

Inhaltsverzeichnis

Vorwort XX

Periodensystem der Elemente XXII

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Atombau und Periodensystem | 1 |
| 1.1 | Bestandteile des Atoms | 1 |
| 1.2 | Atomkerne | 2 |
| 1.3 | Aufbau der Elektronenhülle | 4 |
| 1.3.1 | Das Bohr'sche Atommodell | 4 |
| 1.3.2 | Das wellenmechanische Atommodell | 5 |
| 1.3.2.1 | Vom Dualismus Welle – Korpuskel | 5 |
| 1.3.2.2 | Die Bahnformen der Elektronen | 8 |
| 1.3.2.3 | Prinzipielle erkenntniskritische Überlegungen | 11 |
| 1.3.2.4 | Die Quantenzahlen und das Pauli-Prinzip | 12 |
| 1.4 | Das Periodensystem der Elemente | 16 |
| 1.4.1 | Die Elektronenstrukturen der Elemente | 17 |
| 1.4.2 | Die Periodizität der Eigenschaften | 18 |
| 1.4.2.1 | Die Ionisierungsenergie | 18 |
| 1.4.2.2 | Die Elektronenaffinität | 21 |
| 1.4.2.3 | Die Elektronegativität | 21 |
| 1.4.2.4 | Die Atom- und Ionendurchmesser | 22 |
| 1.4.2.5 | Die metallischen Eigenschaften | 23 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 1. Kapitel | 25 |
| 2 | Die chemische Bindung | 27 |
| 2.1 | Die Atombindung (kovalente Bindung) | 27 |
| 2.1.1 | Das Wasserstoffmolekül | 28 |
| 2.1.2 | sigma-Bindungen | 29 |
| 2.1.3 | pi-Bindungen | 30 |
| 2.2 | Die Ionenbindung | 31 |
| 2.3 | Die metallische Bindung | 34 |
| 2.3.1 | Das „Elektronengas“-Modell | 34 |
| 2.3.2 | Das Energiebändermodell | 35 |
| 2.4 | Übergangsformen zwischen den Bindungsarten | 35 |
| 2.5 | Die zwischenmolekularen Wechselwirkungen | 37 |
| 2.5.1 | Die Dipol-Wechselwirkungen | 38 |
| 2.5.2 | Die Van-der-Waals-Wechselwirkung | 39 |
| 2.5.3 | Wasserstoffbrücken | 41 |
| 2.6 | Mengenangaben | 43 |
| 2.6.1 | Die Gesetze von den konstanten und multiplen Proportionen | 43 |
| 2.6.2 | Die relative Atommasse | 43 |

- 2.6.3 Die relative Molekülmasse und die Formelmasse 45
- 2.6.4 Das Mol und die molare Masse 46
- Kontroll- und Übungsfragen zum 2. Kapitel 47

3 Die Aggregatzustände 49

- 3.1 Der gasförmige Aggregatzustand 49
 - 3.1.1 Ideale Gase 49
 - 3.1.2 Reale Gase 51
 - 3.1.3 Gasverflüssigung, der Joule-Thomson-Effekt 52
- 3.2 Der flüssige Aggregatzustand 53
- 3.3 Der feste Aggregatzustand 54
 - 3.3.1 Die Kristallsysteme 54
 - 3.3.2 Die Eigenschaften von Kristallen 56
 - 3.3.3 Amorphe Feststoffe 58
- 3.4 Mischungen 58
 - 3.4.1 Homogene Mischungen 58
 - 3.4.2 Heterogene Mischungen 59
- 3.5 Lösungen 61
 - 3.5.1 Angaben über die Zusammensetzung von Lösungen 62
 - 3.5.1.1 Gehalt 62
 - 3.5.1.2 Konzentration 62
 - 3.5.1.3 Molalität 63
 - 3.5.1.4 Verdünnungen 63
 - 3.5.1.5 Dichtebestimmungen 64
 - 3.5.2 Diffusion und Osmose 65
 - 3.5.3 Lösungsenthalpie und Entropie 68
- 3.6 Aggregatzustandsänderungen 72
 - 3.6.1 Das Temperatur-Energie-Diagramm 72
 - 3.6.2 Das Phasendiagramm 73
 - 3.6.2.1 Einkomponentensysteme 75
 - 3.6.2.2 Mehrkomponentensysteme 77
 - 3.6.3 Das Prinzip der Kälteerzeugung 77
 - 3.6.4 Destillation 81
- Kontroll- und Übungsfragen zum 3. Kapitel 86

4 Chemische Reaktionen 88

- 4.1 Reaktionsgleichungen und stöchiometrische Berechnungen 88
- 4.2 Energieumsätze bei chemischen Reaktionen 91
- 4.3 Der Verlauf chemischer Reaktionen 94
 - 4.3.1 Reversible und irreversible Prozesse 94
 - 4.3.2 Reaktionsgeschwindigkeit 95
 - 4.3.2.1 Einfluss der Temperatur 95
 - 4.3.2.2 Einfluss der Konzentration 95
 - 4.3.2.3 Einfluss von Katalysatoren 96
- 4.4 Redoxreaktionen 98
 - 4.4.1 Die Definition von Oxidation und Reduktion 98

