

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b> .....	17
1.1. Aufgabe, Stellung und Entwicklung der technischen anorganischen Chemie ..	17
1.2. Rohstoffe .....	18
1.2.1. Rohstoffsituation .....	18
1.2.2. Rohstoffvorkommen und -nutzung .....	19
1.3. Verfahren .....	21
1.3.1. Verfahren ohne Stoffumwandlung .....	22
1.3.2. Verfahren mit Stoffumwandlung .....	22
1.3.3. Tendenzen der Verfahrensentwicklung .....	23
1.4. Wichtige Betriebsmittel .....	23
1.4.1. Wärmeenergie .....	24
1.4.2. Kälte .....	25
1.4.3. Elektroenergie .....	25
1.4.4. Wasser .....	26
1.4.5. Gasförmige Betriebsmittel .....	27
1.4.6. Vakuum .....	27
1.5. Werkstoffe .....	27
Literatur zum Abschnitt 1. ....	29
<b>2. Prozeßaspekte in der technischen anorganischen Chemie</b> .....	31
2.1. Einleitung .....	31
2.2. Erkundung und Gewinnung von Rohstoffen .....	31
2.3. Mechanische Stofftrennverfahren und angrenzende Prozesse .....	34
2.3.1. Zerkleinerung .....	34
2.3.2. Agglomeration (Kornvergrößerung) .....	38
2.3.3. Klassierung .....	40
2.3.3.1. Beschreibung von Körnerkollektiven .....	40
2.3.3.2. Siebklassierung .....	42
2.3.3.3. Stromklassierung .....	44
2.3.4. Förderung .....	45
2.3.4.1. Förderung von Feststoffen .....	46
2.3.4.2. Förderung von Flüssigkeiten .....	47
2.3.4.3. Förderung von Gasen .....	50
2.3.5. Lagerung .....	52
2.3.5.1. Lagerung von Feststoffen .....	52
2.3.5.2. Lagerung von Flüssigkeiten und Gasen .....	53

2.3.6.	Stofftrennverfahren fest-fest (Sortierverfahren) .....	54
2.3.6.1.	Dichtesortierung .....	54
2.3.6.2.	Sortierung im Magnetfeld .....	56
2.3.6.3.	Sortierung im elektrischen Feld .....	59
2.3.6.4.	Flotation .....	60
2.3.7.	Stofftrennung fest-flüssig (mechanische Flüssigkeitsabtrennung) ...	63
2.3.7.1.	Sedimentation .....	63
2.3.7.2.	Filtration .....	65
2.3.7.3.	Flüssigkeitsabtrennung mit Hilfe von Zentrifugalkräften .....	67
2.3.8.	Stofftrennung fest-gasförmig (Entstaubung) .....	70
2.4.	Ausgewählte thermische Stofftrennverfahren .....	71
2.4.1.	Lösen .....	71
2.4.1.1.	Lösen von Feststoffen .....	71
2.4.1.2.	Absorption .....	75
2.4.2.	Flüssig-Flüssig-Extraktion .....	76
2.4.3.	Adsorption und Ionenaustausch .....	80
2.4.4.	Destillation .....	83
2.4.5.	Kristallisation und Fällung .....	85
2.4.6.	Trocknung .....	90
2.5.	Verfahren mit Stoffumwandlung .....	92
2.5.1.	Thermodynamische Grundlagen .....	93
2.5.2.	Reaktionen in flüssiger Phase .....	97
2.5.2.1.	Fällungsreaktionen .....	98
2.5.2.2.	Reziproke Umsetzungen .....	100
2.5.2.3.	Neutralisations- und Verdrängungsreaktionen .....	101
2.5.2.4.	Redox-Reaktionen .....	101
2.5.3.	Gasreaktionen .....	102
2.5.4.	Hochtemperaturreaktionen .....	105
2.5.4.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen .....	105
2.5.4.2.	Spezielle Hochtemperaturreaktionen .....	108
2.5.4.3.	Hochtemperaturreaktoren und Prozeßführung .....	113
2.5.5.	Elektrochemische Reaktionen .....	115
2.5.5.1.	Grundlagen der Elektrolyse .....	117
2.5.5.2.	Apparative Parameter und Reaktionsführung .....	120
2.5.5.3.	Elektrolysen in Lösung .....	124
2.5.5.4.	Schmelzflußelektrolysen .....	125
2.5.5.5.	Optimierung von Elektrolyseverfahren .....	125
	Literatur zum Abschnitt 2. ....	126
3.	<b>Technische Gase</b> .....	127
3.1.	Einleitung .....	127
3.2.	Verfahren ohne Stoffumwandlung .....	127

