

O. G. Koch G. A. Koch-Dedic

Handbuch der Spurenanalyse

*Die Anreicherung und Bestimmung von
Spurenelementen unter Anwendung chemischer, physikalischer
und mikrobiologischer Verfahren*

Zweite, völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage

Teil 1

Mit 125 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York 1974

Dr. techn. Dipl.-Ing. OTHMAR G. KOCH
Dr. rer. nat. GERTRUD A. KOCH-DEDIC

D-6680 Neunkirchen/Saar, Goethestraße 24

ISBN 3-540-05891-5 (in zwei Teilen) Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-05891-5 (in two parts) Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

ISBN 3-540-03174-X Erste Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-03174-X First edition Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist. © by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1964 and 1974. Library of Congress Catalog Card Number 72-83446. Printed in Germany. Satz, Druck und Bindearbeiten: Brühlsche Universitätsdruckerei Gießen

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

Inhaltsverzeichnis Teil 1

Einleitung

Allgemeine Bedeutung der Spurenelemente und der Spurenanalyse	1
Literatur	5

Allgemeiner Teil

1. Prinzip der Spurenanalyse	9
2. Maßeinheiten	11
3. Bewertung von Analysenverfahren und -ergebnissen	12
3.1. Zufälliger Fehler	12
3.2. Empfindlichkeit, Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze	19
3.2.1. Empfindlichkeit	19
3.2.2. Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze	20
3.3. Genauigkeit der Spurenanalyse	25
3.4. Analysenverfahren und Analysenergebnis	26
Literatur	27
4. Methoden zum Nachweis und zur Bestimmung von Spurenelementen	29
4.1. Spektrophotometrie	29
4.2. Spektrofluorimetrie	30
4.3. Atomabsorptionsspektrophotometrie	30
4.4. Atomfluoreszenzspektrophotometrie	31
4.5. Elektrochemische Methoden	31
4.6. Emissionsspektralanalyse	32
4.7. Flammenspektrophotometrie	33
4.8. Röntgenspektrometrie	33
4.9. Massenspektrometrie	34
4.10. Aktivierungsanalyse	34
4.11. Radiochemische Analyse, Autoradiographie	35
4.12. Gaschromatographie	35
4.13. Mikrobiologische Methoden	36
4.14. Tüpfelanalyse	36
4.15. Mikroskopie	37
4.16. Vergleich der Bestimmungsmethoden	37
4.17. Automation	45
Literatur	46
5. Methoden zur Trennung und Anreicherung von Spurenelementen	53
5.1. Chromatographie	54
5.1.1. Adsorptionschromatographie	54
5.1.2. Verteilungschromatographie	54
5.1.3. Ionenaustauschchromatographie	55
5.1.4. Gaschromatographie	56

5.2. Elektrolyse	57
5.3. Spurenfällung	57
5.4. Destillation	61
5.5. Extraktion	63
Literatur	69
6. Erhöhung der Empfindlichkeit und Senkung der Bestimmungsgrenze	74
6.1. Anreicherungsverfahren	74
6.2. Mikrochemische Arbeitstechnik	74
6.3. Chemische Reaktionen und Meßmethoden höherer Empfindlichkeit	74
6.4. Vervielfachungsreaktionen	74
6.5. Verminderung der Blindwertstreuung	76
Literatur	76
7. Arbeitstechnik	77
7.1. Arbeitsraum	77
7.2. Geräte	77
7.2.1. Einrichtung, Heizquellen	77
7.2.2. Glasgeräte	79
7.2.3. Kunststoffe	83
7.2.4. Silikone	86
7.3. Reagentien	87
7.3.1. Destilliertes Wasser	88
7.3.2. Flüssige anorganische Reagentien	92
7.3.3. Flüssige organische Reagentien	97
7.3.4. Feste Reagentien	99
7.4. Blindwert	101
7.5. Herstellung und Aufbewahrung von Stammlösungen	102
7.6. Häufige Fehlerquellen und ihre Berücksichtigung	103
7.6.1. Grenzflächenreaktionen	103
7.6.2. Die Vermeidung von Spurenelementeinschleppungen	106
7.6.3. Die Vermeidung von Spurenelementverlusten	112
7.7. Mikrochemische Arbeitstechnik	114
7.7.1. Mikrogeräte	114
7.7.1.1. Pipetten und Büretten	116
7.7.1.2. Mikromeßkolben	120
7.7.2. Photometrie	122
7.7.3. Flammenphotometrie, AAS und AFS	127
7.7.4. Elektrochemische Methoden	127
7.7.5. Emissionsspektralanalyse	128
7.8. Grundlagen und Arbeitstechnik der Bestimmungsmethoden	133
7.8.1. Photometrie, Fluorimetrie	133
7.8.1.1. Grundlagen	133
7.8.1.2. Arbeitstechnik	138
7.8.2. Flammen-, Atomabsorptions- und Atomfluoreszenzspektrophotometrie	140
7.8.2.1. Grundlagen	140
7.8.2.2. Arbeitstechnik	142
7.8.3. Emissionsspektralanalyse	143
7.8.3.1. Grundlagen	143
7.8.3.2. Arbeitstechnik	148
7.8.4. Röntgenspektrometrie	156
7.8.4.1. Grundlagen	156
7.8.4.2. Arbeitstechnik	158
7.8.5. Elektrochemische Methoden	163
7.8.5.1. Grundlagen	163
7.8.5.2. Arbeitstechnik	166
Literatur	167

