
Kurzinhaltsverzeichnis

| | | |
|--|--|------------|
| 1 | Einführung | 1 |
| Teil I Grundlagen des Messprozesses | | |
| 2 | Elektrische Bauelemente und Schaltkreise | 25 |
| 3 | Operationsverstärker in chemischen Messinstrumenten | 59 |
| 4 | Digital-Elektronik, Mikroprozessoren und Computer | 79 |
| 5 | Signale und Rauschen | 111 |
| Teil II Atomspektroskopie | | |
| 6 | Einführung in spektroskopische Methoden | 133 |
| 7 | Komponenten optischer Geräte | 163 |
| 8 | Eine Einführung in die optische Atomspektroskopie | 213 |
| 9 | Atomabsorptions- und Atomfluoreszenzspektroskopie | 229 |
| 10 | Atomemissionsspektroskopie | 253 |
| 11 | Atommassenspektrometrie | 279 |
| 12 | Röntgenspektroskopie | 303 |
| Teil III Molekülspektroskopie | | |
| 13 | Eine Einführung in die Molekülabsorptionsspektrometrie im ultraviolett-sichtbaren Bereich | 337 |
| 14 | Anwendungen der Molekülabsorptionsspektrometrie im ultravioletten und sichtbaren Bereich (UV-Vis-Bereich) | 367 |
| 15 | Moleküllumineszenzspektroskopie | 397 |
| 16 | Einführung in die Infrarotspektrometrie | 427 |
| 17 | Anwendungen der Infrarotspektrometrie | 451 |
| 18 | Raman-Spektroskopie | 475 |

| | | |
|---|---|-----|
| 19 | Kernresonanzspektroskopie (NMR) | 491 |
| 20 | Molekülmassenspektrometrie | 539 |
| 21 | Charakterisierung von Oberflächen mit der Spektroskopie und der Mikroskopie | 575 |
| Teil IV Elektroanalytische Chemie | | |
| 22 | Einführung in die elektroanalytische Chemie | 613 |
| 23 | Potenziometrie | 643 |
| 24 | Coulometrie | 679 |
| 25 | Voltammetrie | 697 |
| Teil V Trennmethoden | | |
| 26 | Einführung in chromatographische Trennmethoden | 743 |
| 27 | Gaschromatographie | 767 |
| 28 | Flüssigchromatographie | 793 |
| 29 | Überkritische Fluidchromatographie und Fluidextraktion | 831 |
| 30 | Kapillarelektrophorese, Kapillarelektrochromatographie und Feldflussfraktionierung | 843 |
| Teil VI Verschiedene Methoden | | |
| 31 | Thermische Methoden | 869 |
| 32 | Radiochemische Methoden | 885 |
| 33 | Automatisierte Analysemethoden | 903 |
| 34 | Partikelgrößenbestimmung | 923 |
| Anhang A: Auswertung analytischer Daten | | 939 |
| Anhang B: Aktivitätskoeffizienten | | 965 |
| Anhang C: Einige Standard- und formale Elektrodenpotenziale | | 969 |
| Anhang D: Empfohlene Verbindungen zur Herstellung von Standardlösungen einiger gebräuchlicher Elemente | | 973 |
| Lösungen zu ausgewählten Aufgaben | | 975 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Einführung | 1 |
| 1.1 | Klassifizierung der analytischen Methoden | 1 |
| 1.1.1 | Klassische Methoden | 1 |
| 1.1.2 | Instrumentelle Methoden | 1 |
| 1.2 | Die Kategorien instrumenteller Methoden | 2 |
| 1.3 | Analysegeräte | 3 |
| 1.3.1 | Datendomänen | 3 |
| 1.3.2 | Nichtelektrische Datenbereiche | 3 |
| 1.3.3 | Elektrische Datenbereiche | 5 |
| 1.3.4 | Detektoren, Wandler und Sensoren | 8 |
| 1.3.5 | Ausgabegeräte | 10 |
| 1.3.6 | Mikroprozessoren und Computer in Analysegeräten | 10 |
| 1.4 | Kalibrierung instrumenteller Verfahren | 10 |
| 1.4.1 | Vergleich mit Normalen | 10 |
| 1.4.2 | Kalibrierung mit externen Standards | 10 |
| 1.4.3 | Standard-Additionsverfahren | 13 |
| 1.4.4 | Die Methode interner Standards | 16 |
| 1.5 | Die Auswahl einer analytischen Methode | 17 |
| 1.5.1 | Definition der Aufgabenstellung | 17 |
| 1.5.2 | Leistungsparameter von Analysegeräten – Gütezahlen | 17 |
| 1.6 | Fragen und Aufgaben | 21 |
| 1.6.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 22 |

Teil I Grundlagen des Messprozesses

| | | |
|----------|---|----|
| 2 | Elektrische Bauelemente und Schaltkreise | 25 |
| 2.1 | Gleichstromschaltkreise und -messungen | 25 |
| 2.1.1 | Elektrizitätsgesetze | 25 |
| 2.1.2 | Gleichstromschaltkreise | 26 |
| 2.1.3 | Messungen von Stromstärke, Spannung und Widerstand in Gleichstromschaltkreisen | 29 |
| 2.2 | Wechselstromschaltkreise | 31 |
| 2.2.1 | Sinusförmige Signale | 32 |
| 2.2.2 | Blindwiderstand in elektrischen Schaltkreisen | 33 |
| 2.2.3 | Kondensatoren und Kapazität: RC-Reihenschaltungen | 34 |
| 2.2.4 | Ansprechverhalten von RC-Reihenschaltungen auf sinusförmige Eingangssignale | 37 |
| 2.2.5 | Filter auf Basis von RC-Schaltungen | 40 |
| 2.2.6 | Verhalten von RC-Schaltungen bei impulsförmigen Eingangssignalen | 41 |
| 2.2.7 | Messungen von Wechselstrom, Wechselspannung und Impedanz | 41 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.3 | Halbleiter und Halbleiterbauelemente | 41 |
| 2.3.1 | Eigenschaften von Silicium- und Germaniumhalbleitern | 43 |
| 2.3.2 | Halbleiterdioden | 43 |
| 2.3.3 | Transistoren | 45 |
| 2.4 | Stromversorgung und Regler | 49 |
| 2.4.1 | Transformatoren | 49 |
| 2.4.2 | Gleichrichter und Filter | 49 |
| 2.4.3 | Spannungsregler | 50 |
| 2.5 | Ausgabegeräte | 51 |
| 2.5.1 | Oszilloskope | 51 |
| 2.5.2 | Messschreiber | 52 |
| 2.5.3 | Alphanumerische Anzeigen | 54 |
| 2.5.4 | Computer | 54 |
| 2.6 | Fragen und Aufgaben | 54 |
| 2.6.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 56 |
| 3 | Operationsverstärker in chemischen Messinstrumenten | 59 |
| 3.1 | Eigenschaften von Operationsverstärkern | 59 |
| 3.1.1 | Symbole für Operationsverstärker | 59 |
| 3.1.2 | Allgemeine Charakteristika von Operationsverstärkern | 60 |
| 3.2 | Einsatz von Operationsverstärkern in Schaltkreisen | 62 |
| 3.2.1 | Komparatoren | 62 |
| 3.2.2 | Spannungsfolger (Impedanzwandler) | 62 |
| 3.2.3 | Stromfolgerschaltkreise | 63 |
| 3.2.4 | Frequenzgang eines Schaltkreises mit Gegenkopplung | 65 |
| 3.3 | Verstärkung und Messung der Signale von Messwertwandlern | 66 |
| 3.3.1 | Strommessungen | 66 |
| 3.3.2 | Spannungsmessungen | 67 |
| 3.3.3 | Messungen von Widerstand und Leitwert | 68 |
| 3.3.4 | Differenzverstärker | 69 |
| 3.4 | Anwendung von Operationsverstärkern zur Steuerung von Spannung und Stromstärke | 71 |
| 3.4.1 | Konstantspannungsquellen | 71 |
| 3.4.2 | Konstantstromquellen | 71 |
| 3.5 | Anwendung von Operationsverstärkern zur Ausführung mathematischer Operationen | 72 |
