40
2.3.3.	Klassierung	42
2.3.3.1.	Beschreibung von Körnerkollektiven	43
2.3.3.2.	Siebklassierung	45
2.3.3.3.	Stromklassierung	46

2.3.4.	Förderung	49
2.3.4.1.	Förderung von Feststoffen	49
2.3.4.2.	Förderung von Flüssigkeiten	50
2.3.4.3.	Förderung von Gasen	53
2.3.5.	Lagerung	54
2.3.5.1.	Lagerung von Feststoffen	54
2.3.5.2.	Lagerung von Flüssigkeiten und Gasen	55
2.3.6.	Stofftrennverfahren fest-fest (Sortierverfahren)	56
2.3.6.1.	Dichtesortierung	56
2.3.6.2.	Sortierung im Magnetfeld	59
2.3.6.3.	Sortierung im elektrischen Feld	60
2.3.6.4.	Flotation	62
2.3.7.	Stofftrennung fest-flüssig (mechanische Flüssigkeitsabtrennung)	65
2.3.7.1.	Sedimentation	65
2.3.7.2.	Filtration	67
2.3.7.3.	Flüssigkeitsabtrennung mit Hilfe von Zentrifugalkräften	69
2.3.8.	Stofftrennung fest-gasförmig (Entstaubung)	71
2.4.	Ausgewählte thermische Stofftrennverfahren	73
2.4.1.	Lösen	73
2.4.1.1.	Lösen von Feststoffen	73
2.4.1.2.	Absorption	76
2.4.2.	Flüssig-Flüssig-Extraktion	78
2.4.3.	Adsorption und Ionenaustausch	84
2.4.4.	Destillation	86
2.4.5.	Stofftrennung mit Membranen	89
2.4.6.	Kristallisation und Fällung	91
2.4.7.	Trocknung	95
2.5.	Verfahren mit Stoffumwandlung	98
2.5.1.	Thermodynamische Grundlagen	98
2.5.2.	Reaktionen in flüssiger Phase	102
2.5.2.1.	Fällungsreaktionen	104
2.5.2.2.	Reziproke Umsetzungen	105
2.5.2.3.	Neutralisations- und Verdrängungsreaktionen	105
2.5.2.4.	Redox-Reaktionen	106
2.5.3.	Gasreaktionen	109
2.5.4.	Hochtemperaturreaktionen	110
2.5.4.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen	112
2.5.4.2.	Spezielle Hochtemperaturreaktionen	113
2.5.4.3.	Hochtemperaturreaktoren und Prozeßführung	119
2.5.5.	Elektrochemische Reaktionen	121
2.5.5.1.	Grundlagen der Elektrolyse	124
2.5.5.2.	Apparative Parameter und Reaktionsführung	126
2.5.5.3.	Elektrolysen in Lösung	131
2.5.5.4.	Schmelzflußelektrolysen	131
2.5.5.5.	Optimierung von Elektrolyseverfahren	132
2.6.	Biotechnologische Prinzipien in anorganisch-technischen Verfahren	133
	Literatur zum Abschnitt 2.	137

3.	Technische Gase	139
3.1.	Einleitung	139
3.2.	Verfahren ohne Stoffumwandlung	139
3.2.1.	Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff	141
3.2.1.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen der destillativen Luftzerlegung	141
3.2.1.2.	Technologie der Luftzerlegung	144
3.2.1.3.	Adsorptive Luftzerlegung	145
3.2.2.	Verfahren zur Gewinnung von Edelgasen	146
3.2.2.1.	Gewinnung von Helium und Neon	146
3.2.2.2.	Gewinnung von Argon	148
3.2.2.3.	Gewinnung von Krypton und Xenon	149
3.2.3.	Eigenschaften und Verwendung der Gase	151
3.3.	Verfahren mit Stoffumwandlung	151
3.3.1.	Herstellung von Synthesegas	151
3.3.2.	Ammoniak-Synthese	154
3.3.2.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen	155
3.3.2.2.	Reaktoren und Reaktionsführung	157
