

Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie

(Mit Ausnahme der quantitativen Analyse)

Von

Gerhart Jander †

ehem. o. Professor, Direktor des Anorg.-chemischen Instituts
der Technischen Universität Berlin

und

Ewald Blasius †

ehem. o. Prof., Direktor des Instituts für Analytische Chemie und Radiochemie
der Universität des Saarlandes

13., neubearbeitete Auflage

Mit 75 Abbildungen,
6 Tafeln mit 36 Kristallbildern
und einer mehrfarbigen Spektraltafel



S. Hirzel Verlag Stuttgart
1989

Inhaltsverzeichnis

Erste Hilfe bei Unfällen (Laienhilfe)	V
Vorworte	IX
Inhaltsverzeichnis	XI
Literaturverzeichnis	XXII
Verzeichnis der Zeichen und Abkürzungen	XXIV
Nomenklatur anorganischer Verbindungen	XXVII
1. Einleitung	1
2. Theoretische Grundlagen	3
2.1. Chemische Grundgesetze – Aufbau der Materie	3
2.2. Elektronenhüllen der Atome – Periodensystem der Elemente	5
2.3. Chemische Bindung	11
2.3.1. Ionenbindung oder heteropolare Bindung	11
2.3.2. Atombindung, kovalente oder homöopolare Bindung	13
2.3.2.1. Erweiterte theoretische Deutung	14
Einfachbindung	16
Mehrfachbindung	18
2.3.2.2. Koordinative Bindung	20
2.3.3. Metallische Bindung	21
2.3.4. Übergänge zwischen den Bindungsarten	22
2.4. Chemie der wäßrigen Lösungen und Ionenlehre	24
2.4.1. Sonderstellung des Wassers	24
2.4.1.1. Assoziationstendenz, Bildung von Ionenhydraten und Aquokomplexen	25
2.4.1.2. Dielektrizitätskonstante	25
2.4.2. Elektrolytische Dissoziation	26
2.4.2.1. Heteropolare Verbindungen	26
2.4.2.2. Homöopolare Verbindungen	26
2.4.2.3. Gitterenergie und Hydratationswärme	27
2.4.2.4. Elektrolytlösungen – Ionenreaktionen	27
2.4.3. Ionenwanderung im elektrischen Feld	28
2.4.4. Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung	28
2.4.5. Löslichkeit und Kristallwachstum	29
2.4.5.1. Teilchengröße und übersättigte Lösungen	30
2.4.5.2. Keimbildung und Kristallwachstum	31
2.4.5.3. Folgerungen	32
2.4.5.4. Löslichkeit und chemische Bindung	33
2.4.5.4.1. Löslichkeit innerhalb einer Gruppe des PSE	33
2.4.5.4.2. Löslichkeit auf Grund der Hydratation	33
2.4.5.4.3. Deformation der Elektronenhülle	34
2.4.5.5. Übersicht	34