| 3.5.1 | Multiplikation und Division mit Konstanten | 72 |
| 3.5.2 | Addition und Subtraktion | 72 |
| 3.5.3 | Integration | 73 |
| 3.5.4 | Differenziation | 74 |
| 3.5.5 | Erzeugen von Logarithmen und Exponentialfunktionen | 74 |
| 3.6 | Anwendung von Operationsverstärkern zum Vergleich analoger Signale . | 74 |
| 3.7 | Fragen und Aufgaben | 75 |
| 3.7.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 78 |
| 4 | Digital-Elektronik, Mikroprozessoren und Computer | 79 |
| 4.1 | Analoge und digitale Signale | 80 |
| 4.2 | Zählen und Arithmetik mit Binärzahlen | 80 |
| 4.2.1 | Das Binärsystem | 81 |
| 4.2.2 | Konvertierung von Binär- und Dezimalzahlen | 81 |
| 4.2.3 | Binäre Arithmetik | 82 |
| 4.2.4 | Binärcodiertes Dezimalschema | 82 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.3 | Grundlegende digitale Schaltungen | 82 |
| 4.3.1 | Impulsformer | 82 |
| 4.3.2 | Binär- und BCD-Zähler | 83 |
| 4.3.3 | Zählerexperimente | 84 |
| 4.3.4 | Frequenzteiler | 85 |
| 4.3.5 | Uhren | 86 |
| 4.3.6 | Digital-Analog-Wandler (DAC) | 86 |
| 4.3.7 | Analog-Digital-Wandler (ADC) | 87 |
| 4.4 | Computer und computergestützte Messgeräte | 89 |
| 4.4.1 | Computer-Terminologie | 90 |
| 4.4.2 | Betriebsarten computergesteuerter Instrumente | 91 |
| 4.5 | Grundbestandteile eines Rechners | 92 |
| 4.5.1 | Die zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) | 92 |
| 4.5.2 | Bussysteme | 92 |
| 4.5.3 | Hauptspeicher | 94 |
| 4.5.4 | Eingabe- und Ausgabesysteme | 95 |
| 4.6 | Computersoftware | 97 |
| 4.6.1 | Tabellenkalkulation | 97 |
| 4.6.2 | Statistische Analyse | 98 |
| 4.6.3 | Mathematische Hilfsmittel | 98 |
| 4.6.4 | Wissenschaftliche Softwarepakete | 101 |
| 4.7 | Computeranwendungen | 103 |
| 4.7.1 | Passive Anwendungen | 103 |
| 4.7.2 | Aktive Anwendungen | 105 |
| 4.8 | Computernetzwerke | 105 |
| 4.8.1 | Netzwerktypen | 105 |
| 4.8.2 | Labor-Informations- und Management-Systeme (LIMS) | 108 |
| 4.9 | Fragen und Aufgaben | 108 |
| 4.9.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 109 |
| 5 | Signale und Rauschen | 111 |
| 5.1 | Signal-Rausch-Verhältnis | 111 |
| 5.2 | Ursachen für das Rauschen in der instrumentellen Analyse | 112 |
| 5.2.1 | Chemisches Rauschen | 112 |
| 5.2.2 | Instrumentelles Rauschen | 112 |
| 5.3 | Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses | 114 |
| 5.3.1 | Einige Hardwarebauteile und Techniken zur Rauschminderung | 115 |
| 5.3.2 | Softwareverfahren | 118 |
| 5.4 | Fragen und Aufgaben | 124 |
| 5.4.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 125 |
| 5.5 | Instrumentelle Analytik im Einsatz: Das elektronische Analytiklabor | 126 |
| 5.5.1 | Potenzielle Vorteile | 127 |
| 5.5.2 | Komponenten elektronischer Laboratorien | 127 |
| 5.5.3 | Computergestützte Laborjournale | 127 |
| 5.5.4 | Verbindungen zu LIMS und Archivierungssystemen | 129 |
| 5.5.5 | Ausblick | 130 |

Teil II Atomspektroskopie

| | | |
|----------|--|-----|
| 6 | Einführung in spektroskopische Methoden | 133 |
| 6.1 | Allgemeine Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung | 133 |
| 6.2 | Welleneigenschaften der elektromagnetischen Strahlung | 133 |
| 6.2.1 | Wellenparameter | 134 |
| 6.2.2 | Das elektromagnetische Spektrum | 135 |
| 6.2.3 | Mathematische Beschreibung einer Welle | 135 |
| 6.2.4 | Überlagerung von Wellen | 135 |
| 6.2.5 | Strahlungsbeugung | 138 |
| 6.2.6 | Kohärente Strahlung | 140 |
| 6.2.7 | Transmission von Strahlung | 141 |
| 6.2.8 | Brechung von Strahlung | 142 |
| 6.2.9 | Reflexion von Strahlung | 142 |
| 6.2.10 | Streuung von Strahlung | 143 |
| 6.2.11 | Polarisation von Strahlung | 143 |
| 6.3 | Quantenmechanische Eigenschaften der elektromagnetischen Strahlung | 144 |
| 6.3.1 | Der photoelektrische Effekt | 144 |
| 6.3.2 | Energiezustände chemischer Stoffe | 147 |
| 6.3.3 | Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie | 147 |
| 6.3.4 | Emission von Strahlung | 149 |
| 6.3.5 | Absorption von Strahlung | 152 |
| 6.3.6 | Relaxationsvorgänge | 155 |
| 6.3.7 | Die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation | 156 |
| 6.4 | Quantitative Aspekte spektrochemischer Analysen | 156 |
| 6.4.1 | Emission, Lumineszenz und Streumethoden | 157 |
| 6.4.2 | Absorptionsmethoden | 157 |
| 6.5 | Fragen und Aufgaben | 159 |
| 6.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 160 |
| 7 | Komponenten optischer Geräte | 163 |
| 7.1 | Allgemeiner Aufbau optischer Geräte | 163 |
| 7.2 | Strahlungsquellen | 165 |
| 7.2.1 | Kontinuumstrahler | 166 |
| 7.2.2 | Linienstrahler | 166 |
| 7.2.3 | Laser | 167 |
| 7.3 | Wellenlängenselektoren | 174 |
| 7.3.1 | Filter | 174 |
| 7.3.2 | Monochromatoren | 179 |
| 7.3.3 | Monochromatorspalte | 185 |
| 7.4 | Probenbehälter | 187 |
| 7.5 | Strahlungsdetektoren | 188 |
| 7.5.1 | Einführung | 188 |
| 7.5.2 | Photonendetektoren | 190 |
| 7.5.3 | Vielkanalquantendetektoren | 194 |
| 7.5.4 | Photowiderstände | 198 |
| 7.5.5 | Thermische Detektoren | 199 |
| 7.6 | Signalprozessoren und Ausgabegeräte | 200 |
| 7.6.1 | Photonenzählung | 200 |
| 7.7 | Glasfasertechnik | 201 |
| 7.7.1 | Eigenschaften von optischen Fasern | 201 |
| 7.7.2 | Faseroptische Sensoren | 201 |
| 7.8 | Nomenklatur optischer Geräte | 202 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.9 | Grundlagen optischer Messungen mithilfe der Fourier-Transformation . . | 202 |
| 7.9.1 | Vorteile der Fourier-Transformations-Spektroskopie | 203 |
| 7.9.2 | Zeitabhängige Spektroskopie (Time-Domain-Spektroskopie) . . | 204 |
| 7.9.3 | Aufnahme von zeitabhängigen Spektren mit einem Michelson-Interferometer | 206 |
| 7.10 | Fragen und Aufgaben | 209 |
| 7.10.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 211 |
| 8 | Eine Einführung in die optische Atomspektroskopie | 213 |
| 8.1 | Optische Atomspektren | 213 |
| 8.1.1 | Energieniveaudiagramme | 213 |
| 8.1.2 | Atomare Linienbreiten | 217 |
| 8.1.3 | Einfluss der Temperatur auf Atomspektren | 220 |
| 8.1.4 | Bei der Atomisierung erzeugte Molekülspektren | 221 |