3.3.2.3.	Energie- und Exergiebilanz der Ammoniak-Synthese	158
3.3.2.4.	Technologie der Ammoniak-Synthese	160
3.3.2.5.	Eigenschaften und Verwendung	162
3.3.3.	Herstellung von Gasen durch elektrochemische Verfahren	164
3.3.3.1.	Herstellung von Chlor durch Alkalimetallchlorid-Elektrolyse	164
3.3.3.2.	Herstellung von Chlor durch Salzsäure-Elektrolyse	164
3.3.3.3.	Trocknung und Verflüssigung von Chlor	165
3.3.3.4.	Eigenschaften und Verwendung von Chlor	168
3.3.3.5.	Herstellung von Fluor	168
3.3.3.6.	Elektrolyse des Wassers (H_2 , O_2)	171
	<i>Literatur zum Abschnitt 3.</i>	<i>172</i>
4.	Anorganische Salze	173
4.1.	Einleitung	173
4.2.	Gewinnung von Salzen durch Verfahren ohne Stoffumwandlung	174
4.2.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip	174
4.2.2.	Kaliohsalze	176
4.2.2.1.	Entstehung und Verbreitung der Kalisalzlagerstätten	176
4.2.2.2.	Herstellung von Kaliumchlorid durch Löse- und Kristallisationsprozesse	180
4.2.2.3.	Flotationsverfahren zur Herstellung von Kaliumchlorid	186
4.2.2.4.	Elektrostatische Verfahren zur Aufbereitung von Kaliohsalzen	188
4.2.2.5.	Eigenschaften und Verwendung von Kaliumchlorid	190
4.2.2.6.	Herstellung und Verwendung von Brom	191
4.2.2.7.	Anfall und Verwendung des Magnesiumchlorids	191
4.2.2.8.	Gewinnung und Verwendung des Magnesiumsulfats	193
4.2.3.	Natriumchlorid	194
4.2.3.1.	Gewinnung und Verwendung von technischem Natriumchlorid	194

4.2.3.2.	Siedesalzerstellung	196
4.2.4.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Calciumfluorid	197
4.2.5.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Bariumsulfat	199
4.2.6.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Calciumcarbonat	200
4.2.7.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Calciumsulfat	201
4.2.8.	Vorkommen von Bormineralien – Herstellung und Verwendung von Borverbindungen	202
4.3.	Salzherstellung durch reziproke Umsetzung	204
4.3.1.	Verfahrensprinzip	204
4.3.2.	Natriumcarbonat	206
4.3.2.1.	Gleichgewichte im System $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NaCl} = \text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}/\text{H}_2\text{O}$	206
4.3.2.2.	Verfahren zur Herstellung von Natriumcarbonat	207
4.3.3.	Herstellung und Verwendung von Natriumsulfat	210
4.3.4.	Kaliumsulfat	213
4.3.4.1.	Gleichgewichte im System $2 \text{KCl} + \text{MgSO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2/\text{H}_2\text{O}$	213
4.3.4.2.	Herstellung und Verwendung von Kaliumsulfat	214
4.3.5.	Kaliumnitrat	215
4.3.5.1.	Gleichgewichte im System $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} = \text{KNO}_3 + \text{NaCl}/\text{H}_2\text{O}$	215
4.3.5.2.	Herstellung und Verwendung von Kaliumnitrat	216
4.3.6.	Herstellung und Verwendung von Ammoniumsulfat	218
4.4.	Herstellung von Salzen durch Neutralisations- und Verdrängungsreaktionen	219
