

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Vorwort zur 6. Auflage | V |
| Vorwort zur 5. Auflage | VII |
| Vorwort zur 1. Auflage | IX |
| Symbole | XIX |
| Mathematische Zeichen | XXI |
| 1 Einführung in die quantitative Analyse | 1 |
| 1.1 Der analytische Prozess | 1 |
| 1.2 Probennahme und Probenvorbereitung | 2 |
| 1.3 Messung und Auswertung | 4 |
| 1.4 Fehlerbetrachtung | 5 |
| 1.4.1 Zufälliger und systematischer Fehler | 5 |
| 1.4.2 Standardabweichung | 6 |
| 1.4.3 Nachweis- und Erfassungsgrenze | 8 |
| 1.5 Umgang mit Dezimalstellen | 9 |
| 1.5.1 Signifikante Ziffern | 9 |
| 1.5.2 Rechnen mit Dezimalzahlen | 9 |
| 1.5.3 Anwendungsbeispiele | 10 |
| 2 Chemisches Gleichgewicht | 13 |
| 2.1 Homogene Systeme | 13 |
| 2.1.1 Kinetische Betrachtung | 13 |
| 2.1.2 Thermodynamische Betrachtung | 15 |
| 2.2 Heterogene Systeme | 18 |
| 2.2.1 Gleichgewicht Lösung I/Lösung II | 18 |
| 2.2.2 Gleichgewicht Gasphase/Lösung | 19 |
| 2.2.3 Gleichgewicht Feststoff/Lösung | 19 |
| 2.3 Schwache Elektrolyte | 20 |
| 2.3.1 Einstufige Dissoziation | 20 |
| 2.3.2 Mehrstufige Dissoziation | 22 |
| 2.3.3 Experimentelle Bestimmung des Dissoziationsgrads | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4 | Starke Elektrolyte | 25 |
| 2.4.1 | Aktivitätsbegriff | 25 |
| 2.4.2 | Berechnung von Aktivitätskoeffizienten | 26 |
| 2.4.3 | Experimentelle Bestimmung von Aktivitätskoeffizienten | 28 |
| 3 | Gravimetrie | 29 |
| 3.1 | Fällungsform und Wägeform | 29 |
| 3.2 | Stöchiometrische Berechnungen | 29 |
| 3.3 | Lösen | 32 |
| 3.3.1 | Löslichkeitsprodukt | 32 |
| 3.3.2 | Löslichkeit | 32 |
| 3.3.3 | Fällungsgrad | 34 |
| 3.4 | Fällen | 35 |
| 3.4.1 | Keimbildung und Kristallwachstum | 35 |
| 3.4.2 | Kolloidbildung | 36 |
| 3.4.3 | Alterung | 37 |
| 3.4.4 | Mitfällung und Nachfällung | 37 |
| 3.4.5 | Komplexbildung | 38 |
| 3.4.6 | Fällung aus homogener Lösung | 38 |
| 3.5 | Anwendungsbeispiele | 39 |
| 3.5.1 | Chlorid-Fällung | 39 |
| 3.5.2 | Sulfat-Fällung | 39 |
| 3.5.3 | Hydroxid-Fällung | 39 |
| 3.5.4 | Phosphat-Fällung | 40 |
| 3.5.5 | Kalium-Bestimmung | 40 |
| 3.5.6 | Blei-Bestimmung | 40 |
| 3.6 | Organische Fällungsreagenzien | 41 |
| 3.7 | Praktische Hinweise | 41 |
| 3.7.1 | Filtrieren und Trocknen | 41 |
| 3.7.2 | Wägen | 41 |
| 4 | Maßanalyse (Titrimetrie) | 45 |
| 4.1 | Mengen-, Gehalts- und Konzentrationsangaben | 45 |
| 4.1.1 | Das Mol | 45 |
| 4.1.2 | Molare Masse | 48 |
| 4.1.3 | Gehalt und Konzentration | 49 |
| 4.1.4 | Mischungsaufgaben | 53 |
| 4.2 | Grundbegriffe der Maßanalyse | 54 |
| 4.2.1 | Volumenmessung | 54 |
| 4.2.2 | Titration | 57 |
| 4.2.3 | Indikation | 58 |
| 4.2.4 | Maßlösung | 59 |
| 4.2.5 | Probelösung | 61 |
| 4.2.6 | Titrationsskurven | 63 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | Säure-Base-Gleichgewichte | 65 |
| 5.1 | Säure-Base-Theorien | 65 |
| 5.1.1 | Arrhenius-Ostwald-Theorie | 65 |
| 5.1.2 | Brönsted-Theorie | 67 |