| 8.2 | Atomisierungsverfahren | 221 |
| 8.3 | Methoden des Probeneintrags | 221 |
| 8.3.1 | Einbringen von Probenlösungen | 222 |
| 8.3.2 | Aufgabe fester Proben | 224 |
| 8.4 | Fragen und Aufgaben | 226 |
| 8.4.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 226 |
| 9 | Atomabsorptions- und Atomfluoreszenzspektroskopie | 229 |
| 9.1 | Verfahren zur Atomisierung von Proben | 229 |
| 9.1.1 | Flammenatomisierung | 229 |
| 9.1.2 | Elektrothermische Atomisierung | 232 |
| 9.1.3 | Spezielle Atomisierungsverfahren | 235 |
| 9.2 | Geräte für die Atomabsorptionsspektroskopie | 236 |
| 9.2.1 | Strahlungsquellen | 236 |
| 9.2.2 | Spektralphotometer | 239 |
| 9.3 | Interferenzen in der Atomabsorptionsspektroskopie | 240 |
| 9.3.1 | Spektrale Interferenzen | 240 |
| 9.3.2 | Chemische Störungen | 243 |
| 9.4 | Analytische Techniken in der Atomabsorptionsspektroskopie | 245 |
| 9.4.1 | Probenvorbereitung | 246 |
| 9.4.2 | Probenaufgabe durch Fließinjektion | 246 |
| 9.4.3 | Die Rolle organischer Lösemittel in der Flammenspektroskopie . | 247 |
| 9.4.4 | Kalibrierkurven | 247 |
| 9.4.5 | Standard-Additionsverfahren | 247 |
| 9.4.6 | Anwendungen der Atomabsorptionsspektroskopie | 247 |
| 9.5 | Atomfluoreszenzspektroskopie | 248 |
| 9.5.1 | Instrumentierung | 248 |
| 9.5.2 | Störungen | 249 |
| 9.5.3 | Anwendungen | 249 |
| 9.6 | Fragen und Aufgaben | 249 |
| 9.6.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 251 |
| 10 | Atomemissionsspektroskopie | 253 |
| 10.1 | Emissionsspektroskopie auf Basis von Plasmaquellen | 254 |
| 10.1.1 | Das induktiv gekoppelte Plasma | 254 |
| 10.1.2 | Die Gleichstromplasmaquelle | 257 |
| 10.1.3 | Geräte für die Plasmaspektroskopie | 258 |
| 10.1.4 | Anwendungen von Plasmaquellen | 264 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10.2 | Emissionsspektroskopie auf Basis von Bogen- und Funkenquellen | 268 |
| 10.2.1 | Probenarten und Probenhandhabung | 268 |
| 10.2.2 | Geräte für die Bogen- und Funkenspektroskopie | 269 |
| 10.2.3 | Lichtbogenemissionsspektroskopie | 270 |
| 10.2.4 | Funkenquellen und Funkenspektren | 271 |
| 10.3 | Andere Quellen für die optische Emissionsspektroskopie | 272 |
| 10.3.1 | Flammenemissionsquellen | 272 |
| 10.3.2 | Glimmentladungsquellen | 272 |
| 10.3.3 | Atomemissionssysteme auf Laserbasis | 274 |
| 10.4 | Fragen und Aufgaben | 275 |
| 10.4.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 276 |
| 11 | Atommassenspektrometrie | 279 |
| 11.1 | Einige allgemeine Charakteristika der Atommassenspektrometrie | 279 |
| 11.1.1 | Atommassen in der Massenspektrometrie | 279 |
| 11.1.2 | Das Masse-zu-Ladung-Verhältnis m/z | 280 |
| 11.1.3 | Arten der Atommassenspektrometrie | 281 |
| 11.2 | Massenspektrometer | 281 |
| 11.2.1 | Detektoren für die Massenspektrometrie | 282 |
| 11.2.2 | Quadrupolmassenanalysatoren | 286 |
| 11.2.3 | Flugzeitmassenanalysatoren | 288 |
| 11.2.4 | Doppelfokussierende Analysatoren | 289 |
| 11.3 | Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasmaquellen | 290 |
| 11.3.1 | Geräte für die ICP-Massenspektrometrie | 290 |
| 11.3.2 | Atommassenspektren und Störungen | 292 |
| 11.3.3 | Anwendungen der ICP-MS | 295 |
| 11.4 | Massenspektrometrie mit Funkenquellen | 298 |
| 11.4.1 | Spektren | 298 |
| 11.4.2 | Qualitative Anwendungen | 298 |
| 11.4.3 | Quantitative Anwendungen | 299 |
| 11.5 | Massenspektrometrie mit Glimmentladungsquellen | 299 |
| 11.6 | Andere massenspektrometrische Methoden | 299 |
| 11.6.1 | Beschleunigermassenspektrometrie | 299 |
| 11.6.2 | Methoden für die Oberflächenanalyse | 300 |
| 11.7 | Fragen und Aufgaben | 300 |
| 11.7.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 300 |
| 12 | Röntgenspektroskopie | 303 |
| 12.1 | Grundlagen | 303 |
| 12.1.1 | Emission von Röntgenstrahlen | 303 |
| 12.1.2 | Absorptionsspektren | 307 |
| 12.1.3 | Röntgenfluoreszenz | 308 |
| 12.1.4 | Röntgenbeugung | 308 |
| 12.2 | Gerätekomponenten | 309 |
| 12.2.1 | Quellen | 310 |
| 12.2.2 | Filter für Röntgenstrahlen | 310 |
| 12.2.3 | Röntgenstrahlmonochromatoren | 311 |
| 12.2.4 | Röntgenstrahldetektoren und Signalverarbeitung | 312 |
| 12.2.5 | Signalprozessoren | 317 |
| 12.3 | Röntgenfluoreszenzmethoden | 317 |
| 12.3.1 | XRF-Spektrometer | 317 |
| 12.3.2 | Qualitative und halbqualitative Röntgenfluoreszenzanalyse | 320 |
| 12.3.3 | Quantitative Analyse | 321 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 12.4 | Röntgenabsorptionsmethoden | 325 |
| 12.4.1 | Röntgenbeugungsmethoden | 325 |
| 12.4.2 | Identifizierung kristalliner Verbindungen durch Röntgenbeugung | 326 |
| 12.4.3 | Interpretation von Beugungsmustern | 327 |
| 12.5 | Die Elektronenmikrosonde | 328 |
| 12.6 | Fragen und Aufgaben | 328 |
| 12.6.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 329 |
| 12.7 | Instrumentelle Analytik im Einsatz: Quecksilberüberwachung | 330 |
| 12.7.1 | Quecksilberquellen | 331 |
| 12.7.2 | Anforderungen an die Analytik | 331 |
| 12.7.3 | Herkömmliche Methoden zum Quecksilbernachweis | 331 |
| 12.7.4 | Atomfluoreszenzverfahren | 332 |
| 12.7.5 | Schlussfolgerungen | 333 |

Teil III Molekülspektroskopie

| | | |
|-----------|--|------------|
| 13 | Eine Einführung in die Molekülabsorptionsspektrometrie im ultraviolett-sichtbaren Bereich | 337 |
| 13.1 | Messung der Transmission T und des Absorptionsvermögens A | 337 |
| 13.2 | Das Lambert-Beer'sche Gesetz | 338 |
| 13.2.1 | Anwendung des Lambert-Beer'schen Gesetzes auf Mischungen . | 339 |
| 13.2.2 | Grenzen des Lambert-Beer'schen Gesetzes | 339 |
| 13.3 | Der Einfluss des instrumentellen Rauschens auf die spektralphotometrische Analyse | 344 |
| 13.3.1 | Instrumentelles Rauschen als Funktion der Transmission | 344 |
| 13.3.2 | Ursachen des instrumentellen Rauschens | 344 |
| 13.3.3 | Einfluss der Spaltbreite auf die Absorptionsmessungen | 347 |
| 13.3.4 | Einfluss der Streustrahlung bei Wellenlängenextremen eines Spektralphotometers | 348 |
| 13.4 | Geräteausstattung | 349 |
| 13.4.1 | Gerätebauteile | 349 |