4.4.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip	219
4.4.2.	Herstellung und Verwendung technisch wichtiger Nitrate und Nitrite	220
4.4.3.	Harnstoff	222
4.4.3.1.	Theoretische Grundlagen der Harnstoffsynthese	222
4.4.3.2.	Technische Durchführung der Harnstoffsynthese	223
4.4.3.3.	Eigenschaften und Verwendung des Harnstoffs	225
4.4.4.	Phosphat- und Komplexdüngemittel	227
4.4.4.1.	Produktion von Phosphatdüngemitteln – Rohstoffe und Einteilung der Herstellungsverfahren	227
4.4.4.2.	Herstellung von Phosphatdüngemitteln durch Aufschluß mit Schwefel-, Phosphor- oder Salzsäure	231
4.4.4.3.	Aufschluß von Rohphosphaten mit Salpetersäure – Herstellung von Mehrnährstoffdüngern	233
4.4.5.	Herstellung und Verwendung wichtiger technischer Phosphate	237
4.4.6.	Herstellung und Verwendung von Kaliumcarbonat	238
4.4.7.	Herstellung und Verwendung technisch wichtiger Fluorsalze	240
4.4.8.	Herstellung und Verwendung von wasserfreiem Aluminiumchlorid	243
4.5.	Herstellung von Salzen durch elektrochemische Oxydation	243
4.5.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip	243
4.5.2.	Chlorate und Perchlorate	245
4.5.2.1.	Chemische und elektrochemische Grundlagen	245
4.5.2.2.	Verfahren zur Herstellung von Chloraten und Perchloraten	246
4.5.3.	Permanganate	247
4.5.3.1.	Chemische und elektrochemische Grundlagen	247

4.5.3.2.	Herstellung von Permanganaten	248
4.5.4.	Wasserstoffperoxid und Peroxodischwefelsäure	250
4.6.	Elektrothermische Verfahren	252
4.6.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip	252
4.6.2.	Calciumcarbid	252
4.6.2.1.	Vorbereitung der Rohstoffe	253
4.6.2.2.	Verfahren zur Herstellung von Calciumcarbid	253
4.6.2.3.	Stoff- und Energiebilanz des Carbidprozesses	255
4.6.2.4.	Eigenschaften und Verwendung	256
4.6.3.	Calciumcyanamid	256
4.6.3.1.	Verfahren zur Herstellung von Calciumcyanamid	256
4.6.3.2.	Eigenschaften und Verwendung	257
<i>Literatur zum Abschnitt 4.</i>		259
5.	Säuren	260
5.1.	Einleitung	260
5.2.	Herstellung von Säuren über Gasreaktionen	261
5.2.1.	Schwefelsäure	262
5.2.1.1.	Herstellung von Schwefeldioxid	262
5.2.1.2.	Herstellung von Schwefeltrioxid	265
5.2.1.3.	Absorption und Konzentrierung	267
5.2.1.4.	Eigenschaften und Verwendung von Schwefelsäure und Oleum	268
5.2.1.5.	Ausgewählte Schwefelverbindungen	268
5.2.2.	Salpetersäure	269
5.2.2.1.	Technologie der Ammoniakoxydation	272
5.2.2.2.	Oxydation und Absorption der nitrosen Gase	273
5.2.2.3.	Verfahren zur Herstellung von verdünnter Salpetersäure	274
5.2.2.4.	Verfahren zur Herstellung hochkonzentrierter Salpetersäure	275
5.2.2.5.	Eigenschaften und Verwendung von Salpetersäure	277
5.2.3.	Chlorwasserstoff und Salzsäure	277
5.2.3.1.	Synthese von Chlorwasserstoff aus den Elementen	278
5.2.3.2.	Absorption von Chlorwasserstoff	279
