

Inhaltsverzeichnis

Vorwort XI

1	Grundlagen der Analytischen Chemie	1
1.1	Gegenstand und Bedeutung in der Gesellschaft	1
1.1.1	Historisches	1
1.1.2	Der Analytiker als wissenschaftlicher Detektiv	2
1.1.3	Aufgabenbereiche der Analytik	3
1.2	Der analytische Prozess	8
1.2.1	Probenahme	9
1.2.2	Probenvorbereitung	13
1.2.3	Messung	17
1.2.4	Auswertung und Bericht	17
1.3	Analytische Kenngrößen, statistische Bewertung und Qualitätssicherung	18
1.3.1	Kalibrierung eines Analysenverfahrens	18
1.3.2	Statistische Bewertung	21
1.3.3	Selektivität	25
1.3.4	Aufwand, Zeit und Kosten	25
1.3.5	Qualitätssicherung	26
	Weiterführende Literatur	31
	Aufgaben	31
2	Methoden auf der Grundlage chemischer Reaktionen	33
2.1	Chemisches Gleichgewicht und Elektrolyte	33
2.1.1	Chemisches Gleichgewicht	33
2.1.2	Reaktionstypen	35
2.1.3	Elektrolyte	37
2.1.4	Qualitative und quantitative Analysen	38
2.2	Säure-Base-Reaktionen und Titrationsen	39
2.2.1	Säure-Base-Theorie nach Brönsted	39
2.2.2	Beschreibung von Protolysegleichgewichten	40
2.2.3	Säure-Base-Titrationsen	56
2.2.4	Titrationen in nicht-wässrigen Lösungsmitteln	65

2.3	Fällungsreaktionen für Gravimetrie, Titrimetrie und Maskierungen	66
2.3.1	Beschreibung von Fällungs- und Lösungsgleichgewichten	66
2.3.2	Anwendungen	74
2.4	Komplexbildungsreaktionen und Komplexometrie	78
2.4.1	Typen von Komplexverbindungen	78
2.4.2	Komplexstabilität	80
2.4.3	Kombination mit Fällungsreaktionen	81
2.4.4	Kombination mit Säure-Base-Reaktionen	83
2.4.5	Komplexometrische Titrationsen	86
2.5	Reduktions-Oxidations-Reaktionen und Redox titrationen	90
2.5.1	Beschreibung von Redoxreaktionen	90
2.5.2	Beeinflussung von Redoxreaktionen durch die Reaktionsbedingungen	93
2.5.3	Anwendungen	95
2.6	Extraktion und Ionenaustausch	100
2.6.1	Extraktion	101
2.6.2	Ionenaustausch	112
2.7	Kinetische Methoden	116
2.7.1	Zeitgesetze	117
2.7.2	Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit	120
2.7.3	Anwendungen	121
2.8	Thermische Methoden	123
2.8.1	TG – Thermogravimetrie	123
2.8.2	DTA – Differenz-Thermoanalyse	124
2.8.3	DSC – Differential Scanning Calorimetry	126
	Weiterführende Literatur	126
	Aufgaben	126
3	Spektroskopie	133
3.1	Grundlagen der Spektroskopie	133
3.1.1	Elektromagnetisches Spektrum und spektroskopische Methoden	134
3.1.2	Instrumentierung für die optische Spektroskopie	139
3.2	Atomspektroskopie	151
3.2.1	Theorie	151
3.2.2	Spektrenarten	152
3.2.3	Atomabsorptionsspektrometrie	159
3.2.4	Atomemissionsspektroskopie	172
3.2.5	Röntgen- und Elektronenspektroskopie	183
3.3	Optische Molekülspektroskopie	197
3.3.1	Infrarot- und Raman-Spektroskopie	197
3.3.2	UV/VIS-Spektroskopie	227
3.3.3	Lumineszenz-Spektroskopie	243
3.4	Magnetische Resonanzspektroskopie	250
3.4.1	NMR	251

3.4.2	EPR	271
3.5	Massenspektrometrie	274
3.5.1	Aufbau eines Massenspektrometers	275
3.5.2	Massenspektren von unterschiedlichen Ionenquellen	284
3.5.3	Anwendungen	291
3.6	Radiometrische Methoden	297
3.6.1	Grundlagen	297
3.6.2	Messung radioaktiver Strahlung	300
3.6.3	Anwendungen	301
	Weiterführende Literatur	304
	Aufgaben	305
4	Elektroanalytik	311
4.1	Grundlagen elektroanalytischer Verfahren	311
4.1.1	Elektroden und galvanische Zellen	311
4.1.2	Transportarten in der Lösung	317
4.1.3	Elektrolytische Leitfähigkeit	317
4.2	Konduktometrie	322
4.3	Potentiometrie	325
4.3.1	Direktpotentiometrie	326
4.3.2	Potentiometrische Titrationsen	337
4.4	Voltammetrie	338
4.4.1	Elektrochemische Prozesse	339
4.4.2	Aufzeichnung der Strom-Potentialkurven	342
4.4.3	Polarographie	343
4.4.4	Rotierende Festelektroden	349
4.4.5	Variationen voltammetrischer Methoden	350
4.4.6	Amperometrie und Voltammetrie	355
4.5	Coulometrie	361
4.5.1	Potentiostatische Coulometrie	361
4.5.2	Galvanostatische Coulometrie: coulometrische Titration	363
	Weiterführende Literatur	364
	Aufgaben	364
5	Chromatographie	367
5.1	Grundlagen chromatographischer Trennverfahren	367
5.1.1	Überblick	368
5.1.2	Entwicklung eines Chromatogramms	369
5.1.3	Kenngrößen eines Chromatogramms	371
5.1.4	Die chromatographische Theorie	374
5.1.5	Die Auflösung R_S als Maß für die Peaktrennung	379
5.1.6	Qualitative Analyse	382
5.1.7	Quantitative Analyse	383
5.2	Gaschromatographie	383
5.2.1	Retentionsdaten und Verteilungskoeffizient	384

