

Holleman · Wiberg

# Lehrbuch der Anorganischen Chemie

begründet von A.F. Holleman

fortgeführt von Egon und Nils Wiberg

102., stark umgearbeitete und  
verbesserte Auflage von

Nils Wiberg

Erstellung des Sachregisters

Gerd Fischer



Walter de Gruyter  
Berlin · New York

# Inhalt

Seitenverweise im Inhaltsverzeichnis ohne besondere Kennzeichnung beziehen sich auf die Grundlagenchemie, diejenigen mit schwarzem, senkrechten Balken auf die Anorganische Chemie, Seitenzahlen mit Punkt auf die Metallorganische Chemie.

Einleitung .....	1
------------------	---

<b>Teil A Grundlagen der Chemie. Der Wasserstoff .....</b>	<b>3</b>
--	----------

<b>Kapitel I Element und Verbindung .....</b>	<b>5</b>
---	----------

<b>1 Der reine Stoff .....</b>	<b>5</b>
--------------------------------	----------

<b>1.1 Homogene und heterogene Systeme .....</b>	<b>5</b>
--	----------

<b>1.2 Zerlegung heterogener Systeme .....</b>	<b>6</b>
--	----------

1.2.1 Zerlegung auf Grund verschiedener Dichten .....	6
---	---

1.2.2 Zerlegung auf Grund verschiedener Teilchengrößen .....	7
--	---

<b>1.3 Zerlegung homogener Systeme .....</b>	<b>8</b>
--	----------

1.3.1 Zerlegung auf physikalischem Wege .....	8
---	---

Phasenscheidung durch Temperaturänderung (S. 8), Phasenscheidung durch Lösungsmittel (S. 10), Phasenscheidung durch Chromatographie (S. 10)	
---	--

1.3.2 Zerlegung auf chemischem Wege .....	11
---	----

<b>2 Der Element- und Verbindungsbegriff .....</b>	<b>12</b>
--	-----------

<b>Kapitel II Atom und Molekül .....</b>	<b>15</b>
--	-----------

<b>1 Atom- und Molekularlehre .....</b>	<b>15</b>
---	-----------

<b>1.1 Massenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Atombegriff .....</b>	<b>15</b>
--	-----------

1.1.1 Experimentalbefunde .....	15
---------------------------------	----

Gesetz von der Erhaltung der Masse (S. 15), Stöchiometrische Gesetze (S. 17)	
--	--

1.1.2 Dalton'sche Atomhypothese .....	19
---------------------------------------	----

<b>1.2 Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Molekülbegriff ....</b>	<b>20</b>
---	-----------

1.2.1 Experimentalbefunde .....	20
---------------------------------	----

1.2.2 Avogadro'sche Molekülhypothese .....	21
--	----

<b>1.3 Wahl einer Bezugsgröße für die relativen Atom- und Molekülmassen ....</b>	<b>24</b>
--	-----------

1.3.1 Stoffmengen .....	24
-------------------------	----

1.3.2 Äquivalentmengen .....	26
------------------------------	----

1.3.3 Stoff- und Äquivalentkonzentrationen .....	27
--	----

<b>2 Atom- und Molekülmassenbestimmung .....</b>	<b>28</b>
--	-----------

<b>2.1 Bestimmung relativer Molekülmassen .....</b>	<b>28</b>
---	-----------

2.1.1 Gasförmige Stoffe .....	28
-------------------------------	----

Zustandsgleichung idealer Gase (S. 28), Methoden der Molekülmassenbestimmung (S. 32)	
--	--

2.1.2	Gelöste Stoffe .....	32
	Aggregatzustände der Materie (S. 32), Zustandsdiagramme von Stoffen (S. 33), Zustandsgleichung gelöster Stoffe (S. 35), Methoden der Molekülmassenbestimmung (S. 37)	
2.2	Bestimmung relativer Atommassen .....	38
2.2.1	Bestimmung über eine Massenanalyse von Verbindungen .....	38
2.2.2	Bestimmung über die spezifische Wärmekapazität von Verbindungen ....	40
	Gasförmige Stoffe (S. 40), Feste Stoffe (S. 41)	
2.3	Absolute Atom- und Molekülmassen .....	42
3	Die chemische Reaktion, Teil I .....	44
3.1	Der Materie-Umsatz bei chemischen Reaktionen .....	44
3.1.1	Chemische Reaktionsgleichungen .....	44
3.1.2	Einteilung chemischer Reaktionen .....	45
3.2	Der Energie-Umsatz bei chemischen Reaktionen .....	47
3.2.1	Gesamtumsatz an Energie .....	47
3.2.2	Umsatz an freier und gebundener Energie .....	49
	<b>Kapitel III Atom- und Moleküllion</b> .....	52
1	Ionenlehre .....	52
1.1	Die elektrolytische Dissoziation. Der Ionenbegriff .....	52
1.1.1	Experimentalbefunde: Mengenverhältnisse bei der elektrolytischen Stoffauflösung .....	52
1.1.2	Arrhenius'sche Ionenhypothese .....	53
	Einteilung der Elektrolyte (S. 53), Stärke der Elektrolyte (S. 55), Reaktionen der Elektrolyte (S. 56)	
1.2	Die elektrolytische Zersetzung. Der Elektronen- und Protonenbegriff ....	58
1.2.1	Experimentalbefunde: Massenverhältnisse bei der elektrolytischen Stoffabscheidung .....	58
1.2.2	Stoney'sche Elektronen- und Rutherford'sche Protonenhypothese .....	59
2	Ionenmassenbestimmung .....	62
2.1	Die Massenspektrometrie .....	62
2.2	Bestimmung relativer Ionenmassen. Der Isotopenbegriff .....	65
2.2.1	Qualitative Untersuchungen .....	65
2.2.2	Quantitative Untersuchungen .....	67
2.3	Lebensdauer instabiler Moleküle .....	68
3	Ionisierungs-, Dissoziations-, Atomisierungsenergie .....	69
	<b>Kapitel IV Das Periodensystem der Elemente, Teil I</b> .....	73
1	Einordnung der Elemente in ein Periodensystem .....	74
	Gekürztes Periodensystem (S. 74), Ungekürztes Periodensystem (S. 76)	
2	Vergleichende Übersicht über die Elemente .....	77
	Entdeckung der chemischen Elemente (S. 77), Verbreitung der chemischen Elemente (S. 78), Aufbau der Erdkugel (S. 79), Aufbau der Biosphäre (S. 79), Eigenschaften der chemischen Elemente (S. 80)	
	<b>Kapitel V Der Atombau</b> .....	82
1	Das Schalenmodell der Atome .....	82
1.1	Bausteine der Materie. Elementarteilchenbegriff .....	82
1.1.1	Die Nukleonen und andere Elementarteilchen .....	82
1.1.2	Die Quarks und andere Urbausteine .....	84
1.2	Der Atomkern .....	86

1.2.1	Bauprinzip .....	86
1.2.2	Nukleonenzustände und Stabilität .....	88
1.2.3	Durchmesser und Dichte der Atomkerne .....	89
<b>1.3</b>	<b>Die Elektronenhülle .....</b>	<b>90</b>
1.3.1	Bauprinzip .....	90
1.3.2	Elektronenkonfiguration und Stabilität .....	92
	Einelektronenzustände (S. 92), Mehrelektronenzustände (S. 96)	
1.3.3	Durchmesser von Atomen und Atomionen .....	99
<b>2</b>	<b>Atomspektren .....</b>	<b>100</b>
<b>2.1</b>	<b>Die Bausteine des Lichts. Der Photonenbegriff .....</b>	<b>100</b>
<b>2.2</b>	<b>Elektronenspektren .....</b>	<b>103</b>
2.2.1	Die optischen Spektren .....	105
2.2.2	Die Röntgen-Spektren .....	107
<b>2.3</b>	<b>Photoelektronenspektren .....</b>	<b>109</b>
<b>Kapitel VI</b>	<b>Der Molekülbau. Die chemische Bindung, Teil I .....</b>	<b>112</b>
<b>1</b>	<b>Die Elektronentheorie der Valenz .....</b>	<b>112</b>
<b>1.1</b>	<b>Verbindungen erster Ordnung .....</b>	<b>113</b>
1.1.1	Die Metallbindung .....	113
	Bindungsmechanismus und Eigenschaften der Metalle (S. 113), Metallwertigkeit, Metallgitterenergie und Metallatomradien (S. 114), Strukturen der Metalle (S. 115), Legierungen (S. 119)	
1.1.2	Die Ionenbindung .....	120
	Bindungsmechanismus und Eigenschaften der Ionenverbindungen (S. 120), Ionenwertigkeit (S. 121), Gitterenergie von Ionenkristallen (S. 122), Strukturen einiger Ionenkristalle (S. 124), Kristallgitter von Salzen und anderen Festkörpern (S. 127), Ionenradien (S. 128), Mischkristallbildung (S. 130)	
1.1.3	Die Atombindung .....	131
	Bindungsmechanismus und Eigenschaften der Atomverbindungen (S. 131), Atomwertigkeit (S. 132), Bindungsgrad, Bindungslänge und Atomradien (S. 135), Molekülgestalt und Bindungswinkel (S. 139), Bindungsenergie (S. 141)	
1.1.4	Übergänge zwischen den Bindungsarten .....	143
	Elektronegativität (S. 145), Dipolmoment der Moleküle (S. 147), Halbmetalle und Halbleiter (S. 148)	
1.1.5	Übergänge zwischen Verbindungen und Elementen. Clusterverbindungen	149
<b>1.2</b>	<b>Verbindungen höherer Ordnung .....</b>	<b>150</b>
1.2.1	Die koordinative Bindung .....	151
1.2.2	Komplexbildung am Elektronendonator .....	151
1.2.3	Komplexbildung am Elektronendonatorakzeptor .....	154
1.2.4	Komplexbildung am Elektronenakzeptor .....	155
<b>1.3</b>	<b>Assoziate von Molekülen .....</b>	<b>157</b>
1.3.1	Die zwischenmolekulare Bindung .....	158
1.3.2	Wasserstoffbrücken-Assoziate .....	160
1.3.3	Charge-Transfer-Komplexe .....	165
<b>1.4</b>	<b>Kolloiddisperse Systeme .....</b>	<b>166</b>
	Vergleich grob-, kolloid- und molekulardisperser Lösungen (S. 167), Beständigkeit kolloider Lösungen (S. 168)	
<b>2</b>	<b>Molekülspektren .....</b>	<b>170</b>
<b>2.1</b>	<b>Überblick .....</b>	<b>170</b>
<b>2.2</b>	<b>Farbe chemischer Stoffe .....</b>	<b>171</b>
2.2.1	Allgemeines .....	171