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.2 | Die Definition der Oxidationszahl | 99 |
| 4.4.3 | Schreibweise von Oxidationszahl und Ladungszahl | 100 |
| 4.4.4 | Regeln für die Festlegung der Oxidationszahlen | 100 |
| 4.4.5 | Beispiele für wichtige Redoxreaktionen in der Chemietechnik | 102 |
| 4.5 | Säure-Base-Reaktionen | 103 |
| 4.5.1 | Säuren | 103 |
| 4.5.2 | Basen | 105 |
| 4.5.3 | Der Ampholyt „Wasser“ und der pH-Wert (1. Teil) | 105 |
| 4.5.4 | Salze | 108 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 4. Kapitel | 110 |
| 5 | Chemische Gleichgewichte | 112 |
| 5.1 | Das Massenwirkungsgesetz | 112 |
| 5.1.1 | Die mathematische Formulierung des Massenwirkungsgesetzes | 112 |
| 5.1.2 | Das Prinzip von Le Chatelier | 115 |
| 5.1.2.1 | Veränderung der Konzentration eines Reaktionspartners | 116 |
| 5.1.2.2 | Einfluss der Verdünnung bzw. des Reaktionsdruckes | 116 |
| 5.1.2.3 | Veränderung der Reaktionstemperatur | 117 |
| 5.2 | Gleichgewichte in wässrigen Lösungen | 118 |
| 5.2.1 | Das Ionenprodukt des Wassers | 118 |
| 5.2.2 | Der pH-Wert (2. Teil) | 119 |
| 5.2.3 | Die elektrolitische Dissoziation | 121 |
| 5.2.4 | Das Kohlensäuregleichgewicht | 122 |
| 5.2.5 | Pufferlösungen | 123 |
| 5.2.6 | pH- Farbindikatoren | 124 |
| 5.2.7 | Maßanalyse | 126 |
| 5.2.7.1 | Säure-Base-Titration | 126 |
| 5.2.7.2 | Normallösungen | 127 |
| 5.2.7.3 | Redox titrationen (Oxidimetrie) | 129 |
| 5.2.8 | Saure und alkalische Reaktionen von Salzen | 130 |
| 5.2.8.1 | Beispiel einer alkalischen Reaktion (Anionbase) | 131 |
| 5.2.8.2 | Beispiel einer sauren Reaktion (Kationsäure) | 131 |
| 5.3 | Das Löslichkeitsprodukt | 132 |
| 5.3.1 | Mathematische Ableitung des Löslichkeitsproduktes | 132 |
| 5.3.2 | Das Löslichkeitsprodukt des Calciumcarbonats | 135 |
| 5.3.2.1 | Die Abscheidung von Kesselstein und die Wasserhärte | 135 |
| 5.3.2.2 | Die Verhinderung von Kalkabscheidungen | 137 |
| 5.3.3 | Weitere Anwendungsbeispiele aus der Praxis | 139 |
| 5.3.3.1 | Konstanz von Ionenkonzentrationen | 140 |
| 5.3.3.2 | Auflösung eines Niederschlags | 140 |
| 5.3.3.3 | Ausfällen von schwerlöslichen Salzen | 140 |
| 5.4 | Komplexverbindungen | 144 |
| 5.4.1 | Komplexbildung am Anion | 144 |
| 5.4.2 | Komplexbildung am Kation | 146 |
| 5.4.3 | Komplexbildung an neutralen Atomen | 148 |
| 5.4.4 | Eigenschaften häufig gebrauchter Komplexe | 149 |

VIII *Inhaltsverzeichnis*

- 5.5 Gasgleichgewichte 150
 - 5.5.1 Homogene Gasgleichgewichte 151
 - 5.5.1.1 Die Herstellung von Ammoniak 151
 - 5.5.1.2 Dampfreformierung von Erdgas 152
 - 5.5.1.3 Das Wassergasgleichgewicht 153
 - 5.5.1.4 Die Fischer-Tropsch-Synthese 154
 - 5.5.1.5 Die thermische Dissoziation von Wasserdampf 154
 - 5.5.1.6 Die thermische Dissoziation von Kohlendioxid 155
 - 5.5.1.7 Die Bunsenbrennerflamme 155
 - 5.5.1.8 Die Schweißbrennerflamme 157
 - 5.5.2 Heterogene Gasgleichgewichte 157
 - 5.5.2.1 Das Boudouard-Gleichgewicht 158
 - 5.5.2.2 Kohlevergasung 159
 - 5.5.2.3 Das Gaszementieren oder Einsatzhärten 160
 - 5.5.3 Der Heß'sche Satz 160
- 5.6 Adsorptionsvorgänge 162
 - 5.6.1 Adsorptionsgesetze 162
 - 5.6.2 Chromatographie 164
 - 5.6.2.1 Flüssigkeitschromatographie 164
 - 5.6.2.2 Gaschromatographie 166
 - Kontroll- und Übungsfragen zum 5. Kapitel 168
- 6 Die Elemente 170**
 - 6.1 Allgemeines 170
 - 6.1.1 Einteilung der Elemente 170
 - 6.1.1.1 Einteilung nach dem Aggregatzustand 170
 - 6.1.1.2 Einteilung nach der elektrischen Leitfähigkeit 171
 - 6.1.2 Die Häufigkeit der Elemente und die Rohstoff-Probleme 171
 - 6.1.3 Elementumwandlungen 174
 - 6.1.3.1 Einfache Kernreaktionen 175
 - 6.1.3.2 Kernzersplitterung 176
 - 6.1.3.3 Kernspaltung 176
 - 6.1.3.4 Kernverschmelzung oder Kernfusion 176
 - 6.2 Die gasförmigen Elemente 180
 - 6.2.1 Wasserstoff 180
 - 6.2.2 Die gasförmigen Halogene 182
 - 6.2.3 Stickstoff und Sauerstoff 183
 - 6.2.3.1 Das Stickstoffmolekül 183
 - 6.2.3.2 Die Doppelbindungsregel 183
 - 6.2.3.3 Magnetische Eigenschaften der Stoffe 183
 - 6.2.3.4 Das Sauerstoffmolekül O_2 185
 - 6.2.3.5 Die Molekülorbital-Theorie 185
 - 6.2.3.6 Sauerstoff-Meßgeräte 189
 - 6.2.3.7 Eigenschaften von Sauerstoff und Stickstoff 190
 - 6.2.4 Ozon 191
 - 6.2.5 Die Edelgase 192