2.5.	Grundbegriffe der Chemie	35
2.5.1.	Stöchiometrie – Wertigkeitsbegriff	35
2.5.1.1.	Stöchiometrisches Rechnen	35
2.5.1.2.	Wertigkeitsbegriff	38
2.5.1.3.	Konzentrationsangaben	38
2.5.2.	Oxidation und Reduktion	39
2.5.3.	Spannungsreihe und Redoxpotential	42
2.5.3.1.	Nernstsches Gesetz	42
2.5.3.2.	Spannungsreihe	43
2.5.3.3.	Redoxpotentiale an indifferenten Elektroden	43
2.5.4.	Säuren und Basen	45
2.6.	Chemische Gleichgewichte	46
2.6.1.	Reaktionsisotherme (Massenwirkungsgesetz MWG)	47
2.6.2.	Prinzip von <i>Le Chatelier</i>	48
2.6.3.	Katalyse	49
2.6.4.	Heterogenes Gleichgewicht	49
2.6.5.	Massenwirkungsgesetz und Ionenlehre	50
2.6.5.1.	Schwache Elektrolyte	51
2.6.5.1.1.	Dissoziationskonstante und Dissoziationsgrad	51
2.6.5.1.2.	Dissoziation schwacher Säuren und Basen	52
2.6.5.1.3.	Amphotere Elektrolyte	52
2.6.5.2.	Starke Elektrolyte	53
2.6.5.2.1.	Aktivitäten	53
2.6.5.2.2.	Ionenstärke	53
2.6.5.2.3.	Aktivitätskoeffizient und Ionenstärke	54
2.6.5.3.	Wasserstoffionenkonzentration und pH-Wert	55
2.6.5.3.1.	Dissoziation des Wassers	55
2.6.5.3.1.1.	Ionenprodukt des Wassers	56
2.6.5.3.1.2.	Definition des pH-Wertes	56
2.6.5.3.2.	pH-Wert von Säuren und Basen	57
2.6.5.3.2.1.	Starke Säuren bzw. starke Basen	57
2.6.5.3.2.2.	Schwache Säuren bzw. schwache Basen	57
2.6.5.3.3.	pH-Indikatoren	58
2.6.5.4.	Hydrolyse	59
2.6.5.4.1.	Hydrolysekonstante	60
2.6.5.4.2.	Hydrolysegrad	60
2.6.5.4.3.	Berechnung der H^+ -Konzentration von Salzlösungen	60
2.6.5.4.4.	Einflüsse auf die Hydrolyse	61
2.6.5.5.	Pufferlösungen	63
2.6.5.5.1.	Schwache Säure und deren Salz	63
2.6.5.5.2.	Schwache Base und deren Salz	64
2.6.5.5.3.	Beispiele	64
2.6.5.5.4.	Pufferkapazität	65
2.6.5.6.	Löslichkeitsprodukt	66
2.6.5.6.1.	Ableitung	66
2.6.5.6.2.	Molare Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt	66
2.6.5.6.3.	Fällung schwerlöslicher Elektrolyte	68
2.6.5.6.3.1.	Fällung ohne pH-Änderung	68
2.6.5.6.3.2.	Fällung mit pH-Änderung	69
	Hydroxide	69
	Sulfide	72

2.6.5.6.4.	Löslichkeit in Abhängigkeit von Fremdionen	74
2.6.5.6.4.1.	Bildung von Komplexionen	74
2.6.5.6.4.2.	Erniedrigung der Aktivitätskoeffizienten	74
2.6.5.6.5.	Auflösung schwerlöslicher Elektrolyte	75
2.6.6.	Nernstsches Verteilungsgesetz	76
2.6.6.1.	Praktische Bedeutung	77
2.7.	Komplexchemie	77
2.7.1.	Eigenschaften von Komplexen	77
2.7.2.	Aufbau der Komplexe	79
2.7.2.1.	Zentralion und Liganden	79
2.7.2.2.	Koordinationszahl und räumlicher Aufbau	79
2.7.2.3.	Isomerie	80
2.7.2.4.	Chelatkomplexe	81
2.7.2.4.1.	Allgemeines	81
2.7.2.4.2.	Innere Komplexe	82
2.7.2.4.3.	Komplexone	82
2.7.2.4.4.	Chelatbildung am Anion	84
2.7.3.	Bildung und Beständigkeit	84
2.7.3.1.	Beständigkeits- und Dissoziationskonstante	84
2.7.3.2.	Stufenweise Dissoziation	85
2.7.3.3.	Löslichkeitsprodukt und Beständigkeitskonstante	85
2.7.4.	Kinetische Stabilität	87
2.7.5.	Chemische Bindung in Komplexen	87
2.7.5.1.	Ionenbindung	88
2.7.5.2.	Koordinative Atombindung	88
2.8.	Kolloidchemie und Chemie der Grenzflächen	90
2.8.1.	Größe und Oberfläche der Teilchen	90
2.8.2.	Bildung und Herstellung von Kolloidlösungen	91
2.8.3.	Stabilität kolloiddisperser Systeme	91
2.8.3.1.	Hydrophobe Kolloide	92
2.8.3.2.	Hydrophile Kolloide	92
2.8.4.	Koagulation und Peptisation	92
2.8.4.1.	Koagulation geladener Teilchen	93
2.8.4.2.	Koagulation ungeladener Teilchen	93
2.8.4.3.	Schutzkolloide	94
2.8.4.4.	Peptisation	94
2.8.5.	Alterung	94
2.8.6.	Verunreinigung der Niederschläge – Mitfällung	94
2.8.6.1.	Adsorption	95
2.8.6.2.	Okklusion	97
2.8.6.3.	Definierte chemische Verbindungen	98
2.8.6.4.	Nachfällung	98
2.8.7.	Praktische Folgerungen	98
2.8.7.1.	Kleine Oberfläche	98
2.8.7.2.	Umfällung zur Entfernung von Adsorptivionen	99
2.8.7.3.	pH-Wert	99
2.8.7.4.	Rückhalteträger	99
2.8.7.5.	Flockung	100
2.8.7.6.	Verhinderung der Peptisation	100
2.8.7.7.	Verhinderung der Nachfällung	100