2.2.2	Spezielles	174
	Farbe von Atomen und Atomionen (S. 174), Farbe von Molekülen und Molekülionen (S. 175), Farbe von Komplexen (S. 176), Farbe von Festkörpern (S. 176)	
3	Laser und Anwendungen	177
4	Molekülsymmetrie	180
4.1	Symmetrieelemente und Symmetrioperationen	181
4.2	Punktgruppen	182
4.3	Anwendungen	184
<b>Kapitel VII</b>	<b>Die Molekülumwandlung. Die chemische Reaktion, Teil II</b>	<b>186</b>
1	Das chemische Gleichgewicht	186
1.1	Die Reaktionsgeschwindigkeit	187
1.1.1	Die „Hin“-Reaktion	187
1.1.2	Die „Rück“-Reaktion	189
1.1.3	Die Gesamtreaktion	192
1.2	Der Gleichgewichtszustand	193
1.2.1	Das Massenwirkungsgesetz	193
1.2.2	Das Verteilungsgesetz	195
1.2.3	Die elektrolytische Dissoziation	196
	Allgemeines (S. 196), Dissoziation schwacher Säuren (S. 199)	
1.3	Die Beschleunigung der Gleichgewichtseinstellung	202
1.3.1	Reaktionsbeschleunigung durch Katalysatoren	203
1.3.2	Reaktionsbeschleunigung durch Temperaturerhöhung	204
1.4	Die Verschiebung von Gleichgewichten	205
1.4.1	Qualitative Beziehungen	205
	Das Prinzip von Le Chatelier (S. 205), Folgerungen des Prinzips von Le Chatelier (S. 205)	
1.4.2	Quantitative Anwendungsbeispiele	207
	Die Hydrolyse (S. 207), Die Neutralisation (S. 209)	
1.5	Heterogene Gleichgewichte	212
1.5.1	Fest-gasförmige Systeme	213
1.5.2	Fest-flüssige Systeme	214
2	Die Oxidation und Reduktion	217
2.1	Ableitung eines neuen Oxidations- und Reduktionsbegriffs	217
2.1.1	Das Redoxsystem	217
2.1.2	Die Oxidationsstufe	219
2.2	Die elektrochemische Spannungsreihe	220
2.2.1	Das Normalpotential	220
	Allgemeines (S. 220), Normalpotentiale in saurer und basischer Lösung (S. 223), Relative Stärke gebräuchlicher Oxidations- und Reduktionsmittel (S. 227)	
2.2.2	Die Konzentrationsabhängigkeit des Einzelpotentials	229
	Allgemeines (S. 229), Redoxkraft in saurer, neutraler und basischer Lösung (S. 232)	
2.3	Die elektrolytische Zersetzung	234
2.4	Elektrische Batterien	237
3	Die Acidität und Basizität	240
3.1	Ableitung neuer Säure- und Basebegriffe	240
3.1.1	Brönsted-Säuren und -Basen	240
	Aquasystem (S. 240), Protonenhaltige und protonenfreie Systeme (S. 242)	
3.1.2	Lewis-Säuren und -Basen	244
3.2	Stärke von Brönsted-Säuren und -Basen	245

3.2.1	Die protochemische Spannungsreihe .....	245
3.2.2	Die Konzentrationsabhängigkeit der Brönsted'schen Acidität und Basizität Allgemeines (S. 248), Sehr starke Säuren und Supersäuren (S. 250)	248
3.3	Stärke und Weichheit von Lewis-Säuren und -Basen .....	253
3.3.1	Das HSAB-Prinzip .....	253
	Allgemeines (S. 253), Anwendungen (S. 254)	
3.3.2	Schwach koordinierende Ionen .....	256
	Schwach koordinierende Anionen (S. 256), Schwach koordinierende Kationen (S. 257)	
<b>Kapitel VIII Der Wasserstoff und seine Verbindungen .....</b>		<b>259</b>
1	Das Element Wasserstoff .....	259
1.1	Vorkommen .....	259
1.2	Darstellung .....	260
	Wasserstoffgewinnung aus Wasser (S. 260), Wasserstoffgewinnung aus Kohlenwasserstoffen (S. 263), Reinigung und Transport von Wasserstoff (S. 263)	
1.3	Physikalische Eigenschaften .....	264
1.4	Chemische Eigenschaften .....	265
	Thermisches Verhalten (S. 265), Säure-Base-Verhalten (S. 266), Redox-Verhalten (S. 267)	
1.5	Verwendung, Brennstoffzellen .....	269
1.6	Besondere Formen des Wasserstoffs .....	271
	Atomarer Wasserstoff (S. 271), Leichter, schwerer, superschwerer Wasserstoff (S. 273), Ortho- und Parawasserstoff (S. 274)	
2	Verbindungen des Wasserstoffs (Überblick) .....	276
2.1	Grundlagen .....	276
2.1.1	Systematik .....	276
2.1.2	Stöchiometrie .....	277
2.1.3	Struktur und Bindung .....	280
	Salzartige Wasserstoffverbindungen (S. 280), Metallartige Wasserstoffverbindungen (S. 282), Kovalente Wasserstoffverbindungen (S. 283)	
2.2	Darstellung .....	285
	Elementwasserstoffgewinnung durch Hydrogenolyse (S. 285), Elementwasserstoffgewinnung durch Protolyse (S. 287), Elementwasserstoffgewinnung durch Hydridolyse (S. 288)	
2.3	Physikalische Eigenschaften .....	288
2.4	Chemische Eigenschaften .....	290
	Thermisches Verhalten (S. 290), Säure-Base-Verhalten (S. 292), Redox-Verhalten (S. 293)	
2.5	Verwendung, Metallhydrid-Nickel-Akkumulator .....	295

## **Teil B Hauptgruppenelemente .....** 297

<b>Kapitel IX Hauptgruppenelemente (Repräsentative Elemente) .....</b>		<b>299</b>
1	Periodensystem (Teil II) der Hauptgruppenelemente .....	299
1.1	Elektronenkonfiguration der Hauptgruppenelemente .....	299
1.2	Einordnung der Hauptgruppenelemente in das Periodensystem .....	301
2	Trends einiger Eigenschaften der Hauptgruppenelemente .....	301
	Metallischer und nichtmetallischer Charakter (S. 302), Wertigkeit (S. 304), Allgemeine Reaktivität (S. 305), Periodizitäten innerhalb des Hauptsystems (S. 307)	

<b>Kapitel X Grundlagen der Molekülchemie</b>	312
<b>1 Strukturen der Moleküle</b>	313
<b>1.1 Der räumliche Bau der Moleküle. Strukturvorhersagen mit dem VSEPR-Modell</b>	313
1.1.1 VSEPR-Regeln	314
Ideale $(:)_m\text{ZL}_n$ -Strukturen (S. 314), Reale $(:)_m\text{ZL}_n$ -Strukturen (S. 315)	
1.1.2 Anwendungen der VSEPR-Regeln	316
1.1.3 Ausnahmen der VSEPR-Regeln	323
<b>1.2 Die Isomerie der Moleküle</b>	325
<b>2 Bindungsmodelle der Moleküle. Die chemische Bindung, Teil II</b>	327
<b>2.1 Die Atomorbitale (AO)</b>	327
2.1.1 Das Wasserstoffatom	328
Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Wasserstoffelektrons (S. 330), Wellenfunktionen des Wasserstoffelektrons (S. 334)	
2.1.2 Atome mit mehreren Elektronen	337
2.1.3 Mehratomige Systeme (Moleküle)	339
2.1.4 Relativistische Effekte	340
<b>2.2 Die Molekülorbitale (MO). Strukturvorhersagen mit dem LCAO-Modell</b>	343
2.2.1 Zweiatomige Moleküle	344
Allgemeines (S. 344), Lineare Kombination von Atomorbitalen zu Molekülorbitalen (S. 347)	
2.2.2 Mehratomige Moleküle	355
<b>2.3 Die Hybridorbitale (HO). Strukturvorhersagen mit dem HO-Modell</b>	361
2.3.1 Allgemeines	361
Gestalt der Hybridorbitale (S. 361), Strukturvorhersage mithilfe von Hybridorbitalen (S. 363)	
2.3.2 Struktur von Molekülen mit Einfachbindungen	364
2.3.3 Struktur von Molekülen mit Mehrfachbindungen	368
<b>3 Reaktionsmechanismen der Moleküle. Die chemische Reaktion, Teil III</b>	371
<b>3.1 Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen</b>	372
3.1.1 Chemische Geschwindigkeitsgesetze	372
3.1.2 Geschwindigkeiten chemischer Reaktionen	373
Halbwertszeit chemischer Vorgänge (S. 374), Zeitmaßstab physikalischer und chemischer Vorgänge (S. 376)	
<b>3.2 Der Mechanismus chemischer Reaktionen</b>	380
3.2.1 Isomerisierungen	382
3.2.2 Dissoziationen und Assoziationen	384
Dissoziationen und Rekombinationen (S. 384), Eliminierungen und Additionen (S. 387)	
3.2.3 Substitutionen	389
Homolytische Substitutionsreaktionen (S. 389), Radikalkettenreaktionen (S. 390), Heterolytische Substitutionsreaktionen (S. 393), Nucleophile Substitutionsreaktionen (S. 394), Nucleophile Substitutionen an tetraedrischen und pseudo-tetraedrischen Zentren (S. 398)	
3.2.4 Die Erhaltung der Orbitalsymmetrie	402
<b>4 Stereochemie der Moleküle</b>	405
<b>4.1 Stereochemische Isomerie (Stereoisomerie)</b>	406
4.1.1 Enantiomerie	406
Moleküle mit <i>einem</i> Chiralitätszentrum (S. 408), Moleküle mit <i>mehreren</i> Chiralitätszentren (S. 409)	