| 13.4.2 | Gerätetypen | 351 |
| 13.4.3 | Einige typische Geräte | 354 |
| 13.5 | Fragen und Aufgaben | 362 |
| 13.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 364 |
| 14 | Anwendungen der Molekülabsorptionsspektrometrie im ultravioletten und sichtbaren Bereich (UV-Vis-Bereich) | 367 |
| 14.1 | Die Größe des molaren Absorptionsvermögens | 367 |
| 14.2 | Absorbierende Spezies | 367 |
| 14.2.1 | Absorption organischer Verbindungen | 368 |
| 14.2.2 | Absorption anorganischer Verbindungen | 369 |
| 14.2.3 | Charge-Transfer-Absorption | 371 |
| 14.3 | Qualitative Anwendungen der UV-Vis-Absorptionsspektroskopie | 372 |
| 14.3.1 | Lösemittel | 372 |
| 14.3.2 | Einfluss der Spaltbreite | 373 |
| 14.3.3 | Nachweis funktioneller Gruppen | 373 |
| 14.4 | Quantitative Analyse durch Absorptionsmessungen | 374 |
| 14.4.1 | Anwendungsbereich | 374 |
| 14.4.2 | Einzelheiten des Verfahrens | 375 |
| 14.4.3 | Differenzial- und Zweiwellenlängenspektrometrie | 378 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 14.5 | Photometrische und spektralphotometrische Titrationsen | 379 |
| 14.5.1 | Titrationskurven | 379 |
| 14.5.2 | Geräteausstattung | 380 |
| 14.5.3 | Anwendungen der photometrischen Titration | 380 |
| 14.6 | Spektrometrische kinetische Methoden | 381 |
| 14.6.1 | Reaktionstypen | 382 |
| 14.6.2 | Geräteausstattung | 383 |
| 14.6.3 | Typen kinetischer Verfahren | 385 |
| 14.7 | Spektralphotometrische Untersuchungen von Komplex-Ionen | 386 |
| 14.7.1 | Die Methode der kontinuierlichen Variation | 386 |
| 14.7.2 | Die Methode des Molverhältnisses | 386 |
| 14.7.3 | Die Methode des Steigungsverhältnisses | 387 |
| 14.7.4 | Computerbasierte Methoden zur Bestimmung der Komplexbildungskonstanten | 388 |
| 14.8 | Fragen und Aufgaben | 391 |
| 14.8.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 395 |
| 15 | Molekülumflumineszenzspektroskopie | 397 |
| 15.1 | Theorie der Fluoreszenz und Phosphoreszenz | 398 |
| 15.1.1 | Fluoreszenz und Phosphoreszenz erzeugende angeregte Zustände | 398 |
| 15.1.2 | Absorptions- und Emissionsgeschwindigkeiten | 400 |
| 15.1.3 | Deaktivierungsprozesse | 400 |
| 15.1.4 | Variablen, die Fluoreszenz und Phosphoreszenz beeinflussen . . | 402 |
| 15.1.5 | Emissions- und Anregungsspektren | 407 |
| 15.2 | Geräte zur Messung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz | 408 |
| 15.2.1 | Komponenten von Fluorimetern und Spektralfluorimetern | 410 |
| 15.2.2 | Geräteaufbau | 411 |
| 15.2.3 | Korrektur- und Abgleichsprogramme | 414 |
| 15.2.4 | Kalibrierung des Geräts | 415 |
| 15.3 | Anwendungen von Photolumineszenzmethoden | 416 |
| 15.3.1 | Fluorimetrische Bestimmung von anorganischen Verbindungen . | 417 |
| 15.3.2 | Methoden zur Bestimmung von organischen und biochemischen Verbindungen | 417 |
| 15.3.3 | Phosphorimetrische Methoden | 418 |
| 15.3.4 | Fluoreszenzdetektion in der Flüssigchromatographie | 418 |
| 15.3.5 | Messungen der Lebensdauer | 419 |
| 15.3.6 | Bildgebende Fluoreszenzverfahren | 419 |
| 15.4 | Chemilumineszenz | 420 |
| 15.4.1 | Das Phänomen der Chemilumineszenz | 420 |
| 15.4.2 | Messung der Chemilumineszenz | 420 |
| 15.4.3 | Analytische Anwendungen der Chemilumineszenz | 421 |
| 15.5 | Fragen und Aufgaben | 422 |
| 15.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 425 |
| 16 | Einführung in die Infrarotspektrometrie | 427 |
| 16.1 | Theorie der IR-Absorptionsspektrometrie | 428 |
| 16.1.1 | Einführung | 428 |
| 16.1.2 | Mechanisches Modell einer Streckschwingung in einem zweiatomigen Molekül | 430 |
| 16.1.3 | Quantentheoretische Behandlung der Schwingung | 431 |
| 16.1.4 | Schwingungsformen | 433 |
| 16.1.5 | Schwingungskopplung | 434 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 16.2 | IR-Geräteausstattung | 435 |
| 16.2.1 | Fourier-Transform-Spektrometer | 435 |
| 16.2.2 | Dispersive Geräte | 440 |
| 16.2.3 | Nichtdispersive Geräte | 443 |
| 16.3 | IR-Quellen und Messwertwandler | 444 |
| 16.3.1 | IR-Quellen | 444 |
| 16.3.2 | IR-Messumformer (IR-Transducer) | 446 |
| 16.4 | Fragen und Aufgaben | 448 |
| 16.4.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 449 |
| 17 | Anwendungen der Infrarotspektrometrie | 451 |
| 17.1 | Absorptionsspektrometrie im mittleren IR-Bereich | 451 |
| 17.1.1 | Probenhandhabung | 451 |
| 17.1.2 | Qualitative Analyse | 455 |
| 17.1.3 | Quantitative Anwendungen | 461 |
| 17.2 | Reflexionsspektrometrie im mittleren IR-Bereich | 464 |
| 17.2.1 | Reflexionsarten | 464 |
| 17.2.2 | Diffuse Reflexionsspektrometrie | 465 |
| 17.2.3 | Abgeschwächte Totalreflexionsspektrometrie (ATR-Spektrometrie) | 466 |
| 17.3 | Photoakustische IR-Spektroskopie | 467 |
| 17.3.1 | Der Photoakustische Effekt | 467 |
| 17.3.2 | Photoakustische IR-Spektren | 468 |
| 17.4 | Nahinfrarot(NIR)-Spektroskopie | 468 |
| 17.4.1 | Geräteausstattung | 468 |
| 17.4.2 | Datenverarbeitung in der NIR-Spektrometrie | 469 |
| 17.4.3 | Anwendungen der NIR-Absorptionsspektrometrie | 470 |
| 17.4.4 | Anwendungen der NIR-Reflexionsspektrometrie | 470 |
| 17.5 | Ferninfrarotspektroskopie | 471 |
| 17.6 | IR-Emissionsspektroskopie | 471 |
| 17.7 | IR-Mikroskopie | 472 |
| 17.8 | Fragen und Aufgaben | 472 |
| 17.8.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 474 |
| 18 | Raman-Spektroskopie | 475 |
| 18.1 | Theorie der Raman-Spektroskopie | 475 |
| 18.1.1 | Anregung von Raman-Spektren | 475 |
| 18.1.2 | Mechanismus der Raman- und Rayleigh-Streuung | 477 |
| 18.1.3 | Wellenmodell der Raman- und der Rayleigh-Streuung | 478 |
| 18.1.4 | Intensität normaler Raman-Banden | 480 |
| 18.1.5 | Raman-Depolarisationsverhältnis | 480 |
| 18.2 | Instrumentelle Ausrüstung | 481 |
| 18.2.1 | Laserquellen | 481 |
| 18.2.2 | System zur Bestrahlung der Probe | 482 |
| 18.2.3 | Raman-Spektrometer | 484 |
| 18.3 | Anwendungen der Raman-Spektroskopie | 486 |
| 18.3.1 | Raman-Spektren von anorganischen Verbindungen | 486 |
| 18.3.2 | Raman-Spektren von organischen Verbindungen | 486 |
| 18.3.3 | Biologische Anwendungen der Raman-Spektroskopie | 487 |