2.9.	Allgemeine Zusammenhänge im Periodensystem	100
2.9.1.	Periodizität der physikalischen Eigenschaften	101
2.9.1.1.	Atom- und Ionenradien	101
2.9.1.2.	Metallcharakter	101
2.9.2.	Periodizität der chemischen Eigenschaften	101
2.9.2.1.	Sauerstoff-Wasserstoff-Verbindungen	101
2.9.2.1.1.	Basizität der Hydroxide	101
2.9.2.1.2.	Säuretypen	103
2.9.2.2.	Oxidationsstufen	104
2.9.2.2.1.	Anzahl der Außenelektronen	104
2.9.2.2.2.	Elektronegativität	104
2.9.2.2.3.	Maximal mögliche Oxidationsstufen	104
2.9.2.2.4.	Oxidationsstufenintervall	104
2.9.2.2.5.	Beständigkeit der maximalen Oxidationsstufen	105
2.9.2.2.6.	Minimal mögliche Oxidationsstufe	105
2.9.2.3.	Hydride	105
2.9.2.3.1.	Thermische Beständigkeit innerhalb der Hauptgruppen	105
2.9.2.3.2.	Basizität innerhalb der Hauptgruppen	106
2.9.2.3.3.	Hydridverschiebungsgesetz	106
2.9.2.4.	Weiteres	107
2.9.2.4.1.	Magnetismus, Farbe	107
2.9.2.4.2.	Unstetige Änderungen der chemischen Eigenschaften	107
2.9.2.4.3.	Ionenpotential	107
3.	Allgemeine Arbeitsgrundlagen	110
3.1.	Giftgefahren und Arbeitsschutz	110
3.1.1.	Einwirkung von Chemikalien auf den Organismus	110
3.1.2.	Vorsichtsmaßnahmen im Laboratorium	111
3.2.	Arbeitsoperationen	112
3.2.1.	Lagerung und Entnahme von Chemikalien	112
3.2.2.	Trennung durch Kristallisation oder Niederschlagsbildung	113
3.2.3.	Destillieren, Sublimieren und Extrahieren	115
3.2.4.	Eindampfen	116
3.2.5.	Trocknen und Trockenmittel	117
3.2.6.	Erhitzen und Kühlen	117
3.2.7.	Glasbearbeitung	118
3.2.8.	Durchbohren von Gummistopfen	120
3.3.	Behandlung von Geräten	121
3.4.	Arbeiten mit Ionenaustauschersäulen	121
4.	Analytischer Teil	124
4.1.	Grundsätzliches	125
4.1.1.	Grenzkonzentration und Erfassungsgrenze	125
4.1.2.	Vorproben	126
4.1.2.1.	Spektralanalyse bzw. Flammenfärbung	126
4.1.2.2.	Lötrohrreaktion	128
4.1.2.3.	Phosphorsalz- und Boraxperle	128
4.1.3.	Kationentrennungsgang	129
4.1.4.	Anionennachweis	129