4.1.2	Diastereomerie .....	411
	Isomere mit diastereomeren Konfigurationen (S. 412), Isomere mit diastereomeren Konformationen (S. 413)	
4.2	Stereochemische Dynamik .....	414
4.2.1	Enantioselektive Reaktionen .....	414
4.2.2	Stereochemie chemischer Reaktionen .....	416
<b>Kapitel XI Die Gruppe der Edelgase .....</b>		<b>417</b>
1	Die Elemente Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und Radon .....	417
	Vorkommen (S. 417), Gewinnung (S. 418), Physikalische Eigenschaften (S. 419), Verwendung (S. 420), Chemische Eigenschaften (S. 421), Edelgase in Verbindungen (S. 422)	
2	Die Verbindungen der Edelgase .....	422
2.1	Edelgashalogenide .....	422
2.2	Edelgasoxide und -fluoridoxide .....	426
2.3	Sonstige Edelgasverbindungen .....	428
<b>Kapitel XII Die Gruppe der Halogene .....</b>		<b>430</b>
1	Die Elemente Fluor, Chlor, Brom, Iod und Astat .....	430
1.1	Das Fluor .....	430
1.2	Das Chlor .....	433
	Vorkommen (S. 433), Darstellung (S. 433), Physikalische Eigenschaften (S. 436), Chemische Eigenschaften (S. 437), Verwendung (S. 438)	
1.3	Das Brom .....	438
1.4	Das Iod .....	440
1.5	Das Astat .....	443
1.6	Halogen-Ionen sowie Assoziat .....	443
	Halogen-Kationen (S. 443), Halogen-Anionen (Halogenide) (S. 446), Halogen-Assoziat (S. 446)	
1.7	Halogene in Verbindungen .....	447
2	Wasserstoffverbindungen der Halogene .....	448
	Fluorwasserstoff (S. 448), Chlorwasserstoff (S. 452), Bromwasserstoff (S. 454), Iodwasserstoff (S. 455)	
3	Interhalogene .....	457
	Zweiatomige Interhalogene (S. 457), Mehratomige Interhalogene (S. 459), Interhalogen-Kationen und -Anionen (S. 461)	
4	Sauerstoffsäuren der Halogene .....	463
4.1	Überblick .....	463
4.2	Sauerstoffsäure des Fluors .....	465
4.3	Sauerstoffsäuren des Chlors .....	466
	Hypochlorige Säure $\text{HClO}$ (S. 466), Chlorige Säure $\text{HClO}_2$ (S. 468), Chlorsäure $\text{HClO}_3$ (S. 469), Perchlorsäure $\text{HClO}_4$ (S. 471)	
4.4	Sauerstoffsäuren des Broms .....	472
4.5	Sauerstoffsäuren des Iods .....	474
5	Oxide und Fluoridoxide der Halogene .....	478
5.1	Überblick .....	478
5.2	Sauerstoffverbindungen des Fluors .....	479
5.3	Oxide des Chlors .....	482
	Dichloroxid $\text{Cl}_2\text{O}$ (S. 482), Chlordioxid $\text{ClO}_2$ (S. 482), Weitere Chloroxide (S. 485)	
5.4	Oxide des Broms .....	487
5.5	Oxide des Iods .....	488

5.6	Fluoridoxide des Chlors, Broms und Iods .....	490
6	Verbindungen der Halogene (Überblick) .....	492
6.1	Grundlagen .....	492
6.1.1	Systematik .....	492
6.1.2	Strukturverhältnisse .....	493
6.1.3	Bindungsverhältnisse .....	494
6.2	Darstellung .....	494
6.3	Eigenschaften und Verwendung .....	494
<b>Kapitel XIII</b>	<b>Die Gruppe der Chalkogene</b> .....	497
1	Der Sauerstoff .....	497
1.1	Das Element Sauerstoff .....	498
1.1.1	Sauerstoff (Dioxygen) .....	498
	Vorkommen (S. 498), Darstellung (S. 498), Physikalische Eigenschaften (S. 501), Chemische Eigenschaften (S. 501), Verwendung (S. 503)	
1.1.2	Ozon (Trioxigen) .....	504
	Darstellung (S. 504), Physikalische Eigenschaften (S. 505), Chemische Eigenschaften (S. 506), Verwendung (S. 507)	
1.1.3	Sauerstoff-Ionen. Oxide .....	507
	Sauerstoff-Kationen (S. 507), Sauerstoff-Anionen. Oxide (S. 508)	
1.1.4	Kurzlebige Sauerstoffspezies .....	509
	Singulett-Sauerstoff (S. 510), Farbe des Sauerstoffs (S. 511), Atomarer Sauerstoff (S. 513), Tetrasauerstoff (S. 513)	
1.1.5	Sauerstoff in Verbindungen .....	514
1.2	Die Atmosphäre .....	514
1.2.1	Bestandteile der Atmosphäre. Evolution der Erde .....	515
1.2.2	Der Kreislauf des Ozons .....	516
	Bildung und Zerfall von Ozon in der mittleren und oberen Atmosphäre (S. 517), Bildung und Zerfall von Ozon in der unteren Atmosphäre (S. 518), Katalytischer Abbau von Ozon in der Atmosphäre (S. 519)	
1.2.3	Chemie der Atmosphäre und ihre Umweltfolgen .....	520
1.3	Wasserstoffverbindungen des Sauerstoffs .....	524
1.3.1	Überblick .....	524
1.3.2	Wasser und die Hydrosphäre .....	525
	Vorkommen (S. 525), Reinigung (S. 526), Physikalische Eigenschaften (S. 528), Strukturverhältnisse (S. 529), Chemische Eigenschaften (S. 530), Schweres und Superschweres Wasser (S. 533)	
1.3.3	Wasserstoffperoxid .....	534
	Darstellung (S. 534), Physikalische Eigenschaften und Struktur (S. 535), Chemische Eigenschaften (S. 535), Verwendung (S. 539), Salze von $\text{H}_2\text{O}_2$ (S. 539)	
2	Der Schwefel .....	540
2.1	Das Element Schwefel .....	540
2.1.1	Vorkommen .....	540
2.1.2	Gewinnung .....	541
2.1.3	Physikalische Eigenschaften .....	543
	Aggregatzustände des Schwefels (S. 543), Zustandsdiagramm des Schwefels. Phasenübergänge (S. 545)	
2.1.4	Chemische Eigenschaften und Verwendung .....	547
2.1.5	Schwefel-Allotrope .....	550
	Darstellung (S. 550), Strukturen (S. 551), Mechanistische Aspekte der $\text{S}_n$ -Modifikationsumwandlungen (S. 554)	

2.1.6	Schwefel-Ionen. Sulfide	554
	Schwefel-Kationen (S. 554), Schwefel-Anionen. Sulfide (S. 556)	
2.1.7	Schwefel in Verbindungen	557
<b>2.2</b>	Wasserstoffverbindungen des Schwefels	557
2.2.1	Schwefelwasserstoff (Sulfan) $\text{H}_2\text{S}$	557
2.2.2	Höhere Schwefelwasserstoffe (Polysulfane) $\text{H}_2\text{S}_n$	561
<b>2.3</b>	Halogenverbindungen des Schwefels	562
2.3.1	Überblick	562
2.3.2	Schwefelfluoride	564
2.3.3	Schwefelchloride, -bromide, -iodide	567
<b>2.4</b>	Oxide des Schwefels	569
2.4.1	Überblick	569
2.4.2	Schwefeldioxid $\text{SO}_2$	570
2.4.3	Schwefeltrioxid $\text{SO}_3$	573
2.4.4	Niedere Schwefeloxide	575
<b>2.5</b>	Sauerstoffsäuren des Schwefels	577
2.5.1	Überblick	577
2.5.2	Schweflige Säure $\text{H}_2\text{SO}_3$ und Dischweflige Säure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$	579
2.5.3	Schwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_4$ und Dischwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$	583
	Darstellung (S. 583), Physikalische Eigenschaften (S. 586), Strukturen (S. 586), Chemische Eigenschaften (S. 587), Verwendung (S. 590), Derivate (S. 590)	
2.5.4	Niedere Schwefelsäuren $\text{H}_2\text{SO}$ , $\text{H}_2\text{SO}_2$ , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}$ , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_2$	593
2.5.5	Dithionige Säure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ und Dithionsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$	594
2.5.6	Thioschwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$	595
2.5.7	Polysulfanmonosulfonsäuren $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_3$ und Polysulfandisulfonsäuren (Polythionsäuren) $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_6$	598
2.5.8	Peroxomonoschwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_5$ und Peroxodischwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$	600
<b>2.6</b>	Stickstoffverbindungen des Schwefels	601
2.6.1	Schwefelnitride	602
	Tetraschwefeltetranitrid („Schwefelstickstoff“) $\text{S}_4\text{N}_4$ (S. 603), Weitere Schwefelnitride (S. 606)	
2.6.2	Schwefelnitrid-Ionen	609
	Schwefelnitrid-Kationen (S. 609), Schwefelnitrid-Anionen (S. 610)	
2.6.3	Schwefelnitridhalogenide und -oxide	612
	Schwefel-Stickstoff-Halogen-Verbindungen (S. 612), Schwefel-Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen (S. 615)	
<b>3</b>	Das Selen, Tellur und Polonium	617
<b>3.1</b>	Die Elemente Selen, Tellur, Polonium	617
3.1.1	Vorkommen	617
3.1.2	Darstellung	618
3.1.3	Physikalische Eigenschaften und Strukturen	618
3.1.4	Chemische Eigenschaften und Verwendung	619
3.1.5	Selen-, Tellur-, Polonium-Allotrope	621
3.1.6	Selen-, Tellur-, Polonium-Ionen. Chalkonide	622
	Chalkogen-Kationen (S. 622), Chalkogen-Anionen. Chalkogenide (S. 624)	
3.1.7	Selen, Tellur, Polonium in Verbindungen	626
<b>3.2</b>	Wasserstoffverbindungen des Selens, Tellurs, Poloniums	626
<b>3.3</b>	Halogenverbindungen des Selens, Tellurs, Poloniums	627
3.3.1	Überblick	627
3.3.2	Selenhalogenide	629