| 5.1.3 | Lewis-Theorie | 68 |
| 5.1.4 | Bjerrum-Theorie | 69 |
| 5.2 | Protolyse in wässriger Lösung | 69 |
| 5.2.1 | Eigendissoziation des Wassers | 69 |
| 5.2.2 | Säure-Base-Reaktion mit Wasser | 70 |
| 5.3 | Protolyse in nichtwässrigen Lösungsmitteln | 72 |
| 5.4 | Der pH-Wert | 74 |
| 5.5 | pH-Wert verschiedener Säure- und Basesysteme | 76 |
| 5.5.1 | Starke Protolyte | 76 |
| 5.5.2 | Schwache Protolyte | 77 |
| 5.5.3 | Mehrwertige Protolyte | 78 |
| 5.5.4 | Gemische starker Protolyte | 79 |
| 5.5.5 | Gemische schwacher Protolyte | 79 |
| 5.5.6 | Gemische aus starken und schwachen Protolyten | 80 |
| 5.6 | pH-Wert von Salzlösungen | 81 |
| 6 | Säure-Base-Titration | 83 |
| 6.1 | Titration starker Protolyte | 83 |
| 6.2 | Titration schwacher Protolyte | 85 |
| 6.2.1 | Titration einer schwachen Säure mit einer starken Base | 85 |
| 6.2.2 | Titration einer schwachen Base mit einer starken Säure | 87 |
| 6.2.3 | Titration einer schwachen Säure mit einer schwachen Base | 88 |
| 6.3 | Säure-Base-Indikatoren | 89 |
| 6.3.1 | Zweifarbige Indikatoren | 89 |
| 6.3.2 | Einfarbige Indikatoren | 91 |
| 6.3.3 | Mischindikatoren | 93 |
| 6.4 | Titrationfehler | 93 |
| 6.4.1 | Systematischer Fehler | 93 |
| 6.4.2 | Zufälliger Fehler | 95 |
| 6.5 | Anwendungsbeispiele | 96 |
| 6.5.1 | Titration von Carbonat ($pK_b = 3,6$) | 96 |
| 6.5.2 | Titration von Borsäure ($pK_s = 9,3$) | 96 |
| 6.5.3 | Titration von Ammonium ($pK_s = 9,25$) | 97 |
| 6.5.4 | Kjeldahl-Aufschluss | 97 |
| 6.5.5 | Wasserhärte-Bestimmung | 98 |
| 6.6 | Titration in nichtwässrigen Lösungsmitteln | 99 |
| 6.6.1 | Wahl des Lösungsmittels | 99 |
| 6.6.2 | Titration von Basen | 99 |
| 6.6.3 | Titration von Säuren | 100 |
| 6.7 | Hägg-Diagramme | 100 |
| 6.7.1 | Mathematische Ableitung | 100 |

- 6.7.2 Geometrische Konstruktion 102
- 6.7.3 Hägg-Diagramm einer schwachen Säure ($pK_s < 7$) 103
- 6.7.4 Indikation des Titrationsendpunkts 104
- 6.7.5 Hägg-Diagramm einer schwachen Base ($pK_s > 7$) 105
- 6.7.6 Hägg-Diagramm einer zweiwertigen Säure 106
- 6.7.7 Hägg-Diagramm von Salzen schwacher Protolyte 108
- 6.8 Titration mehrwertiger Protolyte 109
 - 6.8.1 Titrationsdiagramm 109
 - 6.8.2 Berechnung der stöchiometrischen Punkte 110
 - 6.8.3 Verschiebung des Titrierexponenten bei hoher Ionenstärke 112
- 6.9 Titration mehrerer Protolyte 113
- 6.10 Pufferlösungen 115
 - 6.10.1 Pufferbereich 115
 - 6.10.2 pH-Wert von Pufferlösungen 116
 - 6.10.3 Pufferkapazität 117
 - 6.10.4 Grafische Darstellung der Pufferfunktion 119
 - 6.10.5 Anwendung von Pufferlösungen 120
- 7 Fällungsanalyse 121**
 - 7.1 Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt 121
 - 7.2 Schwerlösliche Säuren und Basen 122
 - 7.3 Schwerlösliche Salze 124
 - 7.3.1 pH-Abhängigkeit der Löslichkeit 124
 - 7.3.2 Löslichkeitsdiagramm 125
 - 7.3.3 Gekoppelte Salzauflösung und Salzfällung 128
 - 7.4 Sulfidfällung 129
 - 7.5 Hydroxidfällung 131
 - 7.6 Fällung und Komplexbildung 133