4.1.5.	Aufschlußverfahren	130
4.1.5.1.	Soda-Pottasche-Aufschluß	131
4.1.5.2.	Saurer Aufschluß	131
4.1.5.3.	Oxidationsschmelze	132
4.1.5.4.	Freiberger Aufschluß	132
4.1.5.5.	Spezielle Aufschlüsse	132
4.1.6.	Geräte und Arbeitstechnik der Halbmikroanalyse	132
4.1.6.1.	Geräte	132
4.1.6.2.	Mikroskopieren	139
4.1.6.3.	Tüpfelreaktionen	141
4.2.	Nichtmetalle und ihre Verbindungen	141
4.2.1.	Wasserstoff	142
4.2.2.	Elemente der VII. Hauptgruppe	144
4.2.2.1.	Fluor	144
	Flußsäure und Fluoride	145
	Hexafluorosilicate	147
	Trennung und Nachweis von F^- und $[SiF_6]^{2-}$	148
4.2.2.2.	Chlor	148
	Elementares Chlor	149
	Salzsäure und Chloride	151
	Hypochlorige Säure und Hypochlorite	154
	Chlorsäure und Chlorate	155
	Perchlorsäure und Perchlorate	157
	Trennung und Nachweis von Cl_2 , Cl^- , ClO^- , ClO_3^- , ClO_4^- und NO_3^-	158
4.2.2.3.	Brom	159
	Bromwasserstoffsäure und Bromide	160
	Bromsauerstoffsäuren	161
4.2.2.4.	Iod	162
	Iodwasserstoffsäure und Iodide	162
	Iodsauerstoffsäuren	165
	Trennung und Nachweis von Cl^- , Br^- , I^- und NO_3^-	166
	Trennung und Nachweis von ClO_3^- , BrO_3^- , IO_3^- neben Cl^- , Br^- , I^-	167
4.2.3.	Elemente der VI. Hauptgruppe	168
4.2.3.1.	Sauerstoff	168
	Wasser	169
	Wasserstoffperoxid	170
4.2.3.2.	Schwefel	172
	Elementarer Schwefel	173
	Schwefelwasserstoff und Sulfide	174
	Schwefeldioxid, schweflige Säure und Sulfite	177
	Schwefelsäure und Sulfate	180
	Thioschwefelsäure (Sulfanmonosulfonsäure) und Thiosulfate	183
	Polysulfanmonosulfonsäuren und Polysulfandisulfonsäuren	185
	Peroxomono- und Peroxodischwefelsäure	186
	Trennung und Nachweis von S^{2-} , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, $S_2O_8^{2-}$ und CO_3^{2-}	188
4.2.3.3.	Selen	189
	Selenate (IV)	190
4.2.3.4.	Tellur	191
	Tellurate (IV)	191
	Trennung und Nachweis von Se und Te	193
4.2.4.	Elemente der V. Hauptgruppe	193

4.2.4.1.	Stickstoff	193
	Ammoniak	194
	Hydrazin	195
	Hydroxylamin	195
	Stickstoffwasserstoffsäure und Azide	196
	Oxide des Stickstoffs	197
	Distickstoffmonoxid	197
	Stickstoffmonoxid, NO, und Stickstoffdioxid, NO ₂	198
	Salpetrige Säure und Nitrite	199
	Salpetersäure und Nitrate	201
	Trennung und Nachweis von NO ₂ ⁻ und NO ₃ ⁻	203
4.2.4.2.	Phosphor	204
	Phosphorwasserstoff und Phosphinsäure (hypophosphorige Säure)	204
	Phosphortrichlorid und Phosphonsäure (phosphorige Säure)	205
	Phosphorsäure und Phosphate	206
	Poly- und Metaphosphorsäure bzw. -phosphate	206
	Diphosphorsäure und Diphosphate	207
	Orthophosphorsäure und Orthophosphate	208
	Nachweis und Trennung von PO ₄ ³⁻	210
4.2.5.	Elemente der IV. Hauptgruppe	212
4.2.5.1.	Kohlenstoff	212
	Kohlenmonoxid	213
	Kohlensäure und Carbonate	213
	Essigsäure und Acetate	216
	Oxalsäure und Oxalate	218
	Weinsäure und Tartrate	219
	Cyanwasserstoffsäure und Cyanide	221
	Komplexe Cyanide	224
	Thiocyansäure und Thiocyanate (Rhodanwasserstoffsäure und Rhodanide)	226
	Trennung und Nachweis von CO ₃ ²⁻ , CH ₃ COO ⁻ , C ₂ O ₄ ²⁻ , C ₄ H ₄ O ₆ ²⁻ , CN ⁻ , [Fe(CN) ₆] ⁴⁻ , [Fe(CN) ₆] ³⁻ und SCN ⁻ neben Cl ⁻ , I ⁻ und NH ₄ ⁺	227
4.2.5.2.	Silicium	229
4.2.6.	Elemente der III. Hauptgruppe	233
4.2.6.1.	Bor	233
	Trennung und Nachweis von Silicaten, Boraten und F ⁻	235
4.3.	Metalle und ihre Verbindungen	236
4.3.1.	Lösliche Gruppe, I. Hauptgruppe des PSE	237
	Natrium	238
	Kalium	240
	Ammoniumion	243
	Rubidium und Caesium	245
	Lithium	247
	Magnesium	248
	Trennung und Nachweis von Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , Li ⁺ , Mg ²⁺ (Rb ⁺ und Cs ⁺)	251
4.3.2.	Ammoniumcarbonatgruppe, II. Hauptgruppe des PSE	252
	Calcium	252
	Strontium	255
	Barium	256
	Trennung und Nachweis von Ba ²⁺ , Sr ²⁺ und Ca ²⁺	259
4.3.3.	Ammoniumsulfid-Urotropin-Gruppe	260
4.3.3.1.	Elemente Ni, Co, Mn, Zn, Fe, Al, Be und Cr	261