3.3.3	Tellurhalogenide .....	631
<b>3.4</b>	Interchalkogene .....	634
3.4.1	Überblick .....	634
3.4.2	Selen-, Tellur-, Poloniumoxide .....	635
	Darstellung (S. 635), Eigenschaften (S. 636), Strukturen (S. 636)	
3.4.3	Selensulfide .....	637
<b>3.5</b>	Sauerstoffsäuren des Selens, Tellurs, Poloniums .....	638
3.5.1	Überblick .....	638
3.5.2	Sauerstoffsäuren des Selens .....	639
3.5.3	Sauerstoffsäuren des Tellurs .....	642
3.5.4	Sauerstoffsäure des Poloniums .....	643
<b>3.6</b>	Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen des Selens und Tellurs .....	643
<b>3.7</b>	Organische Verbindungen des Selens und Tellurs .....	645
<b>4</b>	Verbindungen der Chalkogene (Überblick) .....	646
<b>4.1</b>	Grundlagen .....	646
4.1.1	Systematik .....	646
4.1.2	Strukturverhältnisse .....	647
4.1.3	Bindungsverhältnisse .....	648
<b>4.2</b>	Darstellung .....	649
<b>4.3</b>	Eigenschaften und Verwendung .....	650
<b>Kapitel XIV</b>	<b>Die Stickstoffgruppe („Pentele“)</b> .....	651
<b>1</b>	Der Stickstoff .....	651
<b>1.1</b>	Das Element Stickstoff .....	651
1.1.1	Vorkommen .....	651
1.1.2	Darstellung .....	652
1.1.3	Physikalische Eigenschaften .....	652
1.1.4	Chemische Eigenschaften und Verwendung .....	653
1.1.5	Allotrope und ionogene Formen von Stickstoff. Nitride .....	655
	Stickstoff-Allotrope (S. 655), Stickstoff-Kationen (S. 657), Stickstoff-Anionen. Nitride (S. 658)	
1.1.6	Stickstoff in Verbindungen .....	659
<b>1.2</b>	Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs .....	659
1.2.1	Überblick .....	659
1.2.2	Ammoniak $\text{NH}_3$ .....	661
	Darstellung (S. 661), Physikalische Eigenschaften (S. 665), Chemische Eigenschaften und Verwendung (S. 665), Ammoniumsalze und Düngemittel (S. 669), Inversion von Ammoniak und anderen Molekülen (S. 672)	
1.2.3	Hydrazin $\text{N}_2\text{H}_4$ .....	675
	Darstellung (S. 675), Eigenschaften und Verwendung (S. 676), Innere Rotation von Hydrazin und anderen Molekülen (S. 678)	
1.2.4	Stickstoffwasserstoffsäure $\text{HN}_3$ .....	680
	Darstellung (S. 680), Physikalische Eigenschaften und Struktur (S. 681), Chemische Eigenschaften und Verwendung (S. 681), Azide (S. 683), Pseudoelemente, Paraelemente (S. 684)	
1.2.5	Nitren $\text{NH}$ .....	686
1.2.6	Diimin $\text{N}_2\text{H}_2$ .....	686
1.2.7	Triazan $\text{N}_3\text{H}_5$ , Tetrazaan $\text{N}_4\text{H}_6$ und Triazen $\text{N}_3\text{H}_3$ .....	690
1.2.8	Tetrazen $\text{N}_4\text{H}_4$ .....	692
<b>1.3</b>	Halogenverbindungen des Stickstoffs .....	693
1.3.1	Überblick .....	693

1.3.2	Halogenderivate des Ammoniaks	695
	Überblick (S. 695), Fluoramine (S. 696), Chloramine (S. 697), Brom- und Iodamine (S. 701)	
1.3.3	Halogenderivate des Hydrazins und Diimins	702
1.3.4	Halogenderivate der Stickstoffwasserstoffsäure (Halogenazide)	704
1.4	Oxide des Stickstoffs	704
1.4.1	Überblick	704
1.4.2	Distickstoffmonoxid $N_2O$	705
1.4.3	Stickstoffmonoxid $NO$ . Distickstoffdioxid $N_2O_2$	707
1.4.4	Distickstofftrioxid $N_2O_3$	712
1.4.5	Stickstoffdioxid $NO_2$ . Distickstofftetraoxid $N_2O_4$	713
1.4.6	Sonstige Stickstoffoxide	715
1.5	Sauerstoffsäuren des Stickstoffs	717
1.5.1	Überblick	717
1.5.2	Hydroxylamin $NH_2OH$	719
1.5.3	Nitrosowasserstoff $HNO$	721
1.5.4	Salpetrige Säure $HNO_2$	723
	Darstellung und Struktur (S. 723), Eigenschaften und Verwendung (S. 724), Nitrosylverbindungen und Nitrosierungen (S. 726)	
1.5.5	Salpetersäure $HNO_3$	729
	Darstellung (S. 729), Physikalische Eigenschaften und Struktur (S. 731), Chemische Eigenschaften und Verwendung (S. 732), Salze (S. 733), Nitrylverbindungen und Nitrierungen (S. 734)	
1.5.6	Di- und Tristickstoffsauerstoffsäuren	736
1.5.7	Peroxosäuren des Stickstoffs	739
1.6	Schwefelverbindungen des Stickstoffs	740
2	Der Phosphor	743
2.1	Das Element Phosphor	743
2.1.1	Vorkommen	743
2.1.2	Darstellung	744
2.1.3	Physikalische Eigenschaften und Strukturen	746
2.1.4	Chemische Eigenschaften und Verwendung	750
2.1.5	Allotrope und ionogene Formen von Phosphor. Phosphide	753
	Phosphor-Allotrope (S. 753), Phosphor-Kationen (S. 754), Phosphor-Anionen. Phosphide (S. 755)	
2.1.6	Phosphor in Verbindungen	757
2.2	Wasserstoffverbindungen des Phosphors	758
2.2.1	Überblick	758
2.2.2	Acyclische gesättigte Phosphane	762
	Monophosphan $PH_3$ (S. 762), Höhere acyclische Phosphane $P_nH_{n+2}$ (S. 764)	
2.2.3	Cyclische gesättigte Phosphane	768
	Monocyclische Phosphane $P_nH_n$ (S. 768), Bicyclische Phosphane $P_nH_{n+2}$ (S. 769), Oligocyclische (käfigartige) Phosphane $P_nH_{n+m}$ (S. 770)	
2.2.4	Ungesättigte Phosphane (Phosphene)	773
2.3	Halogenverbindungen des Phosphors	775
	Überblick (S. 775), Phosphor(III)-halogenide (S. 777), Phosphor(< III)-halogenide (S. 779), Phosphor(V)-halogenide (S. 780), Pseudorotation und andere Ligandenaustauschprozesse (S. 782)	
2.4	Chalkogenverbindungen des Phosphors	783
	Überblick (S. 783), Phosphoroxide (S. 786), Phosphorsulfide und -selenide (S. 788)	
2.5	Sauerstoffsäuren des Phosphors	789



2.5.1	Überblick .....	789
2.5.2	Phosphinsäure $\text{H}_3\text{PO}_2$ .....	793
2.5.3	Phosphonsäure $\text{H}_3\text{PO}_3$ .....	794
2.5.4	Phosphorsäure $\text{H}_3\text{PO}_4$ .....	795
	Darstellung (S. 795), Physikalische Eigenschaften und Struktur (S. 796), Chemische Eigenschaften (S. 797), Salze und Phosphatdünger (S. 798), Derivate (S. 801)	
2.5.5	Kondensierte Phosphorsäuren .....	804
	Oligophosphorsäuren (S. 805), Polyphosphorsäuren (S. 807), Phosphate in der Natur (S. 808), Derivate kondensierter Phosphorsäuren (S. 809)	
2.5.6	Niedere Phosphorsäuren .....	809
2.5.7	Peroxophosphorsäuren .....	811
2.6	Stickstoffverbindungen des Phosphors .....	811
2.6.1	Überblick .....	811
2.6.2	Phosphornitride .....	812
2.6.3	Imino- und Nitridophosphorane (Phosph(V)-azene, -azine) .....	814
2.6.4	Iminophosphane (Phosph(III)-azene) .....	816
2.6.5	Aminophosphane, -phosphorane (Phosph(III und V)-azene) .....	816
2.7	Organische Verbindungen des Phosphors .....	817 •
	Überblick (S. 817•), Organylphosphane und -phosphoniumsalze (S. 818•), Phosphaalkene und Phosphaalkine (S. 819•), Organylphosphorane (S. 821•)	
3	Das Arsen, Antimon und Bismut .....	822
3.1	Die Elemente Arsen, Antimon, Bismut .....	822
3.1.1	Vorkommen .....	822
3.1.2	Darstellung .....	823
3.1.3	Physikalische Eigenschaften und Strukturen .....	824
3.1.4	Chemische Eigenschaften und Verwendung .....	826
3.1.5	Verwendung, Legierungen .....	827
3.1.6	Allotrope und ionogene Formen von Arsen, Antimon, Bismut. Pentelide Allotrope (S. 828), Kationen (S. 828), Anionen. Arsenide, Antimonide, Bismutide (S. 829)	828
3.1.7	Arsen, Antimon und Bismut in Verbindungen .....	829
3.2	Wasserstoffverbindungen des Arsens, Antimons, Bismuts .....	829
3.3	Halogenverbindungen des Arsens, Antimons, Bismuts .....	832
3.3.1	Überblick .....	832
3.3.2	Trihalogenide $\text{EX}_3$ .....	834
3.3.3	Pentahalogenide $\text{EX}_5$ .....	837
3.3.4	Niedrigwertige Halogenide $\text{EX}_{<3}$ .....	838
3.4	Chalkogenverbindungen des Arsens, Antimons, Bismuts .....	839
3.4.1	Überblick .....	839
3.4.2	Oxide und Sauerstoffsäuren des Arsens .....	841
3.4.3	Sulfide und Thiosäuren des Arsens .....	845
3.4.4	Oxide und Sauerstoffsäuren des Antimons .....	847
3.4.5	Sulfide und Thiosäuren des Antimons .....	849
3.4.6	Oxide und Sulfide, Säuren und Basen des Bismuts .....	850
3.5	Interpentete .....	852
3.6	Organische Verbindungen des Arsens, Antimons, Bismuts .....	853 •
3.6.1	Überblick .....	853 •
	Organylarsane, -stibane, -bismutane und Derivate $\text{R}_n\text{EX}_{3-n}$ (S. 854•), Organylarsorane, -stiborane, -bismorane und Derivate $\text{R}_n\text{EX}_{5-n}$ (S. 855•), Höhere gesättigte Organylarsane, -stibane, -bismutane (S. 857•), Ungesättigte Organylarsane, -stibane, -bismutane (S. 859•)	