3.2.1.	Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff .....	127
3.2.1.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen der destillativen Luftzerlegung	129
3.2.1.2.	Technologie der Luftzerlegung .....	132
3.2.1.3.	Adsorptive Luftzerlegung .....	133
3.2.2.	Verfahren zur Gewinnung von Edelgasen .....	133
3.2.2.1.	Gewinnung von Helium und Neon .....	134
3.2.2.2.	Gewinnung von Argon .....	135
3.2.2.3.	Gewinnung von Krypton und Xenon .....	137
3.2.3	Eigenschaften und Verwendung der Gase .....	137
3.3.	Verfahren mit Stoffumwandlung .....	138
3.3.1.	Herstellung von Synthesegas .....	138
3.3.2.	Ammoniak-Synthese .....	141
3.3.2.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen .....	142
3.3.2.2.	Reaktoren und Reaktionsführung .....	143
3.3.2.3.	Energie- und Exergiebilanz der Ammoniak-Synthese .....	145
3.3.2.4.	Technologie der Ammoniak-Synthese .....	148
3.3.2.5.	Eigenschaften und Verwendung .....	149
3.3.3.	Herstellung von Gasen durch elektrochemische Verfahren .....	149
3.3.3.1.	Herstellung von Chlor durch Alkalimetallchlorid-Elektrolyse .....	150
3.3.3.2.	Herstellung von Chlor durch Salzsäure-Elektrolyse .....	151
3.3.3.3.	Trocknung und Verflüssigung von Chlor .....	152
3.3.3.4.	Eigenschaften und Verwendung von Chlor .....	154
3.3.3.5.	Herstellung von Fluor .....	155
3.3.3.6.	Elektrolyse des Wassers ( $H_2$ , $O_2$ ) .....	157
	Literatur zum Abschnitt 3. ....	158
<b>4.</b>	<b>Anorganische Salze .....</b>	<b>159</b>
4.1.	Einleitung .....	159
4.2.	Gewinnung von Salzen durch Verfahren ohne Stoffumwandlung .....	160
4.2.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip .....	160
4.2.2.	Kaliohsalze .....	160
4.2.2.1.	Entstehung und Verbreitung der Kalisalzlagerstätten .....	160
4.2.2.2.	Herstellung von Kaliumchlorid durch Löse- und Kristallisations- prozesse .....	166
4.2.2.3.	Flotationsverfahren zur Herstellung von Kaliumchlorid .....	173
4.2.2.4.	Eigenschaften und Verwendung von Kaliumchlorid .....	175
4.2.2.5.	Herstellung und Verwendung von Brom .....	175
4.2.2.6.	Anfall und Verwendung des Magnesiumchlorids .....	177
4.2.2.7.	Gewinnung und Verwendung des Magnesiumsulfats .....	178
4.2.3.	Natriumchlorid .....	179
4.2.3.1.	Gewinnung und Verwendung von technischem Natriumchlorid ...	179
4.2.3.2.	Siedesalzherstellung .....	180

