

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einführung | 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 |
| | |
| 2. Prozeßaspekte in der technischen anorganischen Chemie | 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. | Technische Gase | 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 |
| 4. | Anorganische Salze | 159 |
| 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 |
| 5. | Säuren | 245 |
| 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 |
| 6. | Basen | 273 |
| 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 |
| 7. | Metalle | 291 |
| 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 |
| 8. | Silicate und Hochtemperaturwerkstoffe | 355 |
| 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 |
| 9. | Pigmente | 421 |
| 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 |