- 6.3 Die übrigen Nichtmetalle 195
 - 6.3.1 Brom und Iod 195
 - 6.3.2 Schwefel 196
 - 6.3.3 Phosphor 197
 - 6.3.4 Kohlenstoff 197
 - 6.3.4.1 Diamant 198
 - 6.3.4.2 Graphit 199
 - 6.3.4.3 Fullerene 200
 - 6.3.4.4 Herstellungsmethoden 201
 - 6.3.4.5 Retortenkohle 202
 - 6.3.4.6 Koks 202
 - 6.3.4.7 Ruß 202
 - 6.3.4.8 Aktivkohle 202
 - 6.3.4.9 Kohlenstoff-Fasern 203
 - 6.3.4.10 Kohlenstoffglas 203
 - 6.3.4.11 Kohlenstoffschaum 203
 - 6.3.4.12 Kohlenstoff-Nanoröhrchen 203
- 6.4 Halbleiter 205
 - 6.4.1 Die elektrische Leitfähigkeit in festen Stoffen 205
 - 6.4.2 Silicium und Germanium 208
 - 6.4.2.1 Eigenschaften 208
 - 6.4.2.2 n-dotierte Silicium-Halbleiter 210
 - 6.4.2.3 p-dotierte Silicium-Halbleiter 211
 - 6.4.2.4 Herstellung von Halbleiterbauelementen 211
 - 6.4.2.5 n-p-Grenzschichteffekte; Siliciumgleichrichter 213
 - 6.4.2.6 Photoelektrischer Effekt 213
 - 6.4.2.7 Die Bedeutung von Silicium- und Germaniumhalbleitern 214
 - 6.4.3 Chemische Verbindungen als Halbleiter 214
- 6.5 Metalle 217
 - 6.5.1 Allgemeine metallische Eigenschaften 217
 - 6.5.1.1 Die elektrische Leitfähigkeit 217
 - 6.5.1.2 Die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit 218
 - 6.5.1.3 Die Wärmeleitfähigkeit der Metalle 220
 - 6.5.1.4 Metallglanz 220
 - 6.5.1.5 Die plastische Verformbarkeit der Metalle 221
 - 6.5.2 Einteilung der Metalle 223
 - 6.5.3 Legierungen 223
 - 6.5.3.1 Eutektische Legierungen 223
 - 6.5.3.2 Mischkristall-Legierungen 224
 - 6.5.3.3 Intermetallische Verbindungen 224
 - 6.5.3.4 Zustandsdiagramme 225
 - 6.5.3.5 Physikalische Eigenschaften von Legierungen 227
 - 6.5.4 Die Alkalimetalle 227
 - 6.5.5 Die Erdalkalimetalle 228
 - 6.5.6 Beryllium und Magnesium 229
 - 6.5.7 Aluminium und die Metalle der dritten Hauptgruppe 229

| | | |
|---------|-----------------------------------------------------|-----|
| 6.5.8 | Die Metalle der vierten und fünften Hauptgruppe | 230 |
| 6.5.9 | Zink, Cadmium, Quecksilber | 231 |
| 6.5.10 | Kupfer, Silber, Gold | 232 |
| 6.5.11 | Die Platinmetalle | 234 |
| 6.5.12 | Eisen, Cobalt, Nickel | 234 |
| 6.5.13 | Metalle der vierten bis siebten Nebengruppe | 238 |
| 6.5.14 | Metalle der dritten Nebengruppe und die Lanthanoide | 239 |
| 6.6 | Radioaktive Elemente | 239 |
| 6.6.1 | Natürliche radioaktive Elemente | 240 |
| 6.6.1.1 | Uran | 240 |
| 6.6.2 | Künstlich hergestellte radioaktive Elemente | 243 |
| 6.6.2.1 | Plutonium | 243 |
| 6.6.2.2 | Cobalt Co 60 | 243 |
| 6.6.2.3 | Strontium Sr 90 | 243 |
| 6.6.3 | Kernreaktoren | 244 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 6. Kapitel | 245 |