Spezieller Teil

I. Vorbereitung des Probematerials

1. Menge des zu verarbeitenden Probematerials	175
2. Probenahme	175
3. Zerkleinerung	178
4. Veraschung des organischen Materials	183
4.1. Trockene Veraschung	183
4.1.1. Hochtemperaturveraschung	184
4.1.2. Tieftemperaturveraschung	188
4.2. Nasse Veraschung	188
4.2.1. Schwefelsäure	189
4.2.2. Salpetersäure	190
4.2.3. Perchlorsäure	192
4.2.4. Wasserstoffperoxid	193
4.2.5. Allgemeine Richtlinien zur Durchführung der nassen Veraschung	193
4.3. Vergleich der Veraschungsmethoden	199
5. Aufschluß des anorganischen Materials	210
6. Direkte Extraktion der Spurenelemente aus dem Probematerial	213
6.1. Organisches Material	213
6.2. Anorganisches Material	214
Literatur	215

II. Arbeitstechnik der Anreicherung

1. Extraktion	221
1.1. Geräte	221
1.1.1. Diskontinuierliche Extraktion	221
1.1.2. Kontinuierliche Extraktion	223
1.2. Durchführung der Extraktion	225
2. Spurenfällung	230
3. Ionenaustausch- und Verteilungschromatographie	231
4. Maßnahmen zur Selektivitätsänderung	233
Literatur	238

III. Arbeitsbereich der wichtigsten Anreicherungsreagentien

Vorbemerkungen	241
Literatur	257
1. Extraktion	259
1.1. Chloride	259
Literatur	264
1.2. Bromide	265
Literatur	268
1.3. Jodide	268
Literatur	270
1.4. Fluoride	270
Literatur	272

1.5. Nitrate	272
Literatur	273
1.6. Thiocyanate	274
Literatur	276
1.7. Amine	276
Literatur	282
1.8. Organische P- und P-S-Verbindungen	283
Literatur	296
1.9. Carbamatderivate	297
1.9.1. Natriumdiäthylthiocarbamat	297
1.9.2. Andere disubstituierte Carbamate	308
1.9.3. Monosubstituierte Carbamate	314
Literatur	316
1.10. Dithizon und seine Derivate	317
1.10.1. Dithizon	317
1.10.2. Di- β -naphthylthiocarbazon	324
Literatur	326
1.11. 8-Hydroxychinolin	327
Literatur	336
1.12. 8-Hydroxychinaldin	337
Literatur	340
1.13. Cupferron	340
Literatur	344
1.14. 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol	345
Literatur	346
1.15. N-Benzoyl-N-phenylhydroxylamin	347
Literatur	351
1.16. Acetylaceton	352
Literatur	353
1.17. Thenoyltrifluoraceton	354
Literatur	355
1.18. Verschiedenes	356
Literatur	357
2. Spurenfällung	358
2.1. Spurenfällung mit Schwermetallsulfiden	358
2.2. Spurenfällung mit Metallhydroxiden	359
2.3. Spurenfällung mit $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	360
2.4. Spurenfällung mit As, Se und Te	360
2.5. Spurenfällung mit Metallfluoriden	361
2.6. Spurenfällung mit AgCl , AgBr , AgI , AgIO_3 , AgSCN und AgCN	362
Literatur	363
3. Ionenaustauschchromatographie	364
Literatur	373