5.2.3.3.	Eigenschaften und Verwendung	280
5.3.	Herstellung von Säuren durch Verdrängungsreaktionen	280
5.3.1.	Phosphorsäure	280
5.3.1.1.	Aufschluß von Phosphaten mit Säuren	281
5.3.1.2.	Elektrothermische Gewinnung von Phosphor und Herstellung von thermischer Phosphorsäure	282
5.3.1.3.	Verwendung von Phosphorsäure	285
5.3.2.	Fluorwasserstoff	286
5.3.2.1.	Herstellung von Fluorwasserstoff	286
5.3.2.2.	Eigenschaften und Verwendung	288
5.4.	Herstellung von Säuren durch elektrochemische Verfahren	288
<i>Literatur zum Abschnitt 5.</i>		288

6.	Basen	290
6.1.	Einleitung	290
6.2.	Alkalimetallchlorid-Elektrolyse	291
6.2.1.	Grundlagen	291
6.2.2.	Quecksilberverfahren (Amalgamverfahren)	292
6.2.3.	Diaphragmaverfahren	296
6.2.4.	Membranverfahren	300
6.2.5.	Dimensionsstabile Anoden	302
6.2.6.	Elektrolyse von Kaliumchlorid	303
6.3.	Herstellung von Calciumoxid und Calciumhydroxid	305
	<i>Literatur zum Abschnitt 6.</i>	<i>307</i>
7.	Metalle	308
7.1.	Eigenschaften, Einteilung, wirtschaftliche Bedeutung, Produktion, Rohstoffe	308
7.2.	Verfahren der Metallgewinnung	313
7.2.1.	Gewinnungsprinzipien	313
7.2.2.	Verarbeitung von Sekundärrohstoffen	314
7.2.3.	Chemisch-metallurgische Vorbereitungs- und Konzentrierungsverfahren	315
7.2.3.1.	Pyrometallurgische Vorbereitungs- und Konzentrierungsverfahren	318
7.2.3.2.	Hydrometallurgische Vorbereitungs- und Konzentrierungsverfahren	326
7.2.4.	Herstellungsverfahren für reine Metallverbindungen	328
7.2.4.1.	Fällungsverfahren	328
7.2.4.2.	Flüssig-Flüssig-Extraktion und Ionenaustausch	330
7.2.4.3.	Thermische Verfahren	331
7.2.5.	Reduktionsverfahren	332
7.2.5.1.	Pyrometallurgische Reduktion	332
7.2.5.2.	Elektrochemische Reduktion	336
7.2.5.3.	Reduktion unter Druck	337
7.2.6.	Rohmetallraffinationsverfahren	337
7.2.6.1.	Physikalische Raffinationsverfahren	337
7.2.6.2.	Chemische Raffinationsmethoden	339
7.2.6.3.	Elektrolytische Raffination	340
7.2.7.	Hochtemperaturreaktoren in der Metallurgie	341
7.2.8.	Pulvermetallurgie	341
7.3.	Eisen, Stahl und Ferrolegierungen	344
7.3.1.	Roheisenerzeugung im Hochofen	346
7.3.2.	Stahlerzeugung	348
7.3.2.1.	Herdofenverfahren	348
7.3.2.2.	Sauerstoffblasverfahren	350
7.3.3.	Ferrolegierungen (Mn, Si, Cr, Mo, W, Ni)	350
7.4.	Aluminium	351
7.4.1.	Bayer-Aufschlußverfahren	351
7.4.2.	Aluminiumoxid-Schmelzflußelektrolyse und Raffination	354
7.4.3.	Weitere Verfahren zur Aluminiumoxid- und Aluminiumherstellung	355
7.4.4.	Aluminiumschrotte	356

7.5.	Kupfer	356
7.5.1.	Pyrometallurgische Gewinnung von Rohkupfer	356
7.5.2.	Verarbeitung von Kupferschrotten	357
7.5.3.	Raffination von Rohkupfer	357
7.5.4.	Hydrometallurgische Kupfergewinnung	359
7.6.	Zink	359
7.6.1.	Hydrometallurgische Zinkgewinnung	360
7.6.2.	Pyrometallurgische Verfahren der Zinkoxidkonzentrierung, Zinkoxid-reduktion und Zinkraffination	362