<b>Kapitel XV Die Kohlenstoffgruppe („Tetrel“)</b>	861
<b>1 Der Kohlenstoff</b>	861
<b>1.1 Das Element Kohlenstoff</b>	862
1.1.1 Vorkommen	862
1.1.2 Gewinnung, Physikalische Eigenschaften, Strukturen, Verwendung	863
Überblick (S. 863), Graphit und graphitischer Kohlenstoff (S. 864), Diamant (S. 868), Fullerene (S. 870), Kohlenstoff-Nanoröhren (S. 876)	
1.1.3 Chemische Eigenschaften	877
Allgemeines (S. 877), Graphitverbindungen (S. 879), Fullerenverbindungen (S. 881), Verbindungen der Kohlenstoff-Nanoröhren (S. 883)	
1.1.4 Kohlenstoff-Ionen. Carbide	884
Überblick (S. 884), Carbide (S. 884)	
1.1.5 Kohlenstoff in Verbindungen	886
<b>1.2 Wasserstoffverbindungen des Kohlenstoffs</b>	887
<b>1.3 Halogenverbindungen des Kohlenstoffs</b>	890
<b>1.4 Chalkogenverbindungen des Kohlenstoffs</b>	892
1.4.1 Überblick	892
1.4.2 Kohlenstoffdioxid (Kohlendioxid) $\text{CO}_2$	893
1.4.3 Kohlenstoffmonoxid (Kohlenmonoxid, Kohlenoxid) $\text{CO}$	896
1.4.4 Kohlenstoffdisulfid $\text{CS}_2$ , Kohlenstoffoxidsulfid $\text{COS}$	900
1.4.5 Sonstige Kohlenstoffoxide und -sulfide	901
1.4.6 Kohlenstoffselenide und -telluride	903
<b>1.5 Chalkogensäuren des Kohlenstoffs</b>	903
1.5.1 Überblick	903
1.5.2 Die Kohlensäure	906
1.5.3 Einige weitere Kohlenstoff-Chalkogensäuren	908
1.5.4 Fette und Kohlenhydrate	909
<b>1.6 Stickstoffverbindungen des Kohlenstoffs</b>	910
1.6.1 Überblick	910
1.6.2 Kohlenstoffnitride, Cyanverbindungen	911
1.6.3 $\alpha$ -Aminosäuren, Proteine, Nucleobasen, Nucleotide	914
1.6.4 Evolution des Lebens	915
<b>1.7 Metallorganische Verbindungen</b>	916 •
Verbindungsbestandteile (S. 916 •), Verbindungstypen (S. 917 •)	
<b>2 Das Silicium</b>	918
<b>2.1 Das Element Silicium</b>	918
2.1.1 Vorkommen	918
2.1.2 Darstellung	919
2.1.3 Physikalische Eigenschaften und Strukturen	921
2.1.4 Chemische Eigenschaften	922
2.1.5 Verwendung, Chips	923
2.1.6 Silicium-Ionen. Silicide	923
Überblick (S. 923), Silicide (S. 924)	
2.1.7 Zintl-Phasen	925
2.1.8 Silicium in Verbindungen	927
Oxidationsstufen und Koordinationszahlen (S. 927), Vergleich von Silicium und Kohlenstoff (S. 928)	
<b>2.2 Wasserstoffverbindungen des Siliciums</b>	936
Überblick (S. 936), Monosilan $\text{SiH}_4$ (S. 937), Höhere gesättigte Silane $\text{Si}_n\text{H}_{2n+m}$ (S. 940), Silylen $\text{SiH}_2$ (S. 942), Ungesättigte Silane (S. 942)	

<b>2.3</b>	<b>Halogenverbindungen des Siliciums</b> . . . . .	<b>944</b>
	Überblick (S. 944), Siliciumtetrahalogenide (Tetrahalogensilane) $\text{SiX}_4$ (S. 945), Disiliciumhexahalogenide (Hexahalogendisilane) $\text{Si}_2\text{X}_6$ (S. 948), Höhere Siliciumhalogenide $\text{Si}_n\text{X}_{2n+m}$ (S. 948), Dihalogensilylene (Siliciumdihalogenide) $\text{SiX}_2$ (S. 949)	
<b>2.4</b>	<b>Chalkogenverbindungen des Siliciums</b> . . . . .	<b>949</b>
	Siliciumdioxid $\text{SiO}_2$ (S. 950), Siliciummonoxid $\text{SiO}$ (S. 953), Sonstige Siliciumchalkogenide (S. 954)	
<b>2.5</b>	<b>Sauerstoffsäuren des Siliciums. Silicate</b> . . . . .	<b>955</b>
2.5.1	Überblick . . . . .	955
2.5.2	Kieselsäuren . . . . .	959
	Monokieselsäure $\text{H}_4\text{SiO}_4$ (S. 959), Polykieselsäuren (S. 961)	
2.5.3	Natürliche Silicate . . . . .	962
	Insel-, Gruppen- und Ringsilicate (S. 963), Ketten- und Bandsilicate („Inosilicate“) (S. 964), Schichtsilicate („Phyllosilicate“) (S. 965), Gerüstsilicate („Tectosilicate“) (S. 970)	
2.5.4	Technische Silicate . . . . .	973
	Alkalisilicate (S. 974), Gläser (S. 974), Tonwaren (Tonkeramik) (S. 979)	
<b>2.6</b>	<b>Nitride und Carbide des Siliciums</b> . . . . .	<b>982</b>
<b>2.7</b>	<b>Organische Verbindungen des Siliciums</b> . . . . .	<b>985 •</b>
	Überblick (S. 985•), Organylmonosilane und Derivate (S. 986•), Silicone (S. 992•), Höhere Organylsilane (Organyloligosilane) (S. 994•), Organylsilylene (S. 995•), Ungesättigte Organylsilane (S. 997•)	
<b>3</b>	<b>Das Germanium, Zinn und Blei</b> . . . . .	<b>1002</b>
<b>3.1</b>	<b>Die Elemente Germanium, Zinn, Blei</b> . . . . .	<b>1002</b>
3.1.1	Vorkommen . . . . .	1003
3.1.2	Darstellung . . . . .	1003
3.1.3	Physikalische Eigenschaften und Strukturen . . . . .	1004
3.1.4	Chemische Eigenschaften . . . . .	1005
3.1.5	Verwendung, Legierungen . . . . .	1006
3.1.6	Alltrophe und ionogene Formen von Germanium, Zinn, Blei . . . . .	1007
	Überblick (S. 1007), Germanide, Stannide, Plumbide (S. 1007)	
3.1.7	Germanium, Zinn und Blei in Verbindungen . . . . .	1009
<b>3.2</b>	<b>Wasserstoffverbindungen des Germaniums, Zinns, Bleis</b> . . . . .	<b>1009</b>
<b>3.3</b>	<b>Halogenverbindungen des Germaniums, Zinns, Bleis</b> . . . . .	<b>1011</b>
3.3.1	Überblick . . . . .	1011
3.3.2	Dihalogenide $\text{EX}_2$ . . . . .	1013
3.3.3	Tetrahalogenide $\text{EX}_4$ . . . . .	1015
<b>3.4</b>	<b>Chalkogenverbindungen des Germaniums, Zinns, Bleis</b> . . . . .	<b>1016</b>
3.4.1	Überblick . . . . .	1016
3.4.2	Oxide und Sulfide, Säuren und Basen des Germaniums . . . . .	1018
3.4.3	Oxide und Sulfide, Säuren und Basen des Zinns . . . . .	1020
3.4.4	Oxide und Sulfide, Säuren und Basen des Bleis . . . . .	1022
3.4.5	Der Bleiakкумулятор („Bleiakku“) . . . . .	1026
<b>3.5</b>	<b>Organische Verbindungen des Germaniums, Zinns, Bleis</b> . . . . .	<b>1028 •</b>
	Überblick (S. 1028•), Organylgermane, -stannane, -plumbane und Derivate (S. 1029•), Höhere Organylgermane, -stannane und -plumbane (S. 1033•), Organylgermylene, -stannylene, -plumbylene und Derivate (S. 1035•), Ungesättigte Organylgermane, -stannane und -plumbane und Derivate (S. 1038•)	