IV. Die Bestimmung einzelner Elemente

Einführung	375
Literatur	376
Ag — Silber	377
A. Trennungen	377
B. Dithizon	378
C. Merkurpal	383
D. Ternäre Komplexe	384
1. Di-n-Butylammoniumsalicylat-Pyrogallolrot	384
2. Phenanthrolin-Brompyrogallolrot	384
3. Phenanthrolin-2,4,5,7-Tetrabromfluorescein	385

E. Verschiedenes	385
Literatur	386
Al — Aluminium	387
A. Trennungen	387
B. Aluminon	393
C. Chromazurol	400
D. Eriochromcyanin	403
E. 8-Hydroxychinolin	410
F. Polarographie	422
G. Stilbazo	425
H. Atomabsorptionsspektrophotometrie	426
I. Verschiedenes	427
Literatur	428
As — Arsen	431
A. Trennungen	431
B. Arsenmolybdänblau-Verfahren	434
C. Dithiol	451
D. Silberdiäthylthiocarbamat	451
E. Verschiedenes	456
Literatur	457
Au — Gold	459
A. Trennungen	459
B. Bestimmung als Bromaurat	461
C. Rhodanin-Verfahren	462
D. Rhodamin B	464
E. Thio-Michler's Keton	466
F. Fuchsinfarbstoffe	467
1. Methylviolett	467
2. Kristallviolett	468
G. Tetron	468
H. Verschiedenes	470
Literatur	470
B — Bor	472
A. Trennungen	473
B. Carminsäure	478
C. Chinalizarin	480
D. Curcumin	481
E. 1,1'-Dianthrimid	495
F. Methylenblau	498
G. Emissionsspektralanalyse	502
H. Verschiedenes	503
Literatur	504
Be — Beryllium	507
A. Trennungen	507
B. Chromazurol	509
C. 8-Hydroxychinaldin	511
D. Morin	513
E. Atomabsorptionsspektrophotometrie	519
F. Emissionsspektralanalyse	520
G. Gaschromatographie	521
H. Verschiedenes	522
Literatur	522
Bi — Wismut	524
A. Trennungen	524

B. Carbamate	526
I. Natriumdiäthylthiocarbamat	526
II. Tetramethylendithiocarbamat	527
C. Dithizon	529
D. Jodid-Verfahren	537
I. Bestimmung in wäßriger Lösung	537
II. Bestimmung in organischen Lösungsmitteln	539
E. Jodid-Brucin-Verfahren	541
F. Atomabsorptionsspektrophotometrie	542
G. Verschiedenes	544
Literatur	545
C — Kohlenstoff	547
A. Trennungen	547
B. Bestimmungsmethoden	547
Literatur	553
Ca — Calcium	554
A. Trennungen	554
B. 8-Hydroxychinolin-Butylamin	554
C. Glyoxal-bis-(2-hydroxyanil)	558
D. Atomabsorptionsspektrophotometrie	562
E. Emissionsspektralanalyse	563
F. Flammenphotometrie	563
G. Röntgenspektrometrie	564
H. Verschiedenes	565
Literatur	566
Cd — Cadmium	567
A. Trennungen	567
B. Dithizon und Di- β -naphthylthiocarbazon	570
C. Polarographie und Voltammetrie	582
D. Atomabsorptionsspektrophotometrie	583
E. Verschiedenes	584
Literatur	584
Co — Kobalt	586
A. Trennungen	586
B. 1-Nitroso-2-naphthol	587
C. 2-Nitroso-1-naphthol	591
D. Nitroso-R-Salz	601
E. 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol	611
F. Thiocyanat	613
G. Emissionsspektralanalyse	615
H. Atomabsorptionsspektrophotometrie	620
I. Verschiedenes	621
Literatur	621
Cr — Chrom	624
A. Trennungen	624
B. Diphenylcarbazon	627
I. Bestimmung in wäßriger Lösung	627
II. Bestimmung in organischen Lösungsmitteln	637
C. Gaschromatographie	639
D. Atomabsorptionsspektrophotometrie	639
E. Verschiedenes	641
Literatur	641
Cu — Kupfer	644
A. Trennungen	646
B. Bis-cyclohexanon-oxalyldihydrazon	646