7.7.	Blei	362
7.8.	Nickel	365
7.9.	Zinn	367
7.10.	Magnesium	368
7.11.	Sondermetalle, Edelmetalle und Halbmetalle	369
7.11.1.	Titanium	369
7.11.2.	Tantal	370
7.11.3.	Uranium	370
7.11.4.	Silber und Gold	370
7.11.5.	Silicium	372
<i>Literatur zum Abschnitt 7.</i>		373
8.	Silicate und Hochtemperaturwerkstoffe	375
8.1.	Einleitung	375
8.2.	Konstitution und Eigenschaften der Silicate	377
8.2.1.	Bindungsverhältnisse in den Silicaten	377
8.2.2.	Systematisierung der Silicate	378
8.2.3.	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	380
8.2.3.1.	Kristalline Silicate	380
8.2.3.2.	Glasierte Silicate	381
8.3.	Glas	385
8.3.1.	Glasrohstoffe und Aufbereitung	385
8.3.2.	Glasschmelzen	386
8.3.2.1.	Physikalisch-chemische Vorgänge	387
8.3.2.2.	Technologie des Glasschmelzens	388
8.3.3.	Verarbeitung der Glasschmelze	390
8.3.3.1.	Ausarbeiten der Glasschmelze	390
8.3.3.2.	Kühlen des Glases	393
8.3.3.3.	Bearbeitung des Glases	394
8.3.4.	Gesteuerte Kristallisation in Gläsern	395
8.4.	Keramik	397
8.4.1.	Charakterisierung keramischer Produkte	397
8.4.2.	Keramische Rohstoffe und Aufbereitung	398
8.4.3.	Herstellung feinkeramischer Erzeugnisse	400
8.4.3.1.	Eigenschaften des Systems Ton-Wasser	400
8.4.3.2.	Technologie der Feinkeramikherstellung	401

8.5.	Email	406
8.5.1.	Charakterisierung und Anwendung der Emails	406
8.5.2.	Vorbehandlung der Metalle für die Emaillierung	407
8.5.2.1.	Vorbehandlung von Stahl	407
8.5.2.2.	Vorbehandlung von Gußeisen	408
8.5.3.	Emailrohstoffe und Aufbereitung	409
8.5.4.	Technologie der Emaillierung	410
8.5.5.	Physikalisch-chemische Vorgänge beim Emaillierprozeß	411
8.5.5.1.	Emailschicht	411
8.5.5.2.	Grenzschicht Metall/Email	412
8.6.	Bindebaustoffe	412
8.6.1.	Bedeutung der Bindebaustoffe	412
8.6.2.	Luftbindebaustoffe	413
8.6.3.	Hydraulische Bindebaustoffe	414
8.6.3.1.	Rohstoffe des Portlandzements und Aufbereitung	414
8.6.3.2.	Verarbeitung der Rohstoffe zu Zement	416
8.6.3.3.	Physikalisch-chemische Vorgänge bei der Zementklinkerbildung	418
8.6.3.4.	Spezialzemente	419
8.6.3.5.	Abbindeverhalten von Zementen	419
8.6.4.	Hydrothermale Bindebaustoffe	421
8.6.4.1.	Kalksandstein	422
8.6.4.2.	Silicatbeton	423
8.7.	Adsorbenzien	424
8.7.1.	Kohlenstoffadsorbenzien	424
8.7.2.	Silicatische Adsorbenzien	426
8.8.	Spezielle Hochtemperaturwerkstoffe	430
8.8.1.	Kohlenstoff	431
8.8.2.	Siliciumcarbid	434
8.8.3.	Borcarbid und Übergangsmetallcarbide	437
8.8.4.	Oxide	442
8.8.5.	Nitride	450
<i>Literatur zum Abschnitt 8.</i>		452
9.	Pigmente	454
9.1.	Einleitung	454
9.2.	Eigenschaften und Einteilung der Pigmente	454
9.3.	Allgemeine Technologien	457
9.4.	Herstellung der Pigmente	458
9.4.1.	Weißpigmente	459
9.4.2.	Buntpigmente	461
9.4.3.	Schwarzpigmente	464
<i>Literatur zum Abschnitt 9.</i>		465
Sachwörterverzeichnis		466