7 **Anorganische Verbindungen** 247

| | | |
|---------|--------------------------------------------------|-----|
| 7.1 | Wasserstoffverbindungen der Elemente | 247 |
| 7.1.1 | Das Tetraedermodell für Moleküle | 248 |
| 7.1.2 | Wasser H ₂ O | 251 |
| 7.1.2.1 | Das Wassermolekül | 251 |
| 7.1.2.2 | Die Anomalien des Wassers | 251 |
| 7.1.2.3 | Eigenschaften | 254 |
| 7.1.3 | Wasserstoffperoxid H ₂ O ₂ | 255 |
| 7.1.4 | Chlorwasserstoff HCl | 256 |
| 7.1.5 | Ammoniak NH ₃ | 257 |
| 7.1.6 | Hydrazin N ₂ H ₄ | 258 |
| 7.1.7 | Schwefelwasserstoff H ₂ S | 259 |
| 7.1.8 | Phosphorwasserstoff PH ₃ | 259 |
| 7.2 | Sauerstoffverbindungen der Elemente | 259 |
| 7.2.1 | Nichtmetalloxide | 259 |
| 7.2.1.1 | Kohlendioxid CO ₂ | 260 |
| 7.2.1.2 | Kohlenmonoxid CO | 261 |
| 7.2.1.3 | Stickstoffoxide | 262 |
| 7.2.1.4 | Schwefeloxide | 264 |
| 7.2.1.5 | Phosphorpentoxid P ₂ O ₅ | 265 |
| 7.2.1.6 | Siliciumdioxid SiO ₂ | 266 |
| 7.2.2 | Sauerstoffsäuren | 267 |
| 7.2.3 | Metalloxide und Metallhydroxide | 271 |
| 7.2.4 | Glas | 273 |
| 7.2.5 | Alumosilicate | 274 |
| 7.2.6 | Baustoff-Bindemittel | 276 |
| 7.2.6.1 | Kalkmörtel | 276 |
| 7.2.6.2 | Zement | 276 |
| 7.2.6.3 | Gips | 276 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 7.2.7 | Asbest | 277 |
| 7.3 | Carbide und Nitride | 277 |
| 7.3.1 | Salzartige Carbide | 278 |
| 7.3.2 | Einlagerungsverbindungen | 278 |
| 7.3.3 | Kovalente Verbindungen | 279 |
| 7.4 | Nanotechnologie | 279 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 7. Kapitel | 283 |
| 8 | Organische Verbindungen | 285 |
| 8.1 | Kohlenwasserstoffe | 286 |
| 8.1.1 | Alkane oder Paraffine | 287 |
| 8.1.1.1 | Methan | 287 |
| 8.1.1.2 | Geradkettige Paraffine | 288 |
| 8.1.1.3 | Paraffine mit Seitenverzweigungen | 289 |
| 8.1.2 | Alkene oder Olefine | 290 |
| 8.1.2.1 | Ethylen oder Ethen | 290 |
| 8.1.2.2 | Nomenklatur und Eigenschaften der Olefine | 290 |
| 8.1.2.3 | Dioline | 291 |
| 8.1.2.3 | Cracken von Paraffinen | 292 |
| 8.1.3 | Alkine oder Acetylene | 292 |
| 8.1.3.1 | Die Stabilität des Acetylenmoleküls | 293 |
| 8.1.3.2 | Herstellungsmöglichkeiten von Acetylen | 293 |
| 8.1.3.3 | Eigenschaften des Acetylen | 294 |
| 8.1.4 | Alicyclische Verbindungen | 295 |
| 8.1.5 | Aromatische Kohlenwasserstoffe | 295 |
| 8.1.5.1 | Eigenschaften des Benzols | 298 |
| 8.1.5.2 | Andere aromatische Ringsysteme | 298 |
| 8.1.5.3 | Benzolkohlenwasserstoffe mit Seitenketten | 299 |
| 8.1.5.4 | Kondensierte Aromaten | 300 |
| 8.2 | Halogenabkömmlinge der Kohlenwasserstoffe | 302 |
| 8.2.1 | Chlorierte Kohlenwasserstoffe | 302 |
| 8.2.2 | Polychlorierte Biphenyle (PCB) | 302 |
| 8.2.3 | Frigene (Freone) und Halone | 303 |
| 8.2.4 | Umweltaspekte von halogenierten Kohlenwasserstoffen | 304 |
| 8.2.5 | Substitutionsmöglichkeiten von Halogenkohlenwasserstoffen | 305 |
| 8.3 | Metallorganische Verbindungen | 306 |
| 8.4 | Sauerstoffverbindungen | 306 |
| 8.4.1 | Alkohole | 306 |
| 8.4.1.1 | Einwertige Alkohole | 307 |
| 8.4.1.2 | Mehrwertige Alkohole | 308 |
| 8.4.1.3 | Die Wasserlöslichkeit von Alkoholen | 308 |
| 8.4.2 | Phenole | 308 |
| 8.4.3 | Ether | 309 |
| 8.4.4 | Ketone | 310 |
| 8.4.5 | Aldehyde | 311 |
| 8.4.6 | Carbonsäuren | 312 |