C. Carbamate	651
I. Natriumdiäthylthiocarbamat	651
II. Diäthylammoniumdiäthylthiocarbamat	660
III. Bleidiäthylthiocarbamat	662
IV. Zinkdibenzylthiocarbamat	664
V. Andere Carbamatderivate	665
D. Cuproin und seine Derivate	666
I. Cuproin	666
II. Neocuproin	672
III. Bathocuproin	676
E. Diphenylcarbазid	679
F. Dithizon	681
G. Atomabsorptionsspektrophotometrie	686
H. Verschiedenes	687
Literatur	688
Fe — Eisen	693
A. Trennungen	693
B. Phenanthroline	696
I. 1,10-Phenanthrolin	696
II. Bathophenanthrolin	703
C. Thiocyanat	710
D. Thiocyanat-Tri-n-butylammoniumsalz	715
E. Atomabsorptionsspektrophotometrie	717
F. Verschiedenes	718
Literatur	719
Ga — Gallium	724
A. Trennungen	724
B. Hämatein	726
C. 8-Hydroxychinolin	728
D. Rhodamin B	733
E. Malachitgrün	736
F. Verschiedenes	738
Literatur	739
Ge — Germanium	741
A. Trennungen	741
B. Phenylfluoron	742
C. Verschiedenes	749
Literatur	750

Allgemeine Hinweise

Erläuterungen zur Benutzung der Arbeitsvorschriften findet man auf S. 375 ff., 1379 ff. und 1459 ff., zu den verwendeten Reagentien auf S. 376.

Verwendete Abkürzungen

AAS	Atomabsorptionsspektrophotometrie	L_0	Bestimmungsgrenze
ADTA	Dinatriumsalz der Äthylendiamin-tetraessigsäure (Dihydrat)	MIBK	Methylisobutylketon
ADTE	Äthylendiamintetraessigsäure	min	Minute
Amp	Ampere	Na-DDTC	Natriumdiäthylthiocarbamat
B	Bestimmungsbereich	Oxin	8-Hydroxychinolin
Best	Bestimmung	PAN	1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol
β	Trennfaktor	Ph	Photometrie
D	Verteilungskoeffizient	Pol	Polarographie
DADDTC	Diäthylammoniumdiäthylthio-carbamat	PVC	Polyvinylchlorid
Dest	Destillation	Rö	Röntgenspektrometrie
Dz	Dithizon	s	Standardabweichung
E	Extinktion	sec	Sekunde
E%	Extraktionsausbeute	S. E.	Seltene Erden
El	Elektrolyse	S_M	Empfindlichkeit
Esp	Emissionsspektralanalyse	Std	Stunde
Ex	Extraktion	TBP	Tri-n-butylphosphat
F	Fluorimetrie	TOA	Tri-n-octylamin
Flg	Fällung	TOPO	Tri-n-octylphosphinoxid
Fp	Schmelzpunkt (Fließpunkt)	TTA	2-Thenoyltrifluoraceton
F_r	relativer Fehler	T. U.	Transurane
F_{rm}	mittlerer relativer Fehler	V	relative Standardabweichung (Varianz)
FS	Flammenspektrophotometrie	V_m	mittlere relative Standardabweichung (Varianz)
GC	Gaschromatographie	V_o	Volumen der organischen Phase
IoA	Ionenaustausch	V_w	Volumen der wäßrigen Phase
Isol	Isolierung	V	Volt
Kp	Si depunkt (Kochpunkt)	Vol	Voltammetrie
L_D	Nachweisgrenze	Z	Zeitbedarf