	Nickel	261
	Cobalt	264
	VII. Nebengruppe des PSE, Mangan	266
	Zink	271
	Eisen	274
	Aluminium	280
	Beryllium	283
	Chrom	285
	Trennung und Nachweis von Ni, Co, Mn, Zn, Fe, Al, Be und Cr	290
	Gemeinsame Fällung mit Ammoniumsulfid	291
	Urotropintrennung	293
4.3.3.2.	Elemente Ga, In, Sc, Y, Lanthanoide, La und Actinoide, Th, U, Ti, Zr, V, Nb, Ta, Mo, W	295
4.3.3.2.1.	Gallium und Indium	295
4.3.3.2.2.	Elemente der III. Nebengruppe des PSE	297
	Lanthan und Cer	301
	Actinoide	302
	Thorium	303
	Uran	305
4.3.3.2.3.	Elemente der IV. Nebengruppe des PSE	307
	Titan	307
	Zirconium	309
4.3.3.2.4.	Elemente der V. und VI. Nebengruppe des PSE	311
	Vanadium	312
	Niob und Tantal	314
	Molybdän	317
	Wolfram	319
4.3.3.3.	Urotropintrennung unter Berücksichtigung der „selteneren“ Elemente Ga, In, La, Th, U, Ti, Zr, V und W	321
4.3.4.	Schwefelwasserstoffgruppe	325
4.3.4.1.	Kupfergruppe	326
	II. Nebengruppe des PSE	326
	Quecksilber	326
	Blei	331
	Bismut	333
	Kupfer	336
	Cadmium	340
	Thallium	342
4.3.4.2.	Arsengruppe	344
	Arsen	344
	Antimon	349
	Zinn	353
	Germanium	356
4.3.4.3.	Trennung und Nachweis von Hg, Pb, Bi, Cu, Cd, As, Sb und Sn	358
4.3.4.4.	Trennung und Nachweis der Schwefelwasserstoffgruppe unter Berücksichtigung von Ge, Se, Te, Mo und Tl	361
4.3.5.	Reduktionsgruppe	364
	I. Nebengruppe des PSE, Gold	364
	VIII. Nebengruppe des PSE	366
	Platin	366
	Palladium	369
	Trennung und Nachweis der Elemente Pd, (Pt), Au, Se und Te	370