| | | |
|----------|-------------------------------------------|------------|
| 8.4.7 | Ester | 316 |
| 8.4.8 | Fette und fette Öle | 318 |
| 8.4.9 | Seifen und Waschmittel | 319 |
| 8.4.10 | Zusammenfassender Überblick | 321 |
| 8.5 | Stickstoffverbindungen | 321 |
| 8.5.1 | Amine | 321 |
| 8.5.2 | Aminosäuren | 322 |
| 8.5.3 | Amide | 323 |
| 8.5.4 | Nitrile | 323 |
| 8.5.5 | Nitroverbindungen | 324 |
| 8.6 | Heterocyclische Verbindungen | 325 |
| 8.6.1 | Stickstoffhaltige Heterocyclen | 325 |
| 8.6.2 | Sauerstoffhaltige Heterocyclen | 326 |
| 8.7 | Organische Naturprodukte | 327 |
| 8.7.1 | Kohlenhydrate | 327 |
| 8.7.2 | Eiweißstoffe (Proteine) | 329 |
| 8.8 | Brennstoffe, Kraftstoffe, Schmierstoffe | 330 |
| 8.8.1 | Brennstoffe | 330 |
| 8.8.2 | Kraftstoffe | 332 |
| 8.8.2.1 | Verbrennungsvorgänge im Ottomotor | 332 |
| 8.8.2.2 | Kraftstoffe für Dieselmotoren | 335 |
| 8.8.2.3 | Alternative Kraftstoffe | 336 |
| 8.8.3 | Schmierstoffe | 339 |
| 8.8.3.1 | Schmieröle | 340 |
| 8.8.3.2 | Schmierfette | 342 |
| 8.8.3.3 | Feststoffschmiermittel | 342 |
| 8.8.4 | Sicherheitsvorschriften | 342 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 8. Kapitel | 344 |
| 9 | Kunststoffe | 347 |
| 9.1 | Mechanisch-thermische Eigenschaften | 347 |
| 9.1.1 | Thermoplaste | 348 |
| 9.1.2 | Elastomere | 350 |
| 9.1.3 | Duroplaste | 351 |
| 9.1.4 | Fluidoplaste | 352 |
| 9.1.5 | Spannungs-Dehnungs-Diagramme | 353 |
| 9.2 | Abgewandelte Naturprodukte | 354 |
| 9.2.1 | Kunststoffe auf Cellulosebasis | 354 |
| 9.2.1.1 | Celluloseacetat | 355 |
| 9.2.2 | Gummi aus Naturkautschuk | 355 |
| 9.3 | Polymerisationskunststoffe | 357 |
| 9.3.1 | Allgemeines | 357 |
| 9.3.2 | Polyethylen | 358 |
| 9.3.2.1 | Low Density Polyethylen (PE-LD) | 359 |
| 9.3.2.2 | High Density Polyethylen (PE-HD) | 360 |
| 9.3.2.3 | Modifizierte Verfahren | 361 |

- 9.3.3 Polypropylen 361
- 9.3.4 Polybuten-1 362
- 9.3.5 Polyisobutylen 362
- 9.3.6 Synthetischer Kautschuk 363
- 9.3.7 Ethylen-Propylen-Kautschuk 364
- 9.3.8 Polystyrol 364
- 9.3.9 Polyvinylcarbazol 366
- 9.3.10 Polyvinylchlorid und Polyvinylacetat 366
 - 9.3.10.1 Hart-PVC 367
 - 9.3.10.2 Weich-PVC 368
- 9.3.11 Polyvinylidenchlorid 368
- 9.3.12 Polytetrafluorethylen 369
- 9.3.13 Polyacrylnitril 371
- 9.3.14 Polymethacrylsäuremethylester 371
- 9.3.15 Polyoxymethylen 372
- 9.4 Polykondensationskunststoffe 372
 - 9.4.1 Polyamide 373
 - 9.4.2 Formaldehyd-Kondensationsprodukte 375
 - 9.4.2.1 Phenol-Formaldehyd-Harz 375
 - 9.4.2.2 Harnstoff-Formaldehyd-Harz 376
 - 9.4.2.3 Melamin-Formaldehyd-Harz 377
 - 9.4.3 Polyesterharze oder Alkydharze 378
 - 9.4.3.1 Lineare Polyester 378
 - 9.4.3.2 Vernetzte Polyester 379
 - 9.4.3.3 Ungesättigte Polyester 379
 - 9.4.3.4 Glasfaserverstärkte ungesättigte Polyester 380
 - 9.4.4 Polycarbonat 381
 - 9.4.5 Hochtemperaturbeständige Polykondensationskunststoffe 382
- 9.5 Polyadditionskunststoffe 383
 - 9.5.1 Polyurethane 384
 - 9.5.2 Epoxidharze 385
 - 9.5.2.1 Die Epoxid-Grundmasse 385
 - 9.5.2.2 Härter 385
 - 9.5.2.3 Eigenschaften der gehärteten Harze 386
- 9.6 Silicone 386
 - 9.6.1 Siliconöle und -fette 387
 - 9.6.2 Siliconkautschuk 387
 - 9.6.3 Siliconharze 387
- 9.7 Alterung und Zerstörung von Kunststoffen 388
 - 9.7.1 Thermische Einflüsse 388
 - 9.7.1.1 Thermische Stabilität von Kunststoffen 388
 - 9.7.1.2 Pyrolysieren 388
 - 9.7.2 Einfluss von energiereicher Strahlung 389
 - 9.7.3 Spannungsrissbildung 390
 - 9.7.4 Einfluss von Lösungsmitteln 390
 - 9.7.5 Chemische Zerstörung von Kunststoffen 391

- 9.7.6 Feuerbeständigkeit von Kunststoffen 391
- 9.8 Kunststoffrecycling 394
- 9.9 Biologisch abbaubare Kunststoffe 395
- Kontroll- und Übungsfragen zum 9. Kapitel 397