Inhaltsverzeichnis Teil 2

IV. Die Bestimmung einzelner Elemente (Fortsetzung)

Hf — Hafnium	751
A. Trennungen	751
B. Xylenolorange	751
C. Emissionsspektralanalyse	752
D. Röntgenspektrometrie	755
E. Verschiedenes	756
Literatur	756
Hg — Quecksilber	757
A. Trennungen	757
B. Dithizon	759
C. Atomabsorptionsspektrophotometrie	773
D. Verschiedenes	777
Literatur	777
In — Indium	780
A. Trennungen	780
B. Dithizon	782
C. 8-Hydroxychinolin	785
D. Verschiedenes	788
Literatur	789
Ir — Iridium	790
A. Trennungen	790
B. Zinn(II)-chlorid-Verfahren	791
C. Verschiedenes	792
Literatur	792
K — Kalium	793
A. Flammenphotometrie	793
Literatur	794
Li — Lithium	795
A. Flammenphotometrie	795
Literatur	796
Mg — Magnesium	797
A. Trennungen	797
B. 8-Hydroxychinolin	798
C. Atomabsorptionsspektrophotometrie	803
D. Emissionsspektralanalyse	805
E. Verschiedenes	805
Literatur	806
Mn — Mangan	808
A. Trennungen	808
B. Natriumdiäthylthiocarbamat	809

C. Formaldoxim	811
D. Leukomalachitgrün	814
E. Permanganat	816
F. Atomabsorptionsspektrophotometrie	821
G. Verschiedenes	822
Literatur	822
Mo — Molybdän	825
A. Trennungen	825
B. Dithiol	827
C. Thiocyanat	833
D. Verschiedenes	844
Literatur	844
Na — Natrium	847
A. Flammenphotometrie	847
Literatur	848
Nb — Niob	849
A. Trennungen	849
B. Brompyrogallolrot	852
C. Phenylfluoron	854
D. 4-(2-Pyridylazo)-resorcinol	855
E. Thiocyanat	857
F. Verschiedenes	863
Literatur	863
Ni — Nickel	865
A. Trennungen	865
B. Natriumdiäthylthiocarbamat	866
C. Dimethylglyoxim	870
I. Bestimmung in wäßriger Lösung	870
II. Extraktion von Ni(II)-Dimethylglyoxim	872
D. Dithizon	879
E. α -Furildioxim	879
F. Pyridin-2-aldehyd-2-chinolyldhydrazon	881
G. Atomabsorptionsspektrophotometrie	882
H. Verschiedenes	883
Literatur	884
Os — Osmium	887
A. Trennungen	887
B. 1-Naphthylamin-4,6,8-trisulfosäure	889
C. Thioharnstoff	891
D. Tetraphenylarsoniumchlorid	892
E. Verschiedenes	893
Literatur	894
P — Phosphor	895
A. Trennungen	895
B. Phosphormolybdänsäure	896
C. Phosphorvanadomolybdänsäure	898
D. Phosphormolybdänblau-Verfahren	902
E. Indirekte photometrische Bestimmung	916
Literatur	918
Pb — Blei	922
A. Trennungen	922
B. Natriumdiäthylthiocarbamat	924
C. Dithizon	926
D. Jodid-Verfahren	946

E. 4-(2-Pyridylazo)-resorcinol	947
F. Atomabsorptionsspektrophotometrie	948
G. Polarographie und Voltammetrie	951
H. Verschiedenes	952
Literatur	953
Pd — Palladium	957
A. Trennungen	957
B. Natriumdiäthylthiocarbamat	959
C. p-Nitrosodiphenylamin	960
D. 2-Nitroso-1-naphthol	962
E. Oxime	962
I. α -Furildioxim	962
II. Phenyl- α -pyridylketoxim	964
III. Andere Oxime	965
F. Ternäre Komplexe	965
I. 1,10-Phenanthrolin-Rose Bengal Extra	965
II. Pyridin-Rose Bengal Extra	966
G. Verschiedenes	966
Literatur	969
Pt — Platin	971
A. Trennungen	971
B. Zinn(II)-chlorid-Verfahren	971
C. Verschiedenes	974
Literatur	975
Re — Rhenium	976
A. Trennungen	976
B. Oxime	979
I. α -Furildioxim	979
II. 4-Methylnioxim	981
C. Thiocyanat	982
D. Verschiedenes	985
Literatur	985
Rh — Rhodium	987
A. Trennungen	987
B. Zinn(II)-chlorid-Verfahren	988
C. Verschiedenes	990
Literatur	991
Ru — Ruthenium	993
A. Trennungen	993
B. Thioharnstoff-Derivate	994
I. Diphenylthioharnstoff	994
II. 1,4-Diphenylthiosemicarbazid	995
III. 2,4-Diphenylthiosemicarbazid	997
C. 1-Naphthylamin-3,5,7-trisulfosäure	998
D. 1,10-Phenanthrolin	999
E. Verschiedenes	1001
Literatur	1001
S — Schwefel	1003
A. Trennungen	1003
B. Methylenblau-Verfahren	1004
C. Äthylmblau-Verfahren	1012
D. Pararosanilin-Verfahren	1013
E. Verbrennungsverfahren	1016
F. Verschiedenes	1017
Literatur	1017