| 18.3.4 | Quantitative Anwendungen | 487 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 18.4 | Andere Raman-Spektroskopietypen | 487 |
| 18.4.1 | Resonanz-Raman-Spektroskopie | 487 |
| 18.4.2 | Oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie | 488 |
| 18.4.3 | Nichtlineare Raman-Spektroskopie | 489 |
| 18.5 | Fragen und Aufgaben | 489 |
| 18.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 490 |
| 19 | Kernresonanzspektroskopie (NMR) | 491 |
| 19.1 | Theorie der Kernresonanz | 492 |
| 19.1.1 | Quantenmechanische Beschreibung der NMR | 492 |
| 19.1.2 | Klassische Beschreibung der NMR | 494 |
| 19.1.3 | Fourier-Transform-NMR | 497 |
| 19.1.4 | NMR-Spektrentypen | 502 |
| 19.2 | Einfluss der chemischen Umgebung auf NMR-Spektren | 502 |
| 19.2.1 | Einflussarten der chemischen Umgebung | 503 |
| 19.2.2 | Theorie der chemischen Verschiebung | 505 |
| 19.2.3 | Spin-Spin-Aufspaltung | 507 |
| 19.2.4 | Doppelresonanztechniken | 512 |
| 19.3 | NMR-Spektrometer | 512 |
| 19.3.1 | Bauteile eines Fourier-Transform-NMR-Spektrometers | 513 |
| 19.3.2 | Magneten | 514 |
| 19.3.3 | Die Probensonde | 515 |
| 19.3.4 | Detektor- und Datenverarbeitungssystem | 515 |
| 19.3.5 | Probenhandhabung | 516 |
| 19.4 | Anwendungen der ^1H -NMR | 517 |
| 19.4.1 | Identifikation von Verbindungen | 517 |
| 19.4.2 | Anwendung der NMR in der quantitativen Analyse | 519 |
| 19.5 | ^{13}C -NMR-Spektroskopie | 520 |
| 19.5.1 | Protonenkopplung | 521 |
| 19.5.2 | Einsatz der ^{13}C -NMR bei der Strukturaufklärung | 523 |
| 19.6 | Einsatz der NMR bei anderen Kernen | 524 |
| 19.6.1 | Phosphor-31 | 525 |
| 19.6.2 | Fluor-19 | 525 |
| 19.7 | Multipuls- und mehrdimensionale NMR | 525 |
| 19.7.1 | Multipuls-NMR | 525 |
| 19.7.2 | Zweidimensionale NMR | 526 |
| 19.7.3 | Multidimensionale NMR | 527 |
| 19.8 | Magnetresonanztomographie (MRT) | 528 |
| 19.9 | Fragen und Aufgaben | 533 |
| 19.9.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 536 |
| 20 | Molekülmassenspektrometrie | 539 |
| 20.1 | Molekülmassenspektren | 540 |
| 20.2 | Ionenquellen | 540 |
| 20.2.1 | Die Elektronenstoßionenquelle | 542 |
| 20.2.2 | Chemische Ionisationsquellen und Spektren | 545 |
| 20.2.3 | Feldionisationsquellen und Spektren | 546 |
| 20.2.4 | Desorptionsquellen | 547 |
| 20.3 | Massenspektrometer | 551 |
| 20.3.1 | Grundlegende Darstellung der Gerätekomponenten | 551 |
| 20.3.2 | Probeneinlasssysteme | 552 |
| 20.3.3 | Massenanalytoren | 553 |
| 20.3.4 | Fourier-Transform-Spektrometer | 558 |

| | | |
|--|---|------------|
| 20.3.5 | Tandem-Massenspektrometrie | 561 |
| 20.3.6 | Computergesteuerte Massenspektrometer | 564 |
| 20.4 | Anwendungen der Molekülmassenspektrometrie | 566 |
| 20.4.1 | Identifikation reiner Verbindungen | 566 |
| 20.4.2 | Analyse von Mischungen mit kombinierten MS-Methoden | 569 |
| 20.5 | Quantitative Anwendungen der Massenspektrometrie | 570 |
| 20.5.1 | Quantitative Bestimmung von Molekülverbindungen | 570 |
| 20.6 | Fragen und Aufgaben | 572 |
| 20.6.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 573 |
| 21 | Charakterisierung von Oberflächen mit der Spektroskopie und der Mikroskopie | 575 |
| 21.1 | Einführung in die Untersuchung von Oberflächen | 575 |
| 21.1.1 | Definition einer festen Oberfläche | 575 |
| 21.1.2 | Oberflächenmesstechnikarten | 575 |
| 21.2 | Spektroskopische Oberflächenmethoden | 576 |
| 21.2.1 | Spektroskopische Oberflächenexperimente | 576 |
| 21.2.2 | Abtastung der Oberflächen | 576 |
| 21.2.3 | Oberflächenumgebung | 577 |
| 21.3 | Elektronenspektroskopie | 578 |
| 21.3.1 | Röntgenphotoelektronenspektroskopie | 578 |
| 21.3.2 | Auger-Elektronenspektroskopie | 583 |
| 21.3.3 | Elektronenenergieverlustspektroskopie | 587 |
| 21.4 | Ionenspektroskopische Methoden | 588 |
| 21.4.1 | Sekundär-Ionen-Massenspektrometrie | 588 |
| 21.4.2 | Ionenstreuung- und Rutherford-Rückstreuung-Spektroskopie | 589 |
| 21.4.3 | Lasermikrosonden-Massenspektrometrie | 590 |
| 21.5 | Oberflächenphotonenspektroskopische Methoden | 590 |
| 21.5.1 | Oberflächenplasmonenresonanz | 590 |
| 21.5.2 | Summenfrequenzspektroskopie | 591 |
| 21.5.3 | Ellipsometrie | 592 |
| 21.6 | Elektronenstimulierte Mikroanalysenmethoden | 593 |
| 21.6.1 | Die Elektronenmikrosonde | 593 |
| 21.6.2 | Rasterelektronenmikroskopie | 594 |
| 21.7 | Rastersondenmikroskope | 600 |
| 21.7.1 | Das Rastertunnelmikroskop | 601 |
| 21.7.2 | Das Rasterkraftmikroskop | 603 |
| 21.8 | Fragen und Aufgaben | 607 |
| 21.8.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 608 |
| 21.9 | Instrumentelle Analytik im Einsatz: Bewertung der Echtheit der Vinland-Karte: Oberflächenanalyse im Dienst der Geschichtswissenschaft, Kunst und Forensik | 608 |
| 21.9.1 | Die Vinland-Karte | 608 |
| 21.9.2 | Instrumentelle Techniken | 609 |
| 21.9.3 | Die analytische Perspektive | 610 |
| Teil IV Elektroanalytische Chemie | | |
| 22 | Einführung in die elektroanalytische Chemie | 613 |
| 22.1 | Elektrochemische Zellen | 613 |
| 22.1.1 | Stromtransport in einer Zelle | 614 |
| 22.1.2 | Galvanische und elektrolytische Zellen | 614 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 22.1.3 | Anoden und Kathoden | 614 |
| 22.1.4 | Zellen ohne Flüssigkeitsgrenzschichten | 615 |
| 22.1.5 | Die Struktur der Lösung: die elektrische Doppelschicht | 616 |
| 22.1.6 | Faraday'sche und Nicht-Faraday'sche Ströme | 617 |
| 22.1.7 | Massentransport in Zellen mit Stromdurchgang | 618 |
| 22.1.8 | Schematische Darstellung der Zellen | 618 |
| 22.2 | Potenziale in elektroanalytischen Zellen | 618 |
| 22.2.1 | Thermodynamik der Zellpotenziale | 618 |
| 22.2.2 | Grenz- oder Diffusionspotenziale | 619 |
| 22.3 | Elektrodenpotenziale | 620 |
| 22.3.1 | Beschaffenheit von Elektrodenpotenzialen | 621 |
| 22.3.2 | Die Standardwasserstoffelektrode | 621 |
| 22.3.3 | Geeignete Referenzelektroden | 622 |
| 22.3.4 | Definition des elektrochemischen Potentials | 623 |
| 22.3.5 | Vorzeichenkonvention für Elektrodenpotenziale | 623 |