10 Elektrochemie 399

- 10.1 Elektrochemische Potenziale 399
 - 10.1.1 Galvanische Elemente 399
 - 10.1.2 Die Normal-Wasserstoffelektrode 401
 - 10.1.3 Die Normalpotenziale (elektrochemische Spannungsreihen) 402
 - 10.1.3.1 Reaktion mit Wasserstoffionen 405
 - 10.1.3.2 Reaktionen von edlen Metallen und deren Metallionen 406
 - 10.1.3.3 Einfluss des pH-Wertes 407
 - 10.1.4 Praktische Spannungsreihen 408
 - 10.1.5 Herstellung von Leiterplatten 409
- 10.2 Die Konzentrationsabhängigkeit der elektrochemischen Potenziale 411
 - 10.2.1 Die Nernstsche Gleichung 411
 - 10.2.2 Elektroden zweiter Art 413
 - 10.2.2.1 Die Silber/Silberchloridelektrode (Ag/AgCl-Elektrode) 413
 - 10.2.2.2 Die Kalomelektrode 415
 - 10.2.2.3 Das Weston-Normalelement 416
 - 10.2.3 pH-Messungen 417
- 10.3 Elektrochemische Stromerzeugung 418
 - 10.3.1 Primärelemente 419
 - 10.3.1.1 Zink-Braunstein-Elemente 419
 - 10.3.1.2 Quecksilberoxid- und Silberoxidzellen 420
 - 10.3.1.3 Lithiumzellen 421
 - 10.3.2 Sekundärelemente 422
 - 10.3.2.1 Bleiakkumulator 422
 - 10.3.2.2 Nickel-Cadmium-Akkumulator 423
 - 10.3.2.3 Nickel-Metallhydrid-Akkumulator 424
 - 10.3.2.4 Lithium-Ionen-Akku 425
 - 10.3.3 Brennstoffzellen 427
- 10.4 Erzwungene elektrochemische Vorgänge 430
 - 10.4.1 Messung einer galvanischen Spannung 430
 - 10.4.2 Die Elektrolyse 430
 - 10.4.3 Die Faraday'schen Gesetze 433
 - 10.4.4 Die elektrische Leitfähigkeit von Elektrolyten 435
 - 10.4.5 Die elektrochemische Polarisierung 435
 - 10.4.5.1 Chemische Polarisierung 436
 - 10.4.5.2 Die Abscheidungspolarisation 436
 - 10.4.5.3 Diffusions- oder Konzentrationspolarisation 438
- 10.5 Galvanisieren 439
 - 10.5.1 Die elektrolytische Entfettung 440
 - 10.5.2 Elektropolieren und Elektroentgraten 440
 - 10.5.3 Die gebräuchlichsten Metallschutzschichten 440

- 10.5.4 Allgemeines über galvanische Metallabscheidungen 441
- 10.6 Korrosion und Korrosionsschutz 443
 - 10.6.1 Korrosionsursachen 443
 - 10.6.1.1 Unterschiedliche Normalpotenziale 443
 - 10.6.1.2 Unterschiedliche Elektrolytkonzentrationen 443
 - 10.6.2 Korrosionsarten 445
 - 10.6.3 Möglichkeiten des Korrosionsschutzes 451
 - 10.6.3.1 Schutzschichten aus Metall 452
 - 10.6.3.2 Anorganische Verbindungen als Schutzschichten 454
 - 10.6.3.3 Organische Schutzüberzüge 456
 - 10.6.3.4 Kathodischer Korrosionsschutz 456
 - 10.7 Elektrochemische Messmethoden 457
 - 10.7.1 Die Leitfähigkeitsmethode (Konduktometrie) 457
 - 10.7.2 Die Potentiometrie 458
 - 10.7.3 Die Amperometrie 460
 - 10.7.4 Die Coulometrie 461
 - 10.7.5 Die Voltammetrie und Polarographie 463
 - Kontroll- und Übungsfragen zum 10. Kapitel 465
- 11 Spektren und ihre Anwendungen 468**
 - 11.1 Elektromagnetische Spektren 468
 - 11.1.1 Die Entstehung von elektromagnetischen Spektren 468
 - 11.1.2 Absorptions- und Emissionsspektren 469
 - 11.1.3 Die Bereiche elektromagnetischer Strahlen 470
 - 11.2 Spektrenformen 471
 - 11.2.1 Linienspektren 471
 - 11.2.1.1 Die Lage der Linien 472
 - 11.2.1.2 Das Aussehen einer Spektrallinie 473
 - 11.2.1.3 Das Moseley'sche Gesetz 474
 - 11.2.2 Bandenspektren 475
 - 11.2.3 Absorptionsmaxima 478
 - 11.3 Spektralanalytische Untersuchungen 479
 - 11.4 Spektralbereiche 480
 - 11.4.1 Gammastrahlen 480
 - 11.4.2 Röntgenbereich 480
 - 11.4.2.1 Röntgenfluoreszenzanalyse 481
 - 11.4.2.2 Röntgenstrukturanalyse 481
 - 11.4.3 Ultraviolett-Spektren (UV-Spektren) 482
 - 11.4.4 Spektren im sichtbaren Licht 484
 - 11.4.4.1 Emissionsspektren 484
 - 11.4.4.2 Absorptionsspektren 485
 - 11.4.5 Infrarotspektren (IR-Spektren) 486
 - 11.4.5.1 Infrarot-Absorptionsspektren 487
 - 11.4.5.2 Raman-Spektren 487
 - 11.4.6 Magnetische Kernresonanz (nuclear magnetic resonance = NMR) 488
 - 11.5 Spezielle Messgeräte 488