Sb — Antimon	1019
A. Trennungen	1019
B. Jodid-Verfahren	1020
C. Methylfluoron	1023
D. Rhodamin B.	1027
E. Verschiedenes	1038
Literatur	1039
Sc — Scandium	1041
A. Trennungen	1041
B. Alizarinsulfosäure	1043
C. Arsenazo	1046
D. Brompyrogallolrot	1048
E. Eriochrombrillantviolett B	1049
F. 8-Hydroxychinolin	1050
G. 4-(2-Thiazolyazo)resorcinol	1051
H. Verschiedenes	1052
Literatur	1052
Se — Selen	1054
A. Trennungen	1054
B. o-Diamine	1055
I. 3,3'-Diaminobenzidin	1055
II. 2,3-Diaminonaphthalin	1067
III. o-Phenylendiamin	1069
C. Jodid-Verfahren	1070
D. Verschiedenes	1072
Literatur	1073
S.E. — Seltene Erden	1075
A. Trennungen	1075
B. Bestimmung der Summe der S.E.	1080
I. Alizarinsulfosäure	1080
II. Arsenazo	1082
C. Ce — Cer	1083
I. 8-Hydroxychinolin	1083
II. Peroxodisulfat-Verfahren	1085
III. Indirekte Bestimmung mit 1,10-Phenanthrolin	1088
D. Verschiedenes	1089
Literatur	1089
Si — Silicium	1091
A. Trennungen	1091
B. Silicomolybdänsäure	1094
C. Silicomolybdänblau-Verfahren	1100
D. Verschiedenes	1118
Literatur	1118
Sn — Zinn	1121
A. Trennungen	1121
B. Brenzcatechinviolett	1124
C. Dithiol	1129
D. Fluorone	1134
I. Phenylfluoron	1134
II. 3'-Pyridylfluoron	1140
E. Verschiedenes	1142
Literatur	1142

Ta — Tantal	1146
A. Trennungen	1146
B. Malachitgrün	1148
C. Phenylfluoron	1150
D. Pyrogallol	1152
E. Verschiedenes	1157
Literatur	1157
Tc — Technetium	1159
A. Trennungen	1159
B. Dithiol	1160
C. Thiocyanat	1161
D. Verschiedenes	1164
Literatur	1164
Te — Tellur	1165
A. Trennungen	1165
B. Bismuthiol II	1166
C. Natriumdiäthylthiocarbamat	1169
D. Jodid-Verfahren	1173
E. Tellursol-Verfahren	1174
F. Thioharnstoff	1178
G. Verschiedenes	1179
Literatur	1179
Th — Thorium	1181
A. Trennungen	1181
B. o-Arsonophenylazo-naphthol-Derivate	1185
I. Arsenazo I	1185
II. Arsenazo III	1187
III. Thorin	1189
C. Morin	1193
D. Verschiedenes	1196
Literatur	1197
Ti — Titan	1199
A. Trennungen	1199
B. Thiocyanat	1201
I. Bestimmung in Wasser-Aceton-Lösung	1201
II. Extraktion mit Tri-n-octylphosphinoxid/Cyclohexan	1202
C. Tiron	1206
D. Tri-n-butylammonium-Sulfosalicylsäure	1208
E. Wasserstoffperoxid	1210
F. Verschiedenes	1212
Literatur	1213
Tl — Thallium	1215
A. Trennungen	1215
B. Dithizon	1220
C. Rhodamin B	1222
D. Polarographie und Voltammetrie	1226
E. Emissionsspektralanalyse	1230
F. Verschiedenes	1231
Literatur	1232
U — Uran	1234
A. Trennungen	1234
B. o-Arsonophenylazo-naphthol-Derivate	1238
I. Arsenazo I	1238
II. Arsenazo III	1240
III. Thorin	1242