4.3.6.	Salzsäuregruppe	372
	Silber	372
	Trennung und Nachweis von Ag, Pb, Hg(I), W(VI), Nb(V) und Ta(V)	375
4.4.	Systematischer Gang der Analyse mit anorganischen Reagenzien	376
4.4.1.	Vorproben	376
4.4.2.	Lösen und Aufschließen	382
4.4.3.	Allgemeiner Kationentrennungsgang	384
4.4.4.	Nachweis der Anionen	395
4.4.5.	Spezieller Trennungsgang der Kationen bei Anwendung der Halbmikro-Arbeitstechnik	406
4.4.5.1.	Säureschwerlösliche Gruppe: Ag, Pb, W und säureschwerlösliche Verbindungen	407
4.4.5.1.1.	Allgemeines	407
4.4.5.1.2.	Trennung der säureschwerlöslichen Gruppe	407
4.4.5.2.	H ₂ S-Gruppe: Pb(II), Bi, Tl(III), Cu(II), Cd, Hg(II), Mo(VI), Se(IV), Te(IV), As(III), As(V), Sb(III), Sb(V), Sn(II) und Sn(IV)	408
4.4.5.2.1.	Allgemeines	408
4.4.5.2.2.	Ausführung der H ₂ S-Gruppenfällung	409
4.4.5.2.3.	Trennung der Fällung der H ₂ S-Gruppe in Kupfer- und Arsen-Zinn-Gruppe	410
4.4.5.2.4.	Trennung der Kationen der Kupfergruppe	410
4.4.5.2.5.	Trennung der Kationen der Arsen-Zinn-Gruppe Hg(II), Mo(VI), As(V), Sb(V), Sn(IV), Se(IV) und Te(IV)	412
4.4.5.3.	Die Urotropingruppe: Ti(IV), Zr(IV), La(III), Fe(III), Cr(III), Al(III), Be(II), U(VI), V(V), [W(VI) und Mn(IV)]	413
4.4.5.3.1.	Allgemeines	413
4.4.5.3.2.	Methode A: Fällung mit Urotropin bei Anwesenheit von Elementen der Oxidationsstufe +4 sowie von PO ₄ ³⁻ und VO ₃ ⁻ . Abtrennung von PO ₄ ³⁻ , WO ₄ ²⁻ und VO ₃ ⁻ mit Fe ³⁺ -Ionen	414
4.4.5.3.3.	Methode B: Fällung mit Urotropin oder Ammoniak bei Abwesenheit von Ti, Zr, Th, U und V. Abtrennung von PO ₄ ³⁻ , H ₃ BO ₃ und WO ₄ ²⁻ durch Kationenaustauscher	417
4.4.5.4.	(NH ₄) ₂ S-Gruppe: Ni(II), Mn(II), Co(II), Zn(II) und Fe(II)	418
4.4.5.4.1.	Allgemeines	418
4.4.5.4.2.	Ausführung der (NH ₄) ₂ S-Gruppenfällung	419
4.4.5.5.	(NH ₄) ₂ CO ₃ -Gruppe: Ca ²⁺ , Sr ²⁺ und Ba ²⁺	420
4.4.5.5.1.	Allgemeines	420
4.4.5.5.2.	Ausführung der Gruppenfällung	420
4.4.5.5.3.	Trennung und Nachweis von Ba ²⁺ , Sr ²⁺ und Ca ²⁺	420
4.4.5.6.	Lösliche Gruppe: Mg ²⁺ , Li ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ und NH ₄ ⁺	421
4.4.5.6.1.	Allgemeines	421
4.5.	Organische Spezialreagenzien und ihre Anwendung in der qualitativen Analyse	422
4.5.1.	Aufbau und Wirkungsweise der organischen Reagenzien	424
4.5.1.1.	Bildung von Komplexverbindungen	424
4.5.1.1.1.	Komplexe mit neutralen Liganden	424
4.5.1.1.2.	Innere Komplexe	426
4.5.1.1.3.	Farblacke	429
4.5.1.2.	Bildung von Oxidations- bzw. Reduktionsprodukten	430
4.5.1.3.	Sonstige Veränderungen der organischen Verbindungen	431
4.5.1.4.	Bildung normaler schwerlöslicher Salze	432
4.5.2.	Nachweisreaktionen für Kationen	433
4.5.2.1.	HCl-Gruppe: Ag(I), Pb(II)	433
4.5.2.2.	H ₂ S-Gruppe	434
4.5.2.2.1.	Kupfergruppe: Bi(III), Cd(II), Cu(I, II), Hg(II), Pb(II), Tl(I)	434
4.5.2.2.2.	Arsen-Zinn-Gruppe: Sb(III, V), Sn(IV), Mo(VI) und Se(IV)	437

4.5.2.3.	Urotropingruppe: Al(III), Be(II), Cr(VI), Fe(II), Ti(IV), Zr(IV), V(V) und U(VI)	441
4.5.2.4.	(NH ₄) ₂ S-Gruppe: Mn(II), Ni(II), Co(II), Zn(II)	446
4.5.2.5:	(NH ₄) ₂ CO ₃ - und lösliche Gruppe: Ca ²⁺ , Sr ²⁺ , Ba ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺	447
4.5.3.	Nachweisreaktionen für Anionen	451
4.6.	Papierchromatographie	458
4.6.1.	Arbeitstechnik und Geräte	458
	Papiere	459
	Auftragelösung	459
	Laufmittel	459
	Trennverfahren	459
	Nachweis	460
4.6.2.	Grundlagen	461
4.6.3.	Beispiele	461
5.	Präparativer Teil	463
5.1.	Gase und Elemente – Aufarbeitung von Rückständen	463
5.1.1.	Gase	463
5.1.2.	Magnesium	465
5.1.3.	Chrom, Mangan, Silicium, Bor – Aluminothermisches Verfahren	466
	Mangan	467
	Chrom	467
	Silicium, kristallisiert	467
	Bor, kristallisiert	468
5.1.4.	Zinn	468
5.1.5.	Blei, Antimon, Quecksilber – Darstellung von Metallen aus ihren Sulfiden	468
	Blei	468
	Antimon	469
	Quecksilber	469
5.1.6.	Aufarbeitung von Rückständen	469
	Silber	469
	Iod	469
	Quecksilber	470
	Uranylacetat-Dihydrat, UO ₂ (CH ₃ COO) ₂ · 2H ₂ O	470
5.2.	Oxide, Peroxoverbindungen, Sulfide, Nitride und verwandte Verbindungen	472
5.2.1.	Zinn(II)-oxid, SnO, kristallisiert	472
5.2.2.	Thénards Blau, CoAl ₂ O ₄	472
5.2.3.	Kaliumtetraperoxochromat(V), K ₃ CrO ₈	472
5.2.4.	Kaliumperoxodisulfat, K ₂ S ₂ O ₈	473
5.2.5.	Kaliumthioferrat(III), K[FeS ₂] bzw. K ₂ [Fe ₂ S ₄]	474
5.2.6.	Chrom(III)-sulfid, Cr ₂ S ₃	474
5.2.7.	Ammoniumkupfertetrasulfid, (NH ₄)CuS ₄	474
5.2.8.	Magnesiumnitrid, Mg ₃ N ₂	475
5.3.	Säuren und Basen	475
5.3.1.	Salpetersäure, HNO ₃ , wasserfrei	475
5.3.2.	Arsensäure-Hemihydrat, H ₃ AsO ₄ · 1/2H ₂ O	476
5.3.3.	Nitrosylhydrogensulfat, (NO)HSO ₄ „Nitrosylschwefelsäure“	476
5.3.4.	Amidoschwefelsäure, (NH ₂)HSO ₃	477
5.3.5.	Stickstoffwasserstoffsäure, HN ₃	478
	Natriumamid, NaNH ₂	478
	Natriumazid, NaN ₃ (Rohprodukt)	478

