

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	Molekülumineszenzspektroskopie	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 Analysenmethoden	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: <i>RC</i> -Reihenschaltungen	34
2.2.4	Ansprechverhalten von <i>RC</i> -Reihenschaltungen auf sinusförmige Eingangssignale	37
2.2.5	Filter auf Basis von <i>RC</i> -Schaltungen	40
2.2.6	Verhalten von <i>RC</i> -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	Titrationenkurven	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	Molekülumineszenzspektroskopie	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-Spektroskope	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	Protonenentkopplung	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	Massenanalysatoren	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 Potenzials	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 Trennmethode

26	Einführung in chromatographische Trennmethode	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	Tränergassystem	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	Kapillarzonelektrophorese	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