C. Dibenzoylmethan	1244
D. Fluorimetrie	1247
E. Pyridylazo-Derivate	1254
I. 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol	1254
II. 4-(2-Pyridylazo)-resorcinol	1257
III. 2-(2-Pyridylazo)-5-diäthylaminophenol	1258
IV. 2-(5-Brom-2-pyridylazo)-5-diäthylaminophenol	1260
F. Thiocyanat	1263
G. Polarographie	1265
H. Verschiedenes	1269
Literatur	1269
T. U. — Transurane	1273
A. Trennungen	1273
B. Np — Neptunium	1275
I. Thorin	1275
II. Polarographie	1276
C. Pu — Plutonium	1278
I. Arsenazo III	1278
D. Verschiedenes	1279
Literatur	1279
V — Vanadin	1281
A. Trennungen	1281
B. Benzohydroxamsäure-Derivate	1284
I. Benzohydroxamsäure	1284
II. N-Benzoyl-N-phenylhydroxylamin	1288
III. Andere Derivate	1290
C. 3,3'-Dimethylnaphthidin	1291
D. 8-Hydroxychinolin	1293
E. 4-(2-Pyridylazo)-resorcinol	1297
F. Vanadophosphorwolframsäure	1298
G. Polarographie	1301
H. Verschiedenes	1305
Literatur	1306
W — Wolfram	1308
A. Trennungen	1308
B. Dithiol	1311
C. Thiocyanat	1313
D. Verschiedenes	1320
Literatur	1320
Y — Yttrium	1322
A. Trennungen	1322
B. Alizarinsulfosäure	1323
C. Arsenazo	1323
D. Brenzcatechinviolett	1323
E. Emissionsspektralanalyse	1325
F. Verschiedenes	1327
Literatur	1327
Zn — Zink	1328
A. Trennungen	1328
B. Dithizon und Di- β -naphthylthiocarbazon	1330
C. 1-(5-Chloro-2-pyridylazo)-2-naphthol	1340
D. Thiazolylazo-Derivate	1341
I. 1-(2-Thiazolylazo)-2-naphthol	1341
II. 4-(2-Thiazolylazo)-resorcinol	1342
E. Atomabsorptionsspektrophotometrie	1343

F. Emissionsspektralanalyse	1345
G. Polarographie und Voltammetrie	1346
H. Verschiedenes	1348
Literatur	1348
Zr — Zirkonium	1351
A. Trennungen	1351
B. Alizarinsulfosäure	1356
C. Brenzcatechinviolett	1358
D. Morin	1363
E. 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol	1366
F. Xylenolorange	1369
G. Röntgenspektrometrie	1372
H. Verschiedenes	1374
Literatur	1375

V. Multielement-Spurenanalyse. Die Bestimmung von Elementgruppen

Einführung	1379
1. Wässer	1380
2. Organisches Material	1383
3. Metalle und Legierungen	1402
4. Böden und Gesteine	1428
5. Verschiedenes	1436
Literatur	1453

VI. Die mikrobiologische Bestimmung von Spurenelementen

1. Allgemeines	1459
1.1. Grundlagen der Methodik	1459
1.2. Art der Wirkung der Spurenelemente	1461
1.3. Anwendungsbereich und Bestimmungsgrenze	1467
1.4. Fehlerquellen	1468
2. Arbeitstechnik	1469
2.1. Arbeitsraum	1470
2.2. Arbeitsgeräte	1470
2.2.1. Allgemeine Einrichtung	1470
2.2.2. Glasgeräte	1470
2.3. Reagentien	1473
2.4. Reinigung der Nährlösungen	1475
2.4.1. Spurenfällung	1477
2.4.2. Extraktion	1480
2.5. Der Spurenelementzusatz und -ansatz	1484
2.6. Pilzstamm und Impftechnik	1485
2.7. Die Züchtung	1489
2.8. Kriterien für einwandfreie Arbeitsbedingungen	1492
3. Die Bestimmung der Elemente auf mikrobiologischem Wege	1497
3.1. Cu — Kupfer	1497
3.2. Fe — Eisen	1501
3.3. Mg — Magnesium	1502
3.4. Mn — Mangan	1503
3.5. Mo — Molybdän	1504
3.6. Zn — Zink	1505
3.7. K — Kalium	1506
3.8. P — Phosphor	1507
Literatur	1508