	Stickstoffwasserstoffsäure, HN_3 (wäßrige Lösung)	479
	Silberazid, AgN_3	479
5.3.6.	Diquecksilber(II)-ammoniumhydroxid-Dihydrat, $[\text{NH}_2\text{Hg}_2]\text{OH} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	479
5.4.	Salze	480
5.4.1.	Alaune und Doppelsalze	480
	Kaliumaluminiumsulfat-12-Wasser, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	480
	Kaliumchrom(III)-sulfat-12-Wasser, $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	480
	Ammoniumeisen(III)-sulfat-12-Wasser, $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	480
	Ammoniumeisen(II)-sulfat-Hexahydrat, $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, „Mohrsches Salz“	481
5.4.2.	Bariumdithionat-Dihydrat, $\text{BaS}_2\text{O}_6 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	481
5.4.3.	Natriummonosulfandisulfonat, $\text{Na}_2\text{S}_3\text{O}_6$ (Natriumtrithionat)	481
5.4.4.	Thiosalze	482
	Natriumtetrathioarsenat(V)-8-Wasser, $\text{Na}_3\text{AsS}_4 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	482
	Natriumtetrathioantimonat(V)-9-Wasser, $\text{Na}_3\text{SbS}_4 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$, „Schlippersches Salz“	482
	Natriummonothiotrioxoarsenat(V)-12-Wasser, $\text{Na}_3\text{AsSO}_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	482
	Bariumtrithiocarbonat, BaCS_3	482
5.4.5.	Bariumphosphinat, $\text{Ba}(\text{PH}_2\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	483
5.4.6.	Kaliumchlorat, KClO_3	483
5.4.7.	Kaliumperchlorat, KClO_4	484
5.4.8.	Kaliumpermanganat, KMnO_4	484
5.4.9.	Bariumferrat(VI), BaFeO_4	485
5.4.10.	Bariumwolframat, BaWO_4	485
5.4.11.	Kupfer(I)-chlorid, CuCl	486
5.4.12.	Chrom(II)-acetat-Dihydrat, $\text{Cr}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	486
5.4.13.	Hydraziniumsulfat, $(\text{N}_2\text{H}_6)\text{SO}_4$	487
5.4.14.	Hydroxylammoniumchlorid, $(\text{NH}_2\text{OH})\text{Cl}$	487
5.4.15.	Kaliumnitrosodisulfonat, $\text{ON}(\text{KSO}_3)_2$, „Fremys Salz“	488
5.5.	Homöopolare Verbindungen	488
5.5.1.	Halogenide der Elemente der VI. Hauptgruppe des PSE	488
	Thionylchlorid, SOCl_2 , und Phosphorylchlorid, POCl_3	488
	Sulfurylchlorid, SO_2Cl_2	489
	Dischwefeldichlorid, S_2Cl_2	491
5.5.2.	Halogenide der Elemente der V. Hauptgruppe des PSE	491
	Phosphor(III)-chlorid, PCl_3	491
	Phosphor(V)-chlorid, PCl_5	492
	Diphosphortetraiodid, P_2I_4	492
	Phosphor(III)-iodid, PI_3	492
	Arsen(III)-chlorid, AsCl_3	492
	Arsen(III)-iodid, AsI_3	493
	Antimon(III)-chlorid, SbCl_3	493
	Antimon(V)-chlorid, SbCl_5	493
	Antimon(III)-iodid, SbI_3	494
5.5.3.	Halogenide der Elemente der IV. Hauptgruppe des PSE	494
	Siliciumtetrachlorid, SiCl_4	494
	Trichlorsilan, SiHCl_3 , „Silicochloroform“	495
	Zinn(IV)-chlorid, SnCl_4	495
	Zinn(IV)-iodid, SnI_4	495
5.5.4.	Halogenide der Elemente der III. Hauptgruppe des PSE	496
	Aluminiumchlorid, AlCl_3	496
	Aluminiumbromid, AlBr_3	496
5.5.5.	Halogenide der Elemente der Nebengruppen des PSE	497