4.2.4.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Calciumfluorid ..	181
4.2.5.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Bariumsulfat ....	182
4.2.6.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Calciumcarbonat	184
4.2.7.	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung von Calciumsulfat ...	184
4.2.8.	Vorkommen von Bormineralien – Herstellung und Verwendung von Borverbindungen .....	186
4.3.	Salzherstellung durch reziproke Umsetzung .....	188
4.3.1.	Verfahrensprinzip .....	188
4.3.2.	Natriumcarbonat .....	190
4.3.2.1.	Gleichgewichte im System $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NaCl} = \text{NaHCO}_3$ + $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{H}_2\text{O}$ .....	190
4.3.2.2.	Verfahren zur Herstellung von Natriumcarbonat .....	192
4.3.3.	Herstellung und Verwendung von Natriumsulfat .....	195
4.3.4.	Kaliumsulfat .....	199
4.3.4.1.	Gleichgewichte im System $2\text{KCl} + \text{MgSO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4$ + $\text{MgCl}_2/\text{H}_2\text{O}$ .....	199
4.3.4.2.	Herstellung und Verwendung von Kaliumsulfat .....	200
4.3.5.	Kaliumnitrat .....	201
4.3.5.1.	Gleichgewichte im System $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} = \text{KNO}_3 + \text{NaCl}/\text{H}_2\text{O}$	201
4.3.5.2.	Herstellung und Verwendung von Kaliumnitrat .....	202
4.3.6.	Herstellung und Verwendung von Ammoniumsulfat .....	204
4.4.	Herstellung von Salzen durch Neutralisations- und Verdrängungsreaktionen	206
4.4.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip .....	206
4.4.2.	Herstellung und Verwendung technisch wichtiger Nitrate und Nitrite .....	206
4.4.3.	Harnstoff .....	207
4.4.3.1.	Theoretische Grundlagen der Harnstoffsynthese .....	207
4.4.3.2.	Technische Durchführung der Harnstoffsynthese .....	209
4.4.3.3.	Eigenschaften und Verwendung des Harnstoffs .....	211
4.4.4.	Phosphat- und Komplexdüngemittel .....	213
4.4.4.1.	Produktion von Phosphatdüngemitteln – Rohstoffe und Einteilung der Herstellungsverfahren .....	213
4.4.4.2.	Herstellung von Phosphatdüngemitteln durch Aufschluß mit Schwefel-, Phosphor- oder Salzsäure .....	216
4.4.4.3.	Aufschluß von Rohphosphaten mit Salpetersäure – Herstellung von Mehrnährstoffdüngern .....	219
4.4.5.	Herstellung und Verwendung wichtiger technischer Phosphate ...	221
4.4.6.	Herstellung und Verwendung von Kaliumcarbonat .....	224
4.4.7.	Herstellung und Verwendung technisch wichtiger Fluorsalze ....	226
4.4.8.	Herstellung und Verwendung von wasserfreiem Aluminiumchlorid	229
4.5.	Herstellung von Salzen durch elektrochemische Oxydation .....	229
4.5.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip .....	229
4.5.2.	Chlorate und Perchlorate .....	231

4.5.2.1.	Chemische und elektrochemische Grundlagen .....	231
4.5.2.2.	Verfahren zur Herstellung von Chloraten und Perchloraten .....	232
4.5.3.	Permanganate .....	233
4.5.3.1.	Chemische und elektrochemische Grundlagen .....	233
4.5.3.2.	Herstellung von Permanganaten .....	234
4.5.4.	Wasserstoffperoxid und Peroxodischwefelsäure .....	236
4.6.	Elektrothermische Verfahren .....	237
4.6.1.	Allgemeines Verfahrensprinzip .....	237
4.6.2.	Calciumcarbid .....	238
4.6.2.1.	Vorbereitung der Rohstoffe .....	238
4.6.2.2.	Verfahren zur Herstellung von Calciumcarbid .....	239
4.6.2.3.	Stoff- und Energiebilanz des Carbidprozesses .....	240
4.6.2.4.	Eigenschaften und Verwendung .....	241
4.6.3.	Calciumcyanamid .....	242
4.6.3.1.	Verfahren zur Herstellung von Calciumcyanamid .....	242
4.6.3.2.	Eigenschaften und Verwendung .....	244
	Literatur zum Abschnitt 4. ....	244
<b>5.</b>	<b>Säuren</b> .....	<b>245</b>
5.1.	Einleitung .....	245
5.2.	Herstellung von Säuren über Gasreaktionen .....	245
5.2.1.	Schwefelsäure .....	247
5.2.1.1.	Herstellung von Schwefeldioxid .....	247
5.2.1.2.	Herstellung von Schwefeltrioxid .....	249
5.2.1.3.	Absorption und Konzentrierung .....	252
5.2.1.4.	Eigenschaften und Verwendung von Schwefelsäure und Oleum ...	252
5.2.1.5.	Ausgewählte Schwefelverbindungen .....	254
5.2.2.	Salpetersäure .....	254
5.2.2.1.	Technologie der Ammoniakoxydation .....	256
5.2.2.2.	Oxydation und Absorption der nitrosen Gase .....	257
5.2.2.3.	Verfahren zur Herstellung von verdünnter Salpetersäure .....	258
5.2.2.4.	Verfahren zur Herstellung hochkonzentrierter Salpetersäure ....	258
5.2.2.5.	Eigenschaften und Verwendung von Salpetersäure .....	260
5.2.3.	Chlorwasserstoff und Salzsäure .....	261
5.2.3.1.	Synthese von Chlorwasserstoff aus den Elementen .....	261
5.2.3.2.	Absorption von Chlorwasserstoff .....	263
5.2.3.3.	Eigenschaften und Verwendung .....	263
5.3.	Herstellung von Säuren durch Verdrängungsreaktionen .....	264
5.3.1.	Phosphorsäure .....	264
5.3.1.1.	Aufschluß von Phosphaten mit Säuren .....	264
5.3.1.2.	Elektrothermische Gewinnung von Phosphor und Herstellung von thermischer Phosphorsäure .....	265