<b>Kapitel XVI Die Borgruppe („Triele“)</b>	1042
<b>1 Das Bor</b>	1042
<b>1.1 Das Element Bor</b>	1042
1.1.1 Vorkommen	1042
1.1.2 Darstellung	1043
1.1.3 Physikalische Eigenschaften und Strukturen	1044
Reine Bormodifikationen (S. 1044), Bormodifikationen mit Heteroatomen (S. 1046)	
1.1.4 Chemische Eigenschaften	1047
1.1.5 Verwendung	1047
1.1.6 Bor-Ionen, Boride	1047
Überblick (S. 1047), Boride (S. 1048)	
1.1.7 Bor in Verbindungen	1051
<b>1.2 Wasserstoffverbindungen des Bors</b>	1054
1.2.1 Überblick	1054
Systematik (S. 1054), Strukturen (S. 1055), Bindungsverhältnisse (S. 1060)	
1.2.2 Diboran (6) $B_2H_6$ , Tetrahydridoborat $BH_4^-$	1063
Darstellung von $B_2H_6$ (S. 1063), Eigenschaften und Verwendung von $B_2H_6$ (S. 1064), Tetrahydridoborate $BH_4^-$ (S. 1071)	
1.2.3 Höhere Borane, höhere Hydridoborate	1073
Überblick (S. 1073), Tri- und Tetraborane (S. 1075), Penta- und Hexaborane (S. 1077), Hepta-, Octa- und Nonaborane (S. 1080), Deca-, Undeca- und noch höhere Borane (S. 1081), Hydrido- <i>closo</i> -polyborate $B_nH_n^{2-}$ (S. 1084)	
1.2.4 Heteroborane	1089
Überblick (S. 1089), Carborane („Carborane“) (S. 1090), Sonstige Nichtmetallaborane (S. 1094), Metallaborane (Hydridopolyborat-Komplexe) (S. 1095)	
<b>1.3 Halogenverbindungen des Bors</b>	1097
Überblick (S. 1097), Bor(III)-halogenide und Halogenoborate (S. 1098), Bor(II)-halogenide (S. 1102), Bor(I)-halogenide (S. 1102), Halogenborylene und niedere Borfluoride (S. 1103)	
<b>1.4 Sauerstoffverbindungen des Bors</b>	1104
Boroxide (S. 1104), Borsauerstoffsäuren (S. 1105), Borate (S. 1108)	
<b>1.5 Schwefelverbindungen des Bors</b>	1110
<b>1.6 Stickstoffverbindungen des Bors</b>	1111
Überblick (S. 1111), Bornitride und Nitridoborate (S. 1113), Bor(III)-amine, -amide und -imide (S. 1115), Niedrigwertige Bor-Stickstoff-Verbindungen (S. 1121)	
<b>1.7 Phosphorverbindungen des Bors</b>	1123
<b>1.8 Kohlenstoffverbindungen des Bors</b>	1125
<b>1.9 Organische Verbindungen des Bors</b>	1126 •
Überblick (S. 1126•), Organische Derivate des Monoborans (S. 1127•), Organische Derivate höherer Borane (S. 1132•)	
<b>2 Das Aluminium</b>	1137
<b>2.1 Das Element Aluminium</b>	1137
2.1.1 Vorkommen	1137
2.1.2 Darstellung	1138
Gewinnung von reinem Dialuminiumtrioxid aus Bauxit (S. 1138), Schmelzelektrolyse des Dialuminiumtrioxids (S. 1140)	
2.1.3 Physikalische Eigenschaften und Struktur	1141
2.1.4 Chemische Eigenschaften	1141
2.1.5 Verwendung, Legierungen	1143
2.1.6 Aluminium-Ionen, Aluminide	1143

2.1.7	Aluminium in Verbindungen .....	1144
2.2	Wasserstoffverbindungen des Aluminiums .....	1145
	Darstellung (S. 1146), Eigenschaften (S. 1146), Tetrahydridoaluminate (S. 1149)	
2.3	Halogenverbindungen des Aluminiums .....	1150
	Überblick (S. 1150), Aluminiumtrihalogenide $AlX_3$ (S. 1151), Aluminiumsubhalogenide (S. 1153)	
2.4	Sauerstoffverbindungen des Aluminiums .....	1156
	Überblick (S. 1156), Aluminiumhydroxide; Olation und Oxolation (S. 1156), Aluminiumoxide (S. 1160), Aluminate (S. 1162), Aluminiumsalze (S. 1164)	
2.5	Sonstige einfache Aluminiumverbindungen .....	1166
2.6	Organische Verbindungen des Aluminiums .....	1167 •
	Überblick (S. 1167•), Aluminiumtriorganyle und Derivate (S. 1168•), Aluminiummonoorganyle und Derivate (S. 1172•), Oligoaluminiumorganyle und Derivate (S. 1174•)	
3	Das Gallium, Indium und Thallium .....	1178
3.1	Die Elemente Gallium, Indium, Thallium .....	1178
3.1.1	Vorkommen .....	1178
3.1.2	Darstellung .....	1179
3.1.3	Physikalische Eigenschaften und Strukturen .....	1180
3.1.4	Chemische Eigenschaften und Verwendung .....	1181
3.1.5	Allotrope und ionogene Formen von Gallium, Indium, Thallium. Trielide .....	1182
	Überblick (S. 1182), Gallide, Indide, Thallide (S. 1183)	
3.1.6	Gallium, Indium und Thallium in Verbindungen .....	1185
3.2	Wasserstoffverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums .....	1186
3.3	Halogenverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums .....	1190
	Überblick (S. 1190), Triel(III)-halogenide (S. 1190), Triel(II)-halogenide (S. 1192), Weitere gemischt-valente Trihalogenide (S. 1192), Triel(I)-halogenide (S. 1193)	
3.4	Chalkogenverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums .....	1194
	Überblick (S. 1194), Trielhydroxide (S. 1194), Trieloxide (S. 1196) Trielsulfide, -selenide, -telluride (S. 1197)	
3.5	Pentelverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums .....	1198
3.6	Organische Verbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums .....	1200 •
	Überblick (S. 1200•), Organylgallane, -indane, -thallane $ER_3$ und Derivate (S. 1201•), Organylgallylene, -indylene, -thallylene und Derivate (S. 1202•), Ungesättigte Organylgallane, -indane, -thallane und Derivate (S. 1205•), Höhere Organyltriellane („Oligotriellane“) und Derivate (S. 1206•)	
<b>Kapitel XVII Die Gruppe der Erdalkalimetalle .....</b>		<b>1215</b>
1	Das Beryllium .....	1215
1.1	Das Element Beryllium .....	1215
	Vorkommen (S. 1215), Darstellung (S. 1216), Eigenschaften (S. 1216), Verwendung, Legierungen (S. 1217), Beryllium in Verbindungen (S. 1217)	
1.2	Anorganische Verbindungen des Berylliums .....	1219
	Wasserstoffverbindungen des Berylliums (S. 1219), Halogenverbindungen des Berylliums (S. 1220), Chalkogenverbindungen des Berylliums (S. 1221), Sonstige einfache Berylliumverbindungen (S. 1222), Berylliumsalze von Oxosäuren (S. 1222)	
1.3	Organische Verbindungen des Berylliums .....	1223 •
2	Das Magnesium .....	1225
2.1	Das Element Magnesium .....	1225
	Vorkommen (S. 1225), Darstellung (S. 1225), Eigenschaften (S. 1226), Verwendung, Legierungen, Magnesiumbatterie (S. 1226), Magnesium in Verbindungen (S. 1227)	

2.2	Anorganische Verbindungen des Magnesiums	1228
	Wasserstoffverbindungen des Magnesiums (S. 1228), Halogenverbindungen des Magnesiums (S. 1229), Chalkogenverbindungen des Magnesiums (S. 1230), Sonstige einfache Magnesiumverbindungen (S. 1231), Magnesiumsalze von Oxosäuren (S. 1232), Magnesiumkomplexe, Magnesium in der Biosphäre (S. 1232)	
2.3	Organische Verbindungen des Magnesiums	1233 •
3	Das Calcium, Strontium, Barium und Radium	1236
3.1	Die Elemente Calcium, Strontium, Barium, Radium	1236
3.1.1	Vorkommen	1236
3.1.2	Darstellung	1238
3.1.3	Physikalische Eigenschaften	1238
3.1.4	Chemische Eigenschaften, Verwendung	1238
3.1.5	Erdalkalimetalle in Verbindungen	1239
3.2	Anorganische Verbindungen des Calciums, Strontiums, Bariums, Radiums	1240
3.2.1	Wasserstoffverbindungen der Erdalkalimetalle	1240
3.2.2	Halogenverbindungen der Erdalkalimetalle	1240
3.2.3	Chalkogenverbindungen der Erdalkalimetalle	1243
3.2.4	Sonstige einfache Erdalkalimetallverbindungen	1245
	Stickstoffverbindungen der Erdalkalimetalle (S. 1245), Kohlenstoffverbindungen der Erdalkalimetalle (S. 1247)	
3.2.5	Erdalkalimetall-Salze von Oxosäuren	1248
3.2.6	Erdalkalimetallkomplexe	1253
3.3	Organische Verbindungen der Erdalkalimetalle	1254 •
3.4	Mörtel	1255
3.4.1	Luftmörtel	1256
3.4.2	Wassermörtel	1257
<b>Kapitel XVIII Die Gruppe der Alkalimetalle</b>		1259
1	Das Lithium	1259
1.1	Das Element Lithium	1259
	Vorkommen (S. 1259), Darstellung (S. 1260), Eigenschaften (S. 1260), Verwendung, Legierungen, Lithiumbatterien (S. 1260), Lithium in Verbindungen (S. 1261)	
1.2	Anorganische Verbindungen des Lithiums	1262
	Wasserstoffverbindungen des Lithiums (S. 1262), Halogenverbindungen des Lithiums (S. 1262), Chalkogenverbindungen des Lithiums (S. 1263), Sonstige einfache Lithiumverbindungen (S. 1263), Lithiumsalze von Oxosäuren (S. 1264)	
1.3	Organische Verbindungen des Lithiums	1264 •
2	Das Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium und Francium	1270
2.1	Die Elemente Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium, Francium	1270
2.1.1	Vorkommen	1270
2.1.2	Darstellung	1272
2.1.3	Physikalische Eigenschaften	1273
2.1.4	Chemische Eigenschaften	1275
2.1.5	Verwendung, Natriumbatterien	1276
2.1.6	Alkalimetalle in Verbindungen	1277
2.2	Anorganische Verbindungen des Natriums, Kaliums, Rubidiums, Cäsiums, Franciums	1279
2.2.1	Wasserstoffverbindungen der Alkalimetalle	1279
2.2.2	Halogenverbindungen der Alkalimetalle	1280
2.2.3	Chalkogenverbindungen der Alkalimetalle	1283
2.2.4	Sonstige einfache Alkalimetallverbindungen	1287
2.2.5	Alkalimetallsalze von Oxosäuren	1288

2.2.6	Alkalimetallkomplexe, Alkalimetalle in der Biosphäre .....	1292
2.3	Organische Verbindungen der Alkalimetalle .....	1296 •