	Titan(IV)-chlorid, TiCl_4	497
	Chrom(III)-chlorid, CrCl_3	497
	Wolfram(VI)-chlorid, WCl_6	498
	Nickel(II)-chlorid, NiCl_2	498
5.5.6.	Nickeltetracarbonyl $\text{Ni}(\text{CO})_4$	498
5.6.	Ester, Alkohole, Ether	500
5.6.1.	Borsäuremethylester, $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$	500
5.6.2.	Ethanol, absolut, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	500
5.6.3.	Diethylether, absolut $\text{H}_5\text{C}_2\text{OC}_2\text{H}_5$	501
5.7.	Komplexverbindungen	501
5.7.1.	Kaliumhexafluorosilicat, $\text{K}_2[\text{SiF}_6]$	501
5.7.2.	Kaliumhexachlorostannat(IV), $\text{K}_2[\text{SnCl}_6]$	501
5.7.3.	Kaliumhexachloroantimonat(V)-Monohydrat, $\text{K}[\text{SbCl}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$	502
5.7.4.	Ammoniumhexachloroplumbat(IV), $(\text{NH}_4)_2[\text{PbCl}_6]$	502
5.7.5.	Silbertetraiodomercurat(II), $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$	502
5.7.6.	Tetraamminkupfer(II)-sulfat-Monohydrat, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	503
5.7.7.	Cobaltkomplexe	503
	Hexaammincobalt(II)-chlorid, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	503
	Tetraammincarbonatocobalt(III)-nitrat-Hemihydrat, $[\text{CoCO}_3(\text{NH}_3)_4]\text{NO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	503
	Pentaamminchlorocobalt(III)-chlorid, $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$	503
	Hexaammincobalt(III)-chlorid, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	504
	cis-Tetraammindinitrocobalt(III)-nitrat, $[\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4]\text{NO}_3$	504
	trans-Tetraammindinitrocobalt(III)-chlorid, $[\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$	504
5.7.8.	Nickelkomplexe	505
	Hexaamminnickel(II)-chlorid, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	505
	Kaliumtetracyanonickolat(II), $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$	505
5.7.9.	Kaliumtrioxalatochromat(III)-Trihydrat, $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	505
5.7.10.	Heteropolysäuren	506
	12-Wolframo-1-phosphorsäure, $\text{H}_3[\text{P}(\text{W}_3\text{O}_{10})_4 \cdot \text{aq}]$	506
	12-Molybdo-1-kieselsäure, $\text{H}_4[\text{Si}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4 \cdot \text{aq}]$	506
5.8.	Kolloide	507
5.8.1.	Eisen(III)-hydroxidsol	507
5.8.2.	Kieselsäuresol	507
5.8.3.	Vanadium(V)-oxidsol	507
5.8.4.	Antimon(III)-sulfidsol	508
5.8.5.	Silberiodidsol	508
5.8.6.	Kupfersol	508
5.8.7.	Schwefelsol	508
6.	Tabellenanhang	509
	Übliche Konzentrationen der wichtigsten Lösungen	509
	Tabelle der Elektronenanordnung der Elemente	510
	Tabelle der relativen Atommassen	512
	Periodensystem der Elemente	514
	Namenregister	515
	Sachregister	517
	Kristallaufnahmen	557
	Spektraltafel	563