5.3.1.3.	Verwendung von Phosphorsäure .....	267
5.3.2.	Fluorwasserstoff .....	270
5.3.2.1.	Herstellung von Fluorwasserstoff .....	270
5.3.2.2.	Eigenschaften und Verwendung .....	270
5.4.	Herstellung von Säuren durch elektrochemische Verfahren .....	272
	Literatur zum Abschnitt 5. ....	272
<b>6.</b>	<b>Basen</b> .....	<b>273</b>
6.1.	Einleitung .....	273
6.2.	Alkalimetallchlorid-Elektrolyse .....	273
6.2.1.	Grundlagen .....	274
6.2.2.	Quecksilberverfahren (Amalgamverfahren) .....	275
6.2.3.	Diaphragmaverfahren .....	279
6.2.4.	Membranverfahren .....	282
6.2.5.	Dimensionsstabile Anoden .....	283
6.2.6.	Elektrolyse von Kaliumchlorid .....	285
6.3.	Herstellung von Calciumoxid und Calciumhydroxid .....	286
	Literatur zum Abschnitt 6. ....	288
<b>7.</b>	<b>Metalle</b> .....	<b>291</b>
7.1.	Eigenschaften, Einteilung, wirtschaftliche Bedeutung, Produktion, Rohstoffe	291
7.2.	Verfahren der Metallgewinnung .....	295
7.2.1.	Gewinnungsprinzipien .....	295
7.2.2.	Chemisch-metallurgische Vorbereitungs- und Konzentrierungs- verfahren .....	298
7.2.2.1.	Pyrometallurgische Vorbereitungs- und Konzentrierungsverfahren	298
7.2.2.2.	Hydrometallurgische Vorbereitungs- und Konzentrierungs- verfahren .....	308
7.2.3.	Herstellungsverfahren für reine Metallverbindungen .....	309
7.2.3.1.	Fällungsverfahren .....	310
7.2.3.2.	Flüssig-Flüssig-Extraktion und Ionenaustausch .....	312
7.2.3.3.	Thermische Verfahren .....	313
7.2.4.	Reduktionsverfahren .....	313
7.2.4.1.	Pyrometallurgische Reduktion .....	314
7.2.4.2.	Elektrochemische Reduktion .....	318
7.2.4.3.	Reduktion unter Druck .....	318
7.2.5.	Rohmetallraffinierungsverfahren .....	318

7.2.5.1.	Physikalische Raffinationsverfahren .....	319
7.2.5.2.	Chemische Raffinationsmethoden .....	320
7.2.5.3.	Elektrolytische Raffination .....	321
7.2.6.	Hochtemperaturreaktoren in der Metallurgie .....	324
7.3.	Eisen, Stahl und Ferrolegierungen .....	324
7.3.1.	Roheisenerzeugung im Hochofen .....	326
7.3.2.	Stahlerzeugung .....	328
7.3.2.1.	Herdofenverfahren .....	328
7.3.2.2.	Blasstahlverfahren .....	329
7.3.3.	Ferrolegierungen (Mn, Si, Cr, Mo, W, Ni) .....	330
7.4.	Aluminium .....	331
7.4.1.	Bayer-Aufschlußverfahren .....	331
7.4.2.	Aluminiumoxid-Schmelzflußelektrolyse und Raffination .....	334
7.4.3.	Weitere Verfahren zur Aluminiumoxid- und Aluminiumherstellung .....	335
7.5.	Kupfer .....	336
7.5.1.	Pyrometallurgische Gewinnung von Rohkupfer .....	336
7.5.2.	Raffination von Rohkupfer .....	338
7.5.3.	Hydrometallurgische Kupfergewinnung .....	339
7.6.	Zink .....	341
7.6.1.	Hydrometallurgische Zinkgewinnung .....	341
7.6.2.	Pyrometallurgische Verfahren der Zinkoxidkonzentrierung, Zinkoxidreduktion und Zinkraffination .....	343
7.7.	Blei .....	343
7.8.	Nickel .....	344
7.9.	Zinn .....	346
7.10.	Magnesium .....	348
7.11.	Sondermetalle, Edelmetalle und Halbmetalle .....	349
7.11.1.	Titanium .....	349
7.11.2.	Tantal .....	349
7.11.3.	Uranium .....	350
7.11.4.	Silber und Gold .....	350
7.11.5.	Silicium .....	352
	Literatur zum Abschnitt 7. ....	353
<b>8.</b>	<b>Silicate und Hochtemperaturwerkstoffe .....</b>	<b>355</b>
8.1.	Einleitung .....	355
8.2.	Konstitution und Eigenschaften der Silicate .....	357