## **Teil C Nebengruppenelemente** ..... 1301

### **Kapitel XIX Nebengruppenelemente (Äußere Übergangsmetalle)** ..... 1303

1	Periodensystem (Teil III) der Nebengruppenelemente .....	1303
1.1	Elektronenkonfiguration der Nebengruppenelemente .....	1303
1.2	Einordnung der Nebengruppenelemente in das Periodensystem .....	1305
2	Trends einiger Eigenschaften der Nebengruppenelemente .....	1307
	Wertigkeit (S. 1308), Analogien und Diskrepanzen zwischen Haupt- und Nebensystem (S. 1309), Periodizitäten innerhalb des Nebensystems (S. 1311)	

### **Kapitel XX Grundlagen der Komplexchemie** ..... 1315

1	Bau und Stabilität der Übergangsmetallkomplexe .....	1316
1.1	Die Komplexbestandteile .....	1316
1.1.1	Komplexliganden .....	1316
	Einzähnige Liganden (S. 1318), Mehrzähnige Liganden: Chelatliganden (S. 1320)	
1.1.2	Komplexzentren .....	1320
	Einatomige Metallzentren (S. 1322), Mehratomige Metallzentren: Metallcluster (S. 1324)	
1.2	Die Komplexstabilität .....	1327
1.2.1	Komplexbildungs- und Dissoziationskonstanten .....	1328
1.2.2	Der Chelat-Effekt .....	1330
1.2.3	Redoxstabilität .....	1332
1.3	Der räumliche Bau der Komplexe .....	1333
1.4	Die Isomerie der Komplexe .....	1343
1.4.1	Konstitutionsisomerie der Komplexe .....	1343
1.4.2	Stereoisomerie der Komplexe .....	1344
2	Bindungsmodelle der Übergangsmetallkomplexe. Die chemische Bindung, Teil III .....	1348
2.1	Valenzstruktur-Theorie der Komplexe .....	1349
2.1.1	Zusammensetzung und Stabilität von Komplexen .....	1349
2.1.2	Struktur und magnetisches Verhalten von Komplexen .....	1352
2.2	Ligandenfeld-Theorie der Komplexe .....	1354
2.2.1	Energieaufspaltung der d-Orbitale im Ligandenfeld. Magnetisches Verhalten der Komplexe .....	1355
	Allgemeines (S. 1355), Oktaedrisches Ligandenfeld (S. 1356), Tetraedrisches und kubisches Ligandenfeld (S. 1360), Quadratisches und quadratisch-pyramidales Ligandenfeld (S. 1361), Quadratisch-pyramidales sowie trigonal- oder pentagonal-bipyramidales Ligandenfeld (S. 1362)	
2.2.2	Ligandenfeldstabilisierungsenergie. Stabilität und Struktur der Komplexe .....	1363
	Allgemeines (S. 1363), LFSE und Komplexstabilität (S. 1364), LFSE und Komplexstruktur (S. 1365), Jahn-Teller-Effekt und Komplexverzerrungen (S. 1367)	
2.2.3	Energieaufspaltung von d-Orbitalen im Ligandenfeld. Optisches Verhalten der Komplexe .....	1368
	Farbe von Komplexen (S. 1368), d→d-Übergänge (S. 1370), CT-Übergänge (S. 1374)	
2.3	Molekülorbital-Theorie der Komplexe .....	1375
2.3.1	Molekülorbitalschemata der Komplexe .....	1375
	Molekülorbitale der Komplexe (S. 1375), Energieniveau-Schema der Molekülorbitale oktaedrischer Komplexe (S. 1376)	

2.3.2	Edelgasregel, 18-Elektronenregel	1378
2.3.3	Isolobal-Prinzip	1379
3	Reaktionsmechanismen der Übergangsmetallkomplexe. Die chemische Reaktion, Teil IV.	1380
3.1	Nucleophile Substitutionsreaktionen der Komplexe	1381
3.1.1.	Nucleophile Substitution an tetraedrischen Zentren	1382
3.1.2.	Nucleophile Substitution an quadratisch-planaren Zentren	1382
3.1.3.	Nucleophile Substitution an oktaedrischen Zentren	1385
3.2	Umlagerungsreaktionen der Komplexe	1392
3.3	Redoxreaktionen der Komplexe	1393
3.3.1	Elektronentransfer-Prozesse	1394
	Outer sphere Redoxprozesse (S. 1394), Inner sphere Redoxprozesse (S. 1396)	
3.3.2	Redoxadditionen und -eliminierungen	1398
	Oxidative Additionen (S. 1398), Reduktive Eliminierungen (S. 1399)	
<b>Kapitel XXI</b>	<b>Einige Grundlagen der Festkörperchemie</b>	1401
1	Synthese von Festkörpern	1403
1.1	Überblick	1403
1.2	Schmelz- und Erstarrungsdiagramme binärer Systeme („Phasendiagramme“)	1404
	Abscheidung reiner Stoffe (S. 1404), Abscheidung von Mischkristallen (S. 1406)	
1.3	Einige wichtige Legierungsphasen	1408
	Hume-Rothery-Phasen (S. 1408), Zintl-Phasen (S. 1408), Laves-Phasen (S. 1409), Nickelarsenid-Phasen (S. 1409)	
1.4	Transportreaktionen	1409
2	Einige Eigenschaften der Festkörper	1410
2.1	Magnetische Eigenschaften der Festkörper („Magnetochemie“)	1410
2.1.1	Diamagnetismus und Paramagnetismus	1411
	Materie im Magnetfeld. Die magnetische Suszeptibilität (S. 1411), Atomistische Deutung der magnetischen Suszeptibilität (S. 1412)	
2.1.2	Ferromagnetismus, Ferrimagnetismus und Antiferromagnetismus	1417
2.1.3	Ferro- und Antiferroelektrizität	1420
2.2	Elektrische Eigenschaften der Festkörper	1420
2.2.1	Leiter, Nichtleiter, Halbleiter	1421
	Metalle. Elektronische Leiter (S. 1421), Nichtmetalle. Elektronische Nichtleiter (S. 1422), Halbmetalle. Elektronische Halbleiter (S. 1423)	
2.2.2	Supraleiter	1425
	Konventionelle Supraleiter (S. 1426), Hochtemperatur-Supraleiter (S. 1428)	
3	Oberflächenreiche sowie nanostrukturierte Materialien	1429
3.1	Der aktive Zustand fester Materie	1430
3.2	Nanophasen-Materialien	1431
<b>Kapitel XXII</b>	<b>Die Kupfergruppe</b>	1433
1	Das Kupfer	1433
1.1	Das Element Kupfer	1433
	Vorkommen (S. 1433), Darstellung (S. 1434), Physikalische Eigenschaften (S. 1437), Chemische Eigenschaften (S. 1437), Verwendung, Legierungen (S. 1438), Kupfer in Verbindungen (S. 1439)	
1.2	Verbindungen des Kupfers	1440



1.2.1	Kupfer(I)-Verbindungen ( $d^{10}$ )	1440
	Wasserstoffverbindungen (S. 1440), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1441), Chalkogenverbindungen (S. 1443), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1444)	
1.2.2	Kupfer(II)-Verbindungen ( $d^9$ )	1444
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1444), Chalkogenverbindungen (S. 1446), Kupfer in der Biosphäre (S. 1450)	
1.2.3	Kupfer(III)- und Kupfer(IV)-Verbindungen ( $d^8$ , $d^7$ )	1450
1.2.4	Organische Verbindungen des Kupfers	1451 •
2	Das Silber	1452
2.1	Das Element Silber	1452
	Vorkommen (S. 1452), Darstellung (S. 1453), Physikalische Eigenschaften (S. 1454), Chemische Eigenschaften (S. 1455), Verwendung, Legierungen (S. 1455), Silber in Verbindungen (S. 1456)	
2.2	Verbindungen des Silbers	1457
2.2.1	Silber(I)-Verbindungen ( $d^{10}$ )	1457
	Wasserstoffverbindungen (S. 1457), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1457), Chalkogenverbindungen (S. 1460), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1461)	
2.2.2	Silber(II)-Verbindungen ( $d^9$ )	1461
2.2.3	Silber(III)- und Silber(IV)-Verbindungen ( $d^8$ , $d^7$ )	1463
2.2.4	Organische Verbindungen des Silbers	1463 •
2.3	Der photographische Prozess	1464
3	Das Gold	1466
3.1	Das Element Gold	1466
	Vorkommen (S. 1466), Darstellung (S. 1467), Physikalische Eigenschaften (S. 1468), Chemische Eigenschaften (S. 1468), Verwendung, Legierungen (S. 1468), Gold in Verbindungen (S. 1469), Vergleichende Betrachtungen (S. 1470)	
3.2	Verbindungen des Golds	1473
3.2.1	Gold(I)-Verbindungen ( $d^{10}$ )	1473
	Wasserstoffverbindungen (S. 1473), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1473), Chalkogenverbindungen (S. 1475), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1475)	
3.2.2	Gold(II)-Verbindungen ( $d^9$ )	1475
3.2.3	Gold(III)-Verbindungen ( $d^8$ )	1476
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1476), Chalkogenverbindungen (S. 1477)	
3.2.4	Gold(IV)- und Gold(V)-Verbindungen ( $d^7$ , $d^6$ )	1478
3.2.5	Niedrigwertige Goldverbindungen	1478
3.2.6	Organische Verbindungen des Golds	1481 •
<b>Kapitel XXIII Die Zinkgruppe</b>		1483
1	Das Zink und Cadmium	1483
1.1	Die Elemente Zink und Cadmium	1483
	Vorkommen (S. 1483), Darstellung (S. 1484), Physikalische Eigenschaften (S. 1486), Chemische Eigenschaften (S. 1487), Verwendung, Legierungen, Zinkbatterien (S. 1488), Zink und Cadmium in Verbindungen (S. 1488)	
1.2	Verbindungen des Zinks und Cadmiums	1489
1.2.1	Zink(II)- und Cadmium(II)-Verbindungen ( $d^{10}$ )	1489
	Wasserstoffverbindungen (S. 1489), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1490), Chalkogenverbindungen (S. 1491), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1494), Zink in der Biosphäre (S. 1495)	