 - 7.6.1 Löslichkeit von Silberhalogeniden in Ammoniak 133
 - 7.6.2 Trennung von Cu und Cd durch Fällung von CdS aus den Cyanokomplexen 134
 - 7.7 Fällungstiteration 134
 - 7.7.1 Titrationskurve 134
 - 7.7.2 Fraktionierte Fällung 136
 - 7.7.3 Hägg-Diagramm zur Fällungstiteration 138
 - 7.8 Fällungsindikation 140
 - 7.8.1 Titration ohne Indikator („Cyanid nach Liebig“) 140
 - 7.8.2 Indikation durch farbigen Niederschlag („Chlorid nach Mohr“) 140
 - 7.8.3 Indikation durch Anfärben des Fällungsprodukts (Adsorptionsindikatoren nach Fajans) 141
 - 7.8.4 Indikation durch farbige Lösung („Silber nach Volhard“) 142
 - 7.8.5 Fluorid-Bestimmung 143
- 8 Komplexometrie 145**
 - 8.1 Komplexbildung 145
 - 8.2 Analytische Anwendung 147

- 8.2.1 Mehrzählige Liganden 147
- 8.2.2 Titrationskurve 150
- 8.2.3 Konditionalkonstante 152
- 8.3 Titrationsverfahren 154
- 8.4 Indikation 156
- 9 Redoxvorgänge 159**
 - 9.1 Oxidation und Reduktion 159
 - 9.2 Elektrodenpotenzial 162
 - 9.3 Allgemeine Form des Redoxpotenzials 166
 - 9.4 Wasserstoff- und Sauerstoff-Elektrode 168
 - 9.5 Normalpotenzial und Spannungsreihe 169
 - 9.6 Redoxamphoterie 173
 - 9.6.1 Luthersche Regel 173
 - 9.6.2 Redox-Disproportionierung und -Komproportionierung 174
 - 9.6.3 Gleichgewichtspotenzial 175
 - 9.6.4 Anwendungsbeispiele 176
 - 9.7 Gleichgewichtskonstante von Redoxreaktionen 177
 - 9.8 Redoxtitration 179
 - 9.8.1 Äquivalenzpotenzial 179
 - 9.8.2 Titrationskurve 180
 - 9.8.3 Berechnung der charakteristischen Punkte 181
 - 9.9 Redoxindikatoren 183
 - 9.9.1 Zweifarbige Indikatoren 183
 - 9.9.2 Einfarbige Indikatoren 184
 - 9.10 Kinetik von Redoxreaktionen 185
 - 9.10.1 Reaktionshemmung 185
 - 9.10.2 Induktion 186
- 10 Redoxtitration 189**
 - 10.1 Manganometrie 190
 - 10.1.1 Grundgleichungen 190
 - 10.1.2 Manganometrische Eisen-Bestimmung 191
 - 10.1.3 Oxalat-, Peroxid- und Nitrit-Bestimmung 192
 - 10.1.4 Mangan-Bestimmung nach Volhard-Wolff 193
 - 10.2 Dichromatometrie 193
 - 10.3 Bromatometrie 194
 - 10.4 Iodometrie 195
 - 10.4.1 Oxidimetrische Bestimmungen 197
 - 10.4.2 Reduktometrische Bestimmungen 199
 - 10.5 Cerimetrie 201
- 11 Trennungen 203**
 - 11.1 Aufschluss und Trennung 203
 - 11.2 Stöchiometrische Berechnungen 204
 - 11.3 Nasschemische Trennmethode 206

| | | |
|-----------|--|------------|
| 11.3.1 | Gruppentrennungen | 206 |
| 11.3.2 | Spezifische Fällung | 207 |
| 11.3.3 | Komplexbildung | 208 |
| 11.3.4 | Redoxreaktionen | 209 |
| 11.4 | Physikalisch-chemische Methoden | 209 |
| 11.4.1 | Destillation | 209 |
| 11.4.2 | Extraktion | 210 |
| 11.4.3 | Ionenaustausch | 211 |
| 11.4.4 | Elektrolyse | 211 |
| 11.5 | Aufschlüsse | 212 |
| 11.5.1 | Die Schmelze als Reaktionsmedium (Theorie von Bjerrum) | 212 |
| 11.5.2 | Sulfid-Aufschluss | 213 |
| 11.5.3 | Silicat-Aufschluss | 214 |
| 11.5.4 | Aufschluss von organischen Verbindungen | 216 |
| 11.5.5 | Moderne Aufschlussverfahren | 218 |
| 11.6 | Ionenaustauscher | 218 |