8.2.1.	Bindungsverhältnisse in den Silicaten .....	357
8.2.2.	Systematisierung der Silicate .....	358
8.2.3.	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen .....	359
8.2.3.1.	Kristalline Silicate .....	359
8.2.3.2.	Glasige Silicate .....	361
8.3.	Glas .....	364
8.3.1.	Glasrohstoffe und Aufbereitung .....	364
8.3.2.	Glasschmelzen .....	365
8.3.2.1.	Physikalisch-chemische Vorgänge .....	365
8.3.2.2.	Technologie des Glasschmelzens .....	366
8.3.3.	Verarbeitung der Glasschmelze .....	369
8.3.3.1.	Ausarbeiten der Glasschmelze .....	369
8.3.3.2.	Kühlen des Glases .....	372
8.3.3.3.	Bearbeitung des Glases .....	372
8.3.4.	Gesteuerte Kristallisation in Gläsern .....	373
8.4.	Keramik .....	374
8.4.1.	Charakterisierung keramischer Produkte .....	374
8.4.2.	Keramische Rohstoffe und Aufbereitung .....	375
8.4.3.	Herstellung feinkeramischer Erzeugnisse .....	377
8.4.3.1.	Eigenschaften des Systems Ton-Wasser .....	377
8.4.3.2.	Technologie der Feinkeramikherstellung .....	378
8.5.	Email .....	383
8.5.1.	Charakterisierung und Anwendung der Emails .....	383
8.5.2.	Vorbehandlung der Metalle für die Emaillierung .....	384
8.5.2.1.	Vorbehandlung von Stahl .....	384
8.5.2.2.	Vorbehandlung von Gußeisen .....	385
8.5.3.	Emailrohstoffe und Aufbereitung .....	386
8.5.4.	Technologie der Emaillierung .....	387
8.5.5.	Physikalisch-chemische Vorgänge beim Emaillierprozeß .....	388
8.5.5.1.	Emailschicht .....	388
8.5.5.2.	Grenzschicht Metall/Email .....	389
8.6.	Bindebaustoffe .....	389
8.6.1.	Bedeutung der Bindebaustoffe .....	389
8.6.2.	Luftbindebaustoffe .....	390
8.6.3.	Hydraulische Bindebaustoffe .....	390
8.6.3.1.	Rohstoffe des Portlandzements und Aufbereitung .....	390
8.6.3.2.	Verarbeitung der Rohstoffe zu Zement .....	392
8.6.3.3.	Physikalisch-chemische Vorgänge bei der Zementklinkerbildung ..	395
8.6.3.4.	Spezialzemente .....	395
8.6.3.5.	Abbindeverhalten von Zementen .....	396
8.6.4.	Hydrothermale Bindebaustoffe .....	398

8.6.4.1.	Kalksandstein .....	398
8.6.4.2.	Silicatbeton .....	399
8.7.	Adsorbentien .....	401
8.7.1.	Kohlenstoffadsorbentien .....	401
8.7.2.	Silicatische Adsorbentien .....	403
8.8.	Spezielle Hochtemperaturwerkstoffe .....	406
8.8.1.	Kohlenstoff .....	406
8.8.2.	Siliciumcarbid .....	409
8.8.3.	Sonstige Carbide .....	412
8.8.4.	Oxide .....	413
Literatur zum Abschnitt 8. ....		420
<b>9.</b>	<b>Pigmente</b> .....	<b>421</b>
9.1.	Einleitung .....	421
9.2.	Eigenschaften und Einteilung der Pigmente .....	421
9.3.	Allgemeine Technologien .....	422
9.4.	Herstellung der Pigmente .....	425
9.4.1.	Weißpigmente .....	425
9.4.2.	Buntpigmente .....	428
9.4.3.	Schwarzpigmente .....	429
Literatur zum Abschnitt 9. ....		430
Sachwörterverzeichnis .....		431