| 22.3.6 | Einfluss der Aktivität auf das Elektrodenpotenzial | 625 |
| 22.3.7 | Das Standardelektrodenpotenzial, E^0 | 625 |
| 22.3.8 | Messung von Elektrodenpotenzialen | 626 |
| 22.3.9 | Die Berechnung von Elektrodenpotenzialen aus den Standardelektrodenpotenzialen | 627 |
| 22.3.10 | Elektrodenpotenziale in Gegenwart von Niederschlägen und Komplexbildnern | 628 |
| 22.3.11 | Einige Einschränkungen bei der Verwendung von Standardelektrodenpotenzialen | 629 |
| 22.4 | Die Berechnung von Zellpotenzialen aus Elektrodenpotenzialen | 630 |
| 22.5 | Ströme in elektrochemischen Zellen | 632 |
| 22.5.1 | Ohm'scher Spannungsabfall | 633 |
| 22.5.2 | Polarisation | 633 |
| 22.5.3 | Mechanismen des Massentransports | 636 |
| 22.5.4 | Durchtrittspolarisation | 637 |
| 22.6 | Elektroanalytische Methoden | 637 |
| 22.7 | Fragen und Aufgaben | 638 |
| 22.7.1 | Anspruchsvolle Aufgaben | 640 |
| 23 | Potenziometrie | 643 |
| 23.1 | Grundlagen | 643 |
| 23.2 | Bezugs- oder Referenzelektroden | 644 |
| 23.2.1 | Die Kalomelektrode | 644 |
| 23.2.2 | Die Silber/Silberchloridelektrode | 645 |
| 23.2.3 | Worauf man bei der Verwendung von Bezugselektroden achten sollte | 646 |
| 23.3 | Metallelektroden | 646 |
| 23.3.1 | Elektroden erster Art | 646 |
| 23.3.2 | Elektroden der zweiten Art | 647 |
| 23.3.3 | Elektroden der dritten Art | 647 |
| 23.3.4 | Redoxelektroden | 648 |
| 23.4 | Membranelektroden | 648 |
| 23.4.1 | Einteilung der Membranen | 648 |
| 23.4.2 | Eigenschaften ionenselektiver Membranen | 649 |
| 23.4.3 | Die Glaselektrode zur Messung des pH-Werts | 649 |
| 23.4.4 | Glaselektroden für andere Kationen | 654 |
| 23.4.5 | Kristalline Membranelektroden | 655 |
| 23.4.6 | Flüssigmembranelektroden | 656 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 23.5 | Ionenselektive Feldeffekttransistoren | 659 |
| 23.5.1 | Mechanismus des ionenselektiven Verhaltens von ISFETs | 659 |
| 23.5.2 | Anwendungen der ISFETs | 659 |
| 23.6 | Molekülselektive Elektrodensysteme | 660 |
| 23.6.1 | Gassensitive Messsonden | 660 |
| 23.6.2 | Biosensoren | 662 |
| 23.7 | Geräte zur Messung von Zellpotenzialen | 666 |
| 23.7.1 | Direktanzeigende Geräte | 667 |
| 23.7.2 | Kommerzielle Geräte | 667 |
| 23.8 | Direktpotenziometrische Messungen | 668 |
| 23.8.1 | Vorzeichenkonvention und Gleichungen in der Direktpotenziometrie | 668 |
| 23.8.2 | Verfahren der Elektrodenkalibrierung | 669 |
| 23.8.3 | Kalibrierkurven zur Konzentrationsmessung | 670 |
| 23.8.4 | Das Standardadditionsverfahren | 671 |
| 23.8.5 | Potenziometrische pH-Messungen mit einer Glaselektrode | 671 |
| 23.9 | Potenziometrische Titrationsen | 674 |
| 23.10 | Fragen und Aufgaben | 674 |
| 23.10.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 677 |
| 24 | Coulometrie | 679 |
| 24.1 | Strom-Spannungs-Kurven während der Elektrolyse | 679 |
| 24.1.1 | Betrieb der Zelle bei konstanter äußerer Spannung | 680 |
| 24.1.2 | Elektrolyse bei konstantem Strom | 681 |
| 24.1.3 | Elektrolyse bei konstantem Potenzial der Arbeitselektrode (potenziostatische Elektrolyse) | 682 |
| 24.2 | Einführung in die coulometrischen Analysenmethoden | 683 |
| 24.2.1 | Elektrizitäts- oder Ladungsmenge | 683 |
| 24.2.2 | Coulometrische Verfahrensarten | 684 |
| 24.3 | Potenziostatische Coulometrie | 685 |
| 24.3.1 | Geräteausstattung | 685 |
| 24.3.2 | Anwendungen | 688 |
| 24.4 | Coulometrische Titrationsen | 688 |
| 24.4.1 | Geräteausstattung | 689 |
| 24.4.2 | Anwendungen der coulometrischen Titration | 690 |
| 24.5 | Fragen und Aufgaben | 693 |
| 24.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 695 |
| 25 | Voltammetrie | 697 |
| 25.1 | Signalformen in der Voltammetrie | 698 |
| 25.2 | Geräteausstattung der Voltammetrie | 698 |
| 25.2.1 | Arbeitselektroden | 700 |
| 25.2.2 | Modifizierte Elektroden | 701 |
| 25.2.3 | Voltammogramme | 702 |
| 25.2.4 | Schaltkreismodell einer Arbeitselektrode | 703 |
| 25.3 | Hydrodynamische Voltammetrie | 704 |
| 25.3.1 | Konzentrationsprofile an der Elektrodenoberfläche | 705 |
| 25.3.2 | Voltammetrische Ströme | 707 |
| 25.3.3 | Sauerstoffstufen | 710 |
| 25.3.4 | Anwendungen der hydrodynamischen Voltammetrie | 710 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 25.4 | Zyklische Voltammetrie | 717 |
| 25.4.1 | Grundlagenuntersuchungen | 719 |
| 25.4.2 | Bestimmung von Analyten mittels zyklischer Voltammetrie . . . | 720 |
| 25.4.3 | Digitale Simulation zyklischer Voltammogramme | 721 |
| 25.5 | Puls-Voltammetrie | 722 |
| 25.5.1 | Differenzial-Puls-Voltammetrie | 722 |
| 25.5.2 | Rechteckwellen-Voltammetrie | 724 |
| 25.6 | Hochfrequenz- und Hochgeschwindigkeitsvoltammetrie | 724 |
| 25.6.1 | Fourier-Transform-Voltammetrie | 724 |
| 25.6.2 | Schnell abtastende zyklische Voltammetrie | 725 |
| 25.6.3 | Nanosekunden-Voltammetrie | 725 |
| 25.7 | Anwendungen der Voltammetrie | 726 |
| 25.7.1 | Anwendungen in der anorganischen Chemie | 726 |
| 25.7.2 | Organische voltammetrische Analyse | 726 |
| 25.8 | Stripping-Methoden | 727 |
| 25.8.1 | Elektrodepositionsschritt | 728 |
| 25.8.2 | Voltammetrische Ausführung der Analyse | 729 |
| 25.8.3 | Adsorptive Stripping-Methoden | 729 |
| 25.9 | Voltammetrie mit Mikroelektroden | 730 |
| 25.9.1 | Voltammetrische Ströme an Mikroelektroden | 731 |
| 25.9.2 | Anwendungen der Mikroelektroden | 732 |
| 25.9.3 | Elektrochemisches Rasterkraftmikroskop | 732 |
| 25.10 | Fragen und Aufgaben | 733 |
| 25.10.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 735 |
| 25.11 | Instrumentelle Analytik im Einsatz – Bestimmen der Teile, um das Ganze zu verstehen: das Mikrophysiometer | 735 |
| 25.11.1 | Wie das System arbeitet | 736 |
| 25.11.2 | Untersuchung des Einflusses von Arzneiwirkstoffen auf lebende Zellen | 738 |

Teil V Trennmethoden

| | | |
|-----------|---|------------|
| 26 | Einführung in chromatographische Trennmethoden | 743 |
| 26.1 | Allgemeine Beschreibung der Chromatographie | 743 |
| 26.1.1 | Einteilung der chromatographischen Methoden | 744 |