| 11.6.1 | Charakterisierung von Ionenaustauschern | 221 |
| 11.7 | Chromatografie | 222 |
| 11.7.1 | Verteilungsgleichgewicht | 222 |
| 11.7.2 | Flüssigkeits-Chromatografie (LC) | 223 |
| 11.7.3 | Ionen-Chromatografie | 226 |
| 11.7.4 | Gas-Chromatografie (GC) | 226 |
| 11.7.5 | Grundgleichungen der Chromatografie | 229 |
| 12 | Elektrochemische Methoden | 231 |
| 12.1 | Elektrolyse | 231 |
| 12.1.1 | Grundbegriffe | 231 |
| 12.1.2 | Zersetzungsspannung | 234 |
| 12.1.3 | Elektrogravimetrie | 235 |
| 12.1.4 | Coulometrie | 238 |
| 12.1.5 | Weitere Beispiele für coulometrische Redox titrationen | 240 |
| 12.2 | Konduktometrie | 241 |
| 12.2.1 | Theorie der Leitfähigkeit | 241 |
| 12.2.2 | Durchführung der Messung | 246 |
| 12.2.3 | Konduktometrische Titration | 246 |
| 12.3 | Potenziometrie | 250 |
| 12.3.1 | Grundlagen | 250 |
| 12.3.2 | Durchführung | 251 |
| 12.3.3 | Indikatorelektroden zur pH-Messung | 252 |
| 12.3.4 | Ionenselektive Elektroden | 256 |
| 12.4 | Polarisationsmethoden | 258 |
| 12.4.1 | Polarografie | 259 |
| 12.4.2 | Voltametrische Titration | 262 |
| 12.4.3 | Dead-Stop-Titration | 265 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 13 | Optische Methoden | 269 |
| 13.1 | Das elektromagnetische Spektrum | 269 |
| 13.2 | Brechungs- und Beugungsmethoden | 271 |
| 13.2.1 | Refraktometrie | 271 |
| 13.2.2 | Polarimetrie | 272 |
| 13.3 | Absorptionsmethoden | 273 |
| 13.3.1 | Lambert-Beersches Gesetz | 274 |
| 13.3.2 | Spektralphotometer | 275 |
| 13.3.3 | Kolorimetrie | 275 |
| 13.3.4 | Fotometrie | 276 |
| 13.3.5 | Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) | 279 |
| 13.4 | Emissionsspektrometrie | 280 |
| 13.4.1 | Übersicht | 280 |
| 13.4.2 | Flammenfotometrie | 281 |
| 13.4.3 | ICP-OES | 282 |
| A | Anhang | 285 |
| A.1 | Physikalische Größen, Einheiten und Konstanten | 285 |
| A.1.1 | SI-Basiseinheiten | 285 |
| A.1.2 | Abgeleitete SI-Einheiten | 286 |
| A.1.3 | Besondere Bezeichnungen für Vielfache von SI-Einheiten | 286 |
| A.1.4 | Einheiten, die nicht mehr verwendet werden sollen | 287 |
| A.1.5 | SI-Dezimalvorsätze | 287 |
| A.1.6 | Umrechnung alter und neuer Energieeinheiten | 287 |
| A.1.7 | Umrechnungsfaktoren für Druckeinheiten | 288 |
| A.1.8 | Physikalische Konstanten (auf 5 Dezimalen gerundet) | 288 |
| A.2 | Aktivitätskoeffizienten und analytische Konstanten | 289 |
| A.2.1 | Bestimmung von Aktivitätskoeffizienten nach Kielland | 289 |
| A.2.2 | Von der effektiven Größe des hydratisierten Ions abhängiger k -Parameter | 290 |
| A.2.3 | Aktivitätskoeffizienten f_i , berechnet nach Kielland für wässrige Lösungen bei 25 °C | 291 |
| A.2.4 | Löslichkeit anorganischer Verbindungen in Wasser bei 20 °C | 292 |
| A.2.5 | Löslichkeitsprodukte K_L | 294 |
| A.2.6 | Säurekonstanten $pK_s + pK_b = 14$ | 295 |
| A.2.7 | Normalpotenziale | 296 |
| A.2.8 | Die chemischen Elemente | 299 |
| | Literatur | 301 |
| | Index | 307 |