- 11.5.1 Photometer 489
- 11.5.2 IR-Messgeräte für Gase 490
- 11.5.3 Chemolumineszenzanalyse 492
- 11.6 Massenspektrometer 492
- 11.7 Farbmittel 495
 - 11.7.1 Ursachen für die Farbigkeit 495
 - 11.7.1.1 Anorganische Stoffe 495
 - 11.7.1.2 Organische Stoffe 496
 - 11.7.2 Pigmente 497
 - 11.7.2.1 Anorganische Pigmente 497
 - 11.7.2.2 Organische Pigmente 498
 - 11.7.3 Farbstoffe 499
 - 11.7.4 Farbindikatoren 500
 - 11.7.5 Allgemeine Überlegungen zu Pigmenten und Farbstoffen 500
- Kontroll- und Übungsfragen zum 11. Kapitel 501

12 Biochemie und Biotechnologie 502

- 12.1 Grundlagen der Biochemie 502
 - 12.1.1 Eigenschaften belebter Materie 502
 - 12.1.1.1 Das Phänomen des Lebens 502
 - 12.1.1.2 Einteilung der Lebewesen 503
 - 12.1.2 Die Zelle 504
 - 12.1.2.1 Eukaryontische Zellen 505
 - 12.1.2.2 Prokaryontische Zellen 506
 - 12.1.3 Der Stoffwechsel 507
 - 12.1.3.1 Allgemeines 507
 - 12.1.3.2 Biokatalysatoren 507
 - 12.1.3.3 Energiestoffwechsel 508
 - 12.1.3.4 Menschlicher Stoffwechsel 510
- 12.2 Molekularbiologie 512
 - 12.2.1 Aufbau und Verdoppelung der DNA 512
 - 12.2.2 Die Eiweißsynthese 514
 - 12.2.3 Mutationen 517
 - 12.2.3.1 Mutationsarten 517
 - 12.2.3.2 Reparatur von Mutationen 519
 - 12.2.3.3 Somatische Mutationen 519
 - 12.2.3.4 Mutagenese 520
 - 12.2.4 Gentechnik 520
- 12.3 Bioverfahrenstechnik 523
 - 12.3.1 Bioreaktoren (Fermenter) 524
 - 12.3.2 Produktaufarbeitung 526
 - 12.3.3 Herstellung von Bioethanol 526
- 12.4 Biosensoren 527
- 12.5 Schadwirkung von Chemikalien 529
 - 12.5.1 Humantoxikologie 529
 - 12.5.1.1 Giftige Dosis 530

| | | |
|----------|--------------------------------------------|-----|
| 12.5.1.2 | Einwirk- oder Expositionsdauer | 530 |
| 12.5.1.3 | Giftwirkungen | 532 |
| 12.5.1.4 | Vorsorgemaßnahmen | 533 |
| 12.5.2 | Die häufigsten Gifte | 534 |
| 12.5.2.1 | Giftige anorganische Stoffe | 534 |
| 12.5.2.2 | Giftige organische Stoffe | 537 |
| 12.5.3 | Ökotoxikologie | 540 |
| 12.5.3.1 | Toxizität für Lebewesen | 541 |
| 12.5.3.2 | Biologische Abbaubarkeit | 541 |
| 12.5.3.3 | Bioakkumulation | 541 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 12. Kapitel | 544 |

13 Umweltschutztechnik 546

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.1 | Ökologische Grundlagen | 546 |
| 13.1.1 | Ökosysteme | 546 |
| 13.1.2 | Stoff- und Energieumsätze in Ökosystemen | 548 |
| 13.1.3 | Stoffkreisläufe | 549 |
| 13.1.3.1 | Der Kohlenstoff-Kreislauf | 549 |
| 13.1.3.2 | Der Stickstoff-Kreislauf | 550 |
| 13.2 | Abwasser und Abwasserreinigung | 551 |
| 13.2.1 | Rohstoff Wasser | 551 |
| 13.2.2 | Abwasserinhaltsstoffe | 553 |
| 13.2.2.1 | Anorganische Inhaltsstoffe | 554 |
| 13.2.2.2 | Organische Inhaltsstoffe | 555 |
| 13.2.3 | Abwasserreinigung durch kommunale Kläranlagen | 559 |
| 13.2.3.1 | Mechanische Reinigung | 560 |
| 13.2.3.2 | Biologische Reinigung | 561 |
| 13.2.3.3 | Entfernung von Phosphor- und Stickstoffverbindungen | 562 |
| 13.2.3.4 | Schlammbehandlung | 564 |
| 13.2.4 | Neuere Trends in der biologischen Abwasserreinigung | 565 |
| 13.2.4.1 | Biohochreaktoren | 566 |
| 13.2.4.2 | Anaerobe Abwasserreinigung | 566 |
| 13.2.4.3 | Reaktoren mit mechanisch bewegten Elementen | 566 |
| 13.2.4.4 | Kombination von biologischer Reinigung und Membranfiltrertechnik | 567 |
| 13.2.5 | Spezielle Verfahren der Abwasserreinigung | 567 |
| 13.2.5.1 | Fällung und Abtrennung in Form fester Stoffe | 568 |
| 13.2.5.2 | Ionenaustauscher | 571 |
| 13.2.5.3 | Adsorption an Aktivkohle | 571 |
| 13.2.5.4 | Membranfiltrationsverfahren | 572 |
| 13.2.5.5 | Extraktion | 572 |
| 13.2.5.6 | Strippung und Eindampfen | 573 |
| 13.2.5.7 | Chemische Oxidation | 574 |
| 13.3 | Membrantrennverfahren | 575 |
| 13.3.1 | Grundlage und Arten der Membrantrennverfahren | 575 |
| 13.3.2 | Stofftransport bei Membrantrennverfahren | 578 |
| 13.3.2.1 | Modell für poröse Membranen | 579 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------|-----|
| 13.3.2.2 | Modell für porenfreie Membranen | 581 |
| 13.3.3 | Technische Membranmodule | 584 |
| 13.4 | Abluftreinigung | 585 |
| 13.4.1 | Luftschadstoffe | 585 |
| 13.4.2 | Abluftreinigung in der Industrie | 588 |
| 13.4.2.1 | Staubabscheidung | 588 |
| 13.4.2.2 | Abscheidung gasförmiger Verunreinigungen | 591 |
| 13.4.3 | Rauchgasreinigung in Kraftwerken | 596 |
| 13.4.3.1 | Verminderung von Schwefeldioxid | 596 |
| 13.4.3.2 | Verminderung von Stickstoffoxiden | 598 |
| 13.4.4 | Abgasreinigung bei Automobilen | 600 |
| 13.5 | Abfall und Recycling | 603 |
| 13.5.1 | Abfallzusammensetzung | 603 |
| 13.5.2 | Abfallentsorgung | 605 |
| 13.5.2.1 | Thermische Behandlung | 605 |
| 13.5.2.2 | Deponie | 608 |
| 13.5.2.3 | Mechanisch-biologische Behandlung | 609 |
| 13.5.3 | Recycling | 611 |
| 13.6 | Produktionsintegrierter Umweltschutz | 612 |
| 13.7 | Ökobilanzen | 615 |
| | Kontroll- und Übungsfragen zum 13. Kapitel | 618 |