| 26.1.2 | Elution in der Säulenchromatographie | 744 |
| 26.2 | Wanderungsgeschwindigkeit der gelösten Substanzen | 746 |
| 26.2.1 | Verteilungskonstanten | 746 |
| 26.2.2 | Retentionszeit | 747 |
| 26.2.3 | Die Beziehung zwischen dem Volumenstrom und der linearen Durchflussgeschwindigkeit | 748 |
| 26.2.4 | Die Beziehung zwischen der Retentionszeit und der Verteilungskonstante | 748 |
| 26.2.5 | Die Wanderungsgeschwindigkeit des gelösten Stoffes: Der Retentionsfaktor | 748 |
| 26.2.6 | Relative Wanderungsgeschwindigkeiten: der Selektivitätsfaktor . | 749 |
| 26.3 | Bandenverbreiterung und Effizienz einer Säule | 749 |
| 26.3.1 | Kinetische Theorie der Chromatographie | 749 |
| 26.3.2 | Quantitative Beschreibung der Säuleneffizienz | 750 |
| 26.3.3 | Kinetische Variablen, die die Leistung der Säule beeinflussen . . | 752 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 26.4 | Optimierung der Säulenleistung | 756 |
| 26.4.1 | Chromatographische Auflösung einer Säule | 756 |
| 26.4.2 | Einfluss der Retentions- und der Selektivitätsfaktoren auf die Auflösung | 756 |
| 26.4.3 | Einfluss der Auflösung auf die Retentionszeit | 757 |
| 26.4.4 | Variablen, die die Säulenleistung beeinträchtigen | 758 |
| 26.4.5 | Das generelle Elutionsproblem | 761 |
| 26.5 | Zusammenfassung der chromatographischen Beziehungen | 761 |
| 26.6 | Anwendungen der Chromatographie | 762 |
| 26.6.1 | Qualitative Analyse | 762 |
| 26.6.2 | Quantitative Analyse | 763 |
| 26.7 | Fragen und Aufgaben | 764 |
| 26.7.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 766 |
| 27 | Gaschromatographie | 767 |
| 27.1 | Grundlagen der GLC | 767 |
| 27.1.1 | Retentionsvolumina | 767 |
| 27.1.2 | Die Beziehung zwischen V_R und K | 768 |
| 27.1.3 | Einfluss der Fließgeschwindigkeit der mobilen Phase | 768 |
| 27.2 | Geräte für die Gaschromatographie | 768 |
| 27.2.1 | Trägersystem | 769 |
| 27.2.2 | Probeneinlasssysteme | 769 |
| 27.2.3 | Säulenbeschaffenheit und Säulenöfen | 770 |
| 27.2.4 | Detektionssysteme | 771 |
| 27.3 | Gaschromatographiesäulen und stationäre Phasen | 779 |
| 27.3.1 | Kapillarsäulen („offene“ Säulen) | 780 |
| 27.3.2 | Gepackte Säulen | 780 |
| 27.3.3 | Adsorption an den Säulenpackungen und den Kapillarwänden | 781 |
| 27.3.4 | Die stationäre Phase | 782 |
| 27.4 | Anwendungen der Gaschromatographie | 784 |
| 27.4.1 | Qualitative Analyse | 784 |
| 27.4.2 | Quantitative Analyse | 786 |
| 27.5 | Fortschritte in der Gaschromatographie | 786 |
| 27.5.1 | Hochgeschwindigkeitsgaschromatographie | 786 |
| 27.5.2 | Miniaturisierte GC-Systeme | 787 |
| 27.6 | Gas-Fest-Chromatographie (GSC) | 788 |
| 27.6.1 | Molekularsiebe | 788 |
| 27.6.2 | Poröse Polymere | 789 |
| 27.7 | Fragen und Aufgaben | 789 |
| 27.7.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 790 |
| 28 | Flüssigchromatographie | 793 |
| 28.1 | Der Einsatzbereich der HPLC | 793 |
| 28.2 | Die Säulenleistung der LC | 795 |
| 28.2.1 | Einfluss der Partikelgröße der Packung | 795 |
| 28.2.2 | Säulenexterne Bandenverbreiterung in der LC | 795 |
| 28.3 | LC-Geräteausstattung | 796 |
| 28.3.1 | Vorratsbehälter für die mobile Phase und Systeme für die Lösemittelversorgung | 796 |
| 28.3.2 | Pumpensysteme | 797 |
| 28.3.3 | Probeneinspritzsysteme | 798 |
| 28.3.4 | HPLC-Säulen | 799 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 28.3.5 | Säulenpackungen | 800 |
| 28.3.6 | Detektoren | 800 |
| 28.4 | Verteilungschromatographie | 805 |
| 28.4.1 | Säulen für die Chromatographie an chemisch gebundenen Phasen | 806 |
| 28.4.2 | Methodenentwicklung in der Verteilungschromatographie | 808 |
| 28.4.3 | Anwendungen der Verteilungschromatographie | 812 |
| 28.5 | Adsorptionschromatographie | 815 |
| 28.6 | Ionenchromatographie | 815 |
| 28.6.1 | Gleichgewichte an Ionenaustauschern | 816 |
| 28.6.2 | Ionenaustauscherpackungen | 817 |
| 28.6.3 | Anorganische Ionenchromatographie | 818 |
| 28.6.4 | Anwendung der Ionenchromatographie auf organische und biochemische Proben | 820 |
| 28.6.5 | Ionenausschlusschromatographie | 820 |
| 28.7 | Größenausschlusschromatographie (SEC) | 821 |
| 28.7.1 | Säulenpackungen | 821 |
| 28.7.2 | Theorie der Ausschlusschromatographie | 821 |
| 28.7.3 | Anwendungen der Ausschlusschromatographie | 823 |
| 28.8 | Affinitätschromatographie | 824 |
| 28.9 | Dünnschichtchromatographie | 824 |
| 28.9.1 | Der Einsatzbereich der Dünnschichtchromatographie | 825 |
| 28.9.2 | Grundlagen der Dünnschichtchromatographie (DC) | 825 |
| 28.9.3 | Leistungsmerkmale von Dünnschichtplatten | 826 |
| 28.9.4 | Anwendungen | 827 |
| 28.10 | Fragen und Aufgaben | 828 |
| 28.10.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 830 |
| 29 | Überkritische Fluidchromatographie und Fluidextraktion | 831 |
| 29.1 | Eigenschaften von überkritischen Flüssigkeiten | 831 |
| 29.2 | Überkritische Fluidchromatographie | 832 |
| 29.2.1 | Geräteausstattung und Betriebsvariablen | 832 |
| 29.2.2 | Vergleich der SFC mit anderen chromatographischen Verfahren | 834 |
| 29.2.3 | Anwendungen | 835 |
| 29.3 | Überkritische Fluidextraktion | 837 |
| 29.3.1 | Vorteile der überkritischen Fluidextraktion | 837 |
| 29.3.2 | Geräteausstattung und Messtechnik | 838 |
| 29.3.3 | Wahl des überkritischen Fluids | 839 |
| 29.3.4 | Off-line- und On-line-Extraktion | 839 |
| 29.3.5 | Typische Anwendungen | 839 |
| 29.4 | Fragen und Aufgaben | 840 |
| 29.4.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 840 |
| 30 | Kapillarelektrophorese, Kapillarelektrochromatographie und Feldflussfraktionierung | 843 |
| 30.1 | Ein Überblick über die Elektrophorese | 843 |
| 30.1.1 | Elektrophoresearten | 844 |
| 30.1.2 | Die Grundlagen der elektrophoretischen Trennung | 844 |
| 30.2 | Kapillarelektrophorese | 844 |
| 30.2.1 | Wanderungsgeschwindigkeiten in der Kapillarelektrophorese | 845 |
| 30.2.2 | Bodenhöhe in der Kapillarelektrophorese | 845 |
| 30.2.3 | Elektroosmotischer Fluss | 845 |
| 30.2.4 | Apparaturen für die CE | 847 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 30.3 | Anwendungen der CE | 851 |