1.2.2	Zink(I)- und Cadmium(I)-Verbindungen ( $d^{10}s^1$ )	1495
1.2.3	Organische Verbindungen des Zinks und Cadmiums	1496 •
2	Das Quecksilber	1497
2.1	Das Element Quecksilber	1497
	Vorkommen (S. 1497), Darstellung (S. 1498), Physikalische Eigenschaften (S. 1499), Chemische Eigenschaften (S. 1499), Verwendung, Amalgame (S. 1500), Quecksilber in Verbindungen (S. 1500), Vergleichende Betrachtungen (S. 1501)	
2.2	Verbindungen des Quecksilbers	1502
2.2.1	Quecksilber(I)-Verbindungen ( $d^{10}s^1$ )	1502
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1502), Chalkogenverbindungen (S. 1503), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1504)	
2.2.2	Quecksilber(II)-Verbindungen ( $d^{10}$ )	1504
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1504), Chalkogenverbindungen (S. 1507)	
2.2.3	Niedrigwertige Quecksilberverbindungen	1509
2.2.4	Organische Verbindungen des Quecksilbers	1510 •
<b>Kapitel XXIV</b>	<b>Die Scandiumgruppe</b>	1513
1	Die Elemente Scandium, Yttrium, Lanthan und Actinium	1513
	Vorkommen (S. 1513), Darstellung (S. 1514), Physikalische Eigenschaften (S. 1515), Chemische Eigenschaften (S. 1515), Verwendung, Legierungen (S. 1515), Scandium, Yttrium, Lanthan und Actinium in Verbindungen (S. 1516), Vergleichende Betrachtungen (S. 1516)	
2	Verbindungen des Scandiums, Yttriums, Lanthans und Actiniums	1517
	Wasserstoffverbindungen (S. 1517), Halogenverbindungen (S. 1517), Chalkogenverbindungen (S. 1518), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1519), Organische Verbindungen des Scandiums, Yttriums und Lanthans (S. 1519 •)	
<b>Kapitel XXV</b>	<b>Die Titangruppe</b>	1520
1	Das Titan	1520
1.1	Das Element Titan	1520
	Vorkommen (S. 1520), Darstellung (S. 1521), Physikalische Eigenschaften (S. 1522), Chemische Eigenschaften (S. 1522), Verwendung, Legierungen (S. 1523), Titan in Verbindungen (S. 1523)	
1.2	Verbindungen des Titans	1524
1.2.1	Titan(IV)-Verbindungen ( $d^0$ )	1524
	Wasserstoffverbindungen (S. 1524), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1524), Chalkogenverbindungen (S. 1526)	
1.2.2	Titan(III)-Verbindungen ( $d^1$ )	1528
	Wasserstoffverbindungen (S. 1528), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1529), Chalkogenverbindungen (S. 1529)	
1.2.3	Titan(II)-Verbindungen ( $d^2$ )	1530
	Wasserstoffverbindungen (S. 1530), Halogenverbindungen (S. 1530), Chalkogenverbindungen (S. 1530), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1531)	
1.2.4	Organische Verbindungen des Titans	1531 •
2	Das Zirkonium und Hafnium	1533
2.1	Die Elemente Zirkonium und Hafnium	1533
	Vorkommen (S. 1533), Darstellung (S. 1534), Physikalische Eigenschaften (S. 1534), Chemische Eigenschaften (S. 1534), Verwendung, Legierungen (S. 1535), Zirkonium und Hafnium in Verbindungen (S. 1535), Vergleichende Betrachtungen (S. 1535)	
2.2	Verbindungen des Zirkoniums und Hafniums	1536
2.2.1	Wasserstoffverbindungen	1536
2.2.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen	1536

2.2.3	Chalkogenverbindungen	1538
2.2.4	Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen	1540
2.2.5	Organische Verbindungen des Zirkoniums und Hafniums	1540 •
	Zirkonium- und Hafniumorganyle (S. 1540 •), Katalytische Prozesse mit Beteiligung von Zr-Organyle (S. 1541 •)	
<b>Kapitel XXVI</b>	<b>Die Vanadiumgruppe</b>	1542
<b>1</b>	<b>Das Vanadium</b>	1542
1.1	Das Element Vanadium	1542
	Vorkommen (S. 1542), Darstellung (S. 1543), Physikalische Eigenschaften (S. 1543), Chemische Eigenschaften (S. 1543), Verwendung, Legierungen (S. 1544), Vanadium in Verbindungen (S. 1544)	
1.2	Verbindungen des Vanadiums	1545
1.2.1	Vanadium(V)-Verbindungen ( $d^0$ )	1545
	Halogenverbindungen (S. 1545), Chalkogenverbindungen (S. 1546)	
1.2.2	Vanadium(IV)-Verbindungen ( $d^1$ )	1547
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1547), Chalkogenverbindungen (S. 1548)	
1.2.3	Vanadium(III)- und Vanadium(II)-Verbindungen ( $d^2$ , $d^3$ )	1550
	Wasserstoffverbindungen (S. 1550), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1550), Chalkogenverbindungen (S. 1551), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1552)	
1.2.4	Organische Verbindungen des Vanadiums	1552 •
<b>2</b>	<b>Das Niobium und Tantal</b>	1553
2.1	Die Elemente Niobium und Tantal	1553
	Vorkommen (S. 1553), Darstellung (S. 1553), Physikalische Eigenschaften (S. 1554), Chemische Eigenschaften (S. 1554), Verwendung, Legierungen (S. 1554), Niobium und Tantal in Verbindungen (S. 1554), Vergleichende Betrachtungen (S. 1555)	
2.2	Verbindungen des Niobiums und Tantals	1555
2.2.1	Wasserstoffverbindungen	1555
2.2.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen	1555
2.2.3	Chalkogenverbindungen	1559
2.2.4	Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen	1560
2.2.5	Organische Verbindungen des Niobiums und Tantals	1561 •
<b>Kapitel XXVII</b>	<b>Die Chromgruppe</b>	1562
<b>1</b>	<b>Das Chrom</b>	1562
1.1	Das Element Chrom	1562
	Vorkommen (S. 1562), Darstellung (S. 1563), Physikalische Eigenschaften (S. 1565), Chemische Eigenschaften (S. 1565), Verwendung, Legierungen (S. 1565), Chrom in Verbindungen (S. 1565)	
1.2	Verbindungen des Chroms	1567
1.2.1	Chrom(VI)-Verbindungen ( $d^0$ )	1567
1.2.2	Chrom(V)- und Chrom(IV)-Verbindungen ( $d^1$ , $d^2$ )	1571
	Halogenverbindungen (S. 1571), Sauerstoffverbindungen (S. 1571)	
1.2.3	Chrom(III)-Verbindungen ( $d^3$ )	1573
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1573), Chalkogenverbindungen (S. 1574), Chrom(III)-Komplexe (S. 1576)	
1.2.4	Chrom(II)-Verbindungen ( $d^4$ )	1577
	Wasserstoffverbindungen (S. 1577), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1577), Chalkogenverbindungen (S. 1578), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1578), Chrom(II)-Komplexe (S. 1579)	

1.2.5	Organische Verbindungen des Chroms .....	1581 •
<b>2</b>	<b>Das Molybdän und Wolfram .....</b>	<b>1582</b>
<b>2.1</b>	<b>Die Elemente Molybdän und Wolfram .....</b>	<b>1582</b>
	Vorkommen (S. 1582), Darstellung (S. 1583), Physikalische Eigenschaften (S. 1583), Chemische Eigenschaften (S. 1583), Verwendung, Legierungen (S. 1584), Molybdän und Wolfram in Verbindungen (S. 1584), Vergleichende Betrachtungen (S. 1585)	
<b>2.2</b>	<b>Verbindungen des Molybdäns und Wolframs .....</b>	<b>1586</b>
2.2.1	Wasserstoffverbindungen .....	1586
2.2.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen .....	1587
	Halogenide (S. 1587), Pseudohalogenide (S. 1590)	
2.2.3	Chalkogenverbindungen .....	1590
	Sauerstoffverbindungen (S. 1590), Molybdate(VI) und Wolframate(VI) (S. 1594), Sonstige Chalkogenide und Chalkogenokomplexe (S. 1600)	
2.2.4	Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen .....	1601
2.2.5	Molybdän- und Wolfram-Komplexe .....	1602
2.2.6	Organische Verbindungen des Molybdäns und Wolframs .....	1605 •
	Molybdän- und Wolframorganyle (S. 1605•), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Mo- und W-organylen (S. 1606•)	
<b>Kapitel XXVIII</b>	<b>Die Mangangruppe .....</b>	<b>1607</b>
<b>1</b>	<b>Das Mangan .....</b>	<b>1607</b>
<b>1.1</b>	<b>Das Element Mangan .....</b>	<b>1607</b>
	Vorkommen (S. 1607), Darstellung (S. 1608), Physikalische Eigenschaften (S. 1608), Chemische Eigenschaften (S. 1608), Verwendung, Legierungen (S. 1609), Mangan in Verbindungen (S. 1609)	
<b>1.2</b>	<b>Verbindungen des Mangans .....</b>	<b>1610</b>
1.2.1	Mangan(II)-Verbindungen ( $d^5$ ) .....	1610
	Wasserstoffverbindungen (S. 1610), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1610), Chalkogenverbindungen (S. 1612), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1613), Mangan(II)-Komplexe (S. 1613)	
1.2.2	Mangan(III)- und Mangan(IV)-Verbindungen ( $d^4, d^3$ ) .....	1614
	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1614), Chalkogenverbindungen (S. 1614), Mangan(III)- und Mangan(IV)-Komplexe (S. 1616)	
1.2.3	Mangan(V)-, (VI)-, (VII)-Verbindungen ( $d^2, d^1, d^0$ ) .....	1617
1.2.4	Organische Verbindungen des Mangans .....	1619 •
<b>2</b>	<b>Das Technetium und Rhenium .....</b>	<b>1620</b>
<b>2.1</b>	<b>Die Elemente Technetium und Rhenium .....</b>	<