14 Chemische Literatur 621

| | | |
|----------|---------------------------------------------------|-----|
| 14.1 | Allgemeines | 621 |
| 14.2 | Weiterführende Lehrbücher | 622 |
| 14.2.1 | Allgemeine und Anorganische Chemie | 622 |
| 14.2.2 | Organische Chemie | 623 |
| 14.2.3 | Biochemie, Biotechnologie und Toxikologie | 623 |
| 14.2.3.1 | Biochemie | 623 |
| 14.2.3.2 | Biotechnologie | 623 |
| 14.2.3.3 | Toxikologie | 623 |
| 14.2.4 | Physikalische Chemie / Elektrochemie | 624 |
| 14.2.5 | Umwelttechnik | 624 |
| 14.2.6 | Analytik und Messtechnik | 624 |
| 14.2.7 | Chemische Technik | 625 |
| 14.2.8 | Korrosion und Korrosionsschutz | 625 |
| 14.2.9 | Kunststoffe | 625 |
| 14.2.10 | Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik | 625 |
| 14.2.11 | Verfahrenstechnik (Grundlagen) | 625 |
| 14.3 | Enzyklopädien und Tabellenwerke | 626 |
| 14.3.1 | Römpps „Chemie-Lexikon“ | 626 |
| 14.3.2 | Enzyklopädien und Tabellenwerke | 626 |
| 14.3.2.1 | Kleinere Hand- und Taschenbücher | 626 |
| 14.3.2.2 | Großes Tabellen- und Datenwerk | 626 |
| 14.3.3 | Enzyklopädien der Technischen Chemie | 627 |
| 14.3.4 | Große Nachschlagewerke zu Teilgebieten der Chemie | 627 |

- 14.3.4.1 Gmelin 627
- 14.3.4.2 Beilstein 628
- 14.3.5 Kleinere Nachschlagewerke für spezielle Bereiche 628
 - 14.3.5.1 Kunststoffe 628
 - 14.3.5.2 Biochemie und Biotechnologie 628
 - 14.3.5.3 Klinisches und Pharmazeutisches Wörterbuch 628
 - 14.3.5.4 Umweltschutz und Unfallverhütung 629
 - 14.3.5.5 Firmen- und Produktinformationen 629
- 14.4 Fachzeitschriften 629
- 14.5 Referateorgane 630
 - 14.5.1 Chemical Abstracts 630
 - 14.5.2 Andere Referateorgane 631
 - 14.5.3 Fachinformationszentren 631
- 14.6 Patentliteratur 632
- 14.7 Recherchen im Internet 633
 - 14.7.1 Allgemeine Suchmaschinen 633
 - 14.7.2 Spezielle Suchmaschinen und Serviceanbieter im Bereich der Chemie 633
 - 14.7.2.1 Analytik 634
 - 14.7.2.2 Chemikalien- und Sicherheitsdaten 634
 - 14.7.2.3 Physikalisch-chemische Stoffdaten 635
 - 14.7.2.4 Kunststoffe 635
 - 14.7.2.5 Wasserstofftechnologie 635
 - 14.7.2.6 Firmen- und Produktinformationen 636
 - 14.7.2.7 Patentrecherchen 636
- Kontrollfragen zum 14. Kapitel 637

Anhang 638

- A1 Die Buchstaben des griechischen Alphabets 638
- A2 Vorsatzzeichen, Abkürzungen für Stoffmengenanteile 638
- A3 Maßeinheitentabelle 639
- A4 Verzeichnis der chemischen Elemente 640
- A5 Löslichkeitsprodukte 642
- A6 Schadstoff-Höchstwerte am Arbeitsplatz und Wassergefährdungsklassen 643
- A7 Schadstoff-Höchstwerte im Abwasser 644
- A8 Schadstoff-Höchstwerte in der Luft 645
- A9 Gefahrensymbole 646
- A10 Klärschlammverordnung 646

Antworten zu den Kontroll- und Übungsfragen 647

Register 672