| 30.3.1 | Kapillaronenelektrophorese | 851 |
| 30.3.2 | Kapillargelelektrophorese | 853 |
| 30.3.3 | Kapillarisotachophorese | 855 |
| 30.3.4 | Isoelektrische Fokussierung in Kapillaren | 855 |
| 30.3.5 | Mizellare elektrokinetische Chromatographie | 858 |
| 30.4 | Elektrochromatographie mit gepackten Säulen | 859 |
| 30.5 | Feldflussfraktionierung | 859 |
| 30.5.1 | Trennmechanismen | 860 |
| 30.5.2 | Methoden der Feldflussfraktionierung | 861 |
| 30.5.3 | Vorteile der Feldflussfraktionierung im Vergleich zu chromatographischen Methoden | 862 |
| 30.6 | Fragen und Aufgaben | 863 |
| 30.6.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 863 |
| 30.7 | Instrumentelle Analytik im Einsatz: Acrylamide entdecken | 864 |
| 30.7.1 | Einführung | 864 |
| 30.7.2 | Analytische Verfahren für Acrylamid | 864 |
| 30.7.3 | Die GC/MS-Verfahren | 864 |
| 30.7.4 | LC/MS-Verfahren | 864 |
| 30.7.5 | Online-Erfassung | 865 |
| 30.7.6 | Ringversuche von Laboratorien | 865 |
| 30.7.7 | Die Ursache für Acrylamid in Lebensmitteln und in der Umwelt | 866 |
| 30.7.8 | Untersuchungen des Gesundheitsrisikos | 866 |
| 30.7.9 | Zukunftsaussichten | 866 |

Teil VI Verschiedene Methoden

| | | |
|-----------|---|------------|
| 31 | Thermische Methoden | 869 |
| 31.1 | Thermogravimetrische Analyse | 869 |
| 31.1.1 | Messgeräteausrüstung | 869 |
| 31.1.2 | Anwendungen | 871 |
| 31.2 | Differenzialthermoanalyse | 872 |
| 31.2.1 | Geräteausstattung | 873 |
| 31.2.2 | Allgemeine Grundlagen | 874 |
| 31.2.3 | Anwendungen | 874 |
| 31.3 | Dynamische Differenzialkalorimetrie (DSC) | 875 |
| 31.3.1 | Geräteausstattung | 875 |
| 31.3.2 | Anwendungen | 878 |
| 31.4 | Mikrothermische Analyse | 879 |
| 31.5 | Fragen und Aufgaben | 881 |
| 31.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 882 |
| 32 | Radiochemische Methoden | 885 |
| 32.1 | Radioaktive Nuklide | 885 |
| 32.1.1 | Radioaktive Zerfallsprodukte | 886 |
| 32.1.2 | Zerfallsprozesse | 886 |
| 32.1.3 | Radioaktive Zerfallsraten | 887 |
| 32.1.4 | Zählstatistiken | 888 |
| 32.2 | Geräteausstattung | 891 |
| 32.2.1 | Messung von Alphateilchen | 891 |
| 32.2.2 | Messung von Betateilchen | 891 |
| 32.2.3 | Messung von Gammastrahlung | 892 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 32.3 | Neutronenaktivierungsmethoden | 893 |
| 32.3.1 | Neutronen und Neutronenquelle | 893 |
| 32.3.2 | Wechselwirkungen von Neutronen mit Materie | 894 |
| 32.3.3 | Theorie der Aktivierungsmethoden | 895 |
| 32.3.4 | Experimentelle Vorgaben für die Aktivierungsmethoden | 896 |
| 32.3.5 | Anwendung der Neutronenaktivierung | 897 |
| 32.4 | Isotopenverdünnungsmethoden | 898 |
| 32.4.1 | Grundlagen des Isotopenverdünnungsprozesses | 899 |
| 32.4.2 | Anwendungsbereiche der Isotopenverdünnungsmethode | 899 |
| 32.5 | Fragen und Aufgaben | 900 |
| 32.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 901 |
| 33 | Automatisierte Analysenmethoden | 903 |
| 33.1 | Übersicht | 903 |
| 33.1.1 | Vor- und Nachteile automatischer Analysen | 903 |
| 33.1.2 | Automatische Analysensystemtypen | 905 |
| 33.2 | Fließinjektionsanalyse | 905 |
| 33.2.1 | Geräteausstattung | 906 |
| 33.2.2 | Grundlagen der Fließinjektionsanalyse | 908 |
| 33.2.3 | Anwendungen der Fließinjektionsanalyse | 910 |
| 33.2.4 | Varianten der Fließinjektionsanalyse | 913 |
| 33.3 | Mikrofluidiktechnik | 914 |
| 33.4 | Diskrete automatische Systeme | 915 |
| 33.4.1 | Automatische Probennahme und Probendefinierung bei Flüssigkeiten und Gasen | 916 |
| 33.4.2 | Roboter | 917 |
| 33.4.3 | Diskrete klinische Analysengeräte | 918 |
| 33.4.4 | Automatische Elementaranalysatoren für Organische Verbindungen | 920 |
| 33.5 | Fragen und Aufgaben | 921 |
| 33.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 922 |
| 34 | Partikelgrößenbestimmung | 923 |
| 34.1 | Einführung in die Partikelgrößenanalyse | 923 |
| 34.2 | Kleinwinkellaserlichtstreuung | 924 |
| 34.2.1 | Geräteausstattung | 924 |
| 34.2.2 | Theoretische Modelle | 925 |
| 34.2.3 | Anwendungen | 927 |
| 34.3 | Dynamische Lichtstreuung | 928 |
| 34.3.1 | Grundlagen | 928 |
| 34.3.2 | Geräteausstattung | 930 |
| 34.3.3 | Anwendungen | 931 |
| 34.4 | Photosedimentation | 931 |
| 34.4.1 | Sedimentationsgeschwindigkeit und Partikelgröße | 931 |
| 34.4.2 | Geräteausstattung | 932 |
| 34.4.3 | Anwendungen | 934 |
| 34.5 | Fragen und Aufgaben | 934 |
| 34.5.1 | Anspruchsvolle Aufgabe | 935 |
| 34.6 | Instrumentelle Analytik im Einsatz: Der Fall „John Vollman“ | 935 |
| 34.6.1 | Einführung | 935 |
| 34.6.2 | Der Fall | 935 |
| 34.6.3 | Der Beweis | 936 |
| 34.6.4 | Die Neutronenaktivierungsanalyse | 936 |

| | | |
|---|--|------------|
| 34.6.5 | Der Prozess | 936 |
| 34.6.6 | Neutronenaktivierungsanalyse in der Forensik | 937 |
| Anhang A: Auswertung analytischer Daten | | 939 |
| A.1 | Präzision und Messgenauigkeit | 939 |
| A.1.1 | Präzision (Wiederholgenauigkeit) | 939 |
| A.1.2 | Messgenauigkeit | 939 |
| A.2 | Statistische Behandlung von Zufallsfehlern | 943 |
| A.2.1 | Grundgesamtheiten und Stichproben | 943 |
| A.2.2 | Vertrauensgrenzen | 948 |
| A.2.3 | Fortpflanzung von Messungenauigkeiten (Fehlerfortpflanzung) | 952 |
| A.3 | Statistische Tests (Hypothesentests) | 956 |
| A.4 | Die Methode der kleinsten Quadrate | 958 |
| A.4.1 | Annahmen der Methode der kleinsten Quadrate | 958 |
| A.4.2 | Ermitteln der Linie mit den kleinsten quadratischen Abweichungen (Ausgleichsgerade) | 959 |
| A.5 | Fragen und Aufgaben | 961 |
| Anhang B: Aktivitätskoeffizienten | | 965 |
| B.1 | Eigenschaften von Aktivitätskoeffizienten | 965 |
| B.2 | Experimentelle Ermittlung von Aktivitätskoeffizienten | 966 |
| B.3 | Die Debye-Hückel-Gleichung | 966 |
| Anhang C: Einige Standard- und formale Elektrodenpotenziale | | 969 |
| Anhang D: Empfohlene Verbindungen zur Herstellung von Standardlösungen einiger gebräuchlicher Elemente | | 973 |
| Lösungen zu ausgewählten Aufgaben | | 975 |
| Sachverzeichnis | | 983 |