5.2.2	Trennungen in der Gasphase	385
5.2.3	Aufbau eines Gaschromatographen	386
5.2.4	Stationäre Phasen für die Gas-Flüssig-Chromatographie	393
5.2.5	Anwendungen der Gas-Flüssig-Chromatographie	398
5.2.6	Adsorptionschromatographie	402
5.3	Flüssigchromatographie	404
5.3.1	Hochleistungsflüssigchromatographie – HPLC	404
5.3.2	Adsorptionschromatographie	423
5.3.3	Ionenchromatographie	424
5.3.4	Gelchromatographie	430
5.3.5	Dünnschichtchromatographie	435
5.4	Superkritische Flüssigchromatographie	441
5.4.1	Instrumentierung	443
5.4.2	Stationäre und mobile Phase	444
5.4.3	Detektoren	444
5.4.4	Leistungsparameter der SFC	444
5.4.5	Anwendungen	446
5.5	Elektrophorese	447
5.5.1	Klassische Elektrophorese	447
5.5.2	Weiterentwicklungen elektrophoretischer Methoden	448
5.5.3	Kapillarelektrophorese	450
5.6	Kopplungen von Chromatographie und Spektroskopie	454
5.6.1	GC/MS-Kopplung	455
5.6.2	LC/MS-Kopplung	457
5.6.3	GC/IR-Kopplung	459
5.6.4	Weitere Kopplungen	461
5.6.5	Mehrdimensionale Trennverfahren	461
	Weiterführende Literatur	466
	Aufgaben	466
6	Chemometrie	473
6.1	Statistische Grundlagen	473
6.1.1	Die Verteilung von Zufallsdaten	473
6.1.2	Statistische Prüfverfahren oder das Testen von Hypothesen	477
6.2	Signalanalyse	485
6.2.1	Signal-Rausch-Verhältnis	485
6.2.2	Analoge und digitale Filter	486
6.2.3	Signaltransformationen zur Datenfilterung	488
6.3	Multivariate Methoden	491
6.3.1	Modellierung analytischer Daten	492
6.3.2	Mustererkennung und Klassifizierung	496
	Weiterführende Literatur	503
	Aufgaben	504

7	Automatisierung und Prozessanalytik	507
7.1	Labormechanisierung	507
7.1.1	Diskrete Analysatoren	509
7.1.2	Kontinuierliche Analysatoren	512
7.1.3	Elementaranalysatoren	519
7.1.4	Laborroboter	520
7.2	Chemische Sensoren	521
7.2.1	Anforderungen und Wirkprinzipien	522
7.2.2	Elektrochemische und mikroelektronische Sensoren	524
7.2.3	Optische Sensoren	532
7.2.4	Thermische (kalorimetrische) Sensoren	540
7.2.5	Massensensitive Sensoren	541
7.2.6	Mehrkanalsensoren	543
7.3	Automatisierte Prozesskontrolle	544
7.3.1	Gebiete der Prozessanalytik	545
7.3.2	Nicht-selektive Analysenprinzipien	547
7.3.3	IR-Analysatoren	551
7.3.4	Sauerstoffanalysatoren	552
7.3.5	Prozesschromatographie	553
	Weiterführende Literatur	554
	Aufgaben	554
8	Bioanalytik	557
8.1	Proteinanalytik	557
8.1.1	Proteinreinigung	558
8.1.2	Trennungen von Proteinen	562
8.1.3	Enzymatische Methoden	571
8.1.4	Immunoassays	578
8.1.5	Proteinsequenzanalyse	583
8.1.6	Massenspektrometrie	584
8.1.7	MALDI-MS	588
8.1.8	ESI-MS	592
8.2	Nucleinsäureanalytik	594
8.2.1	Reinigung von Nucleinsäuren	595
8.2.2	Gelelektrophorese von Nucleinsäuren	595
8.2.3	DNA-Sequenzierung	597
8.2.4	LC/MS von DNA	599
8.2.5	DNA-Chip	600
	Weiterführende Literatur	602
	Aufgaben	602
9	Umwelt- und Werkstoffanalytik	605
9.1	Umweltanalytik	605
9.1.1	Einführung	605
9.1.2	Individuenanalytik	606

x | Inhaltsverzeichnis

9.1.3	Schnelltests und Langzeitexpositionsmessungen	608
9.1.4	Summen- und Gruppenparameter	610
9.1.5	Kompartimentierung und Spezifizierung	611
9.2	Werkstoffanalytik	614
9.2.1	Grundlagen	614
9.2.2	Methoden der Werkstoffanalytik	616
	Weiterführende Literatur	626
	Aufgaben	626
	Lösungen zu den Aufgaben	629
	Anhang	635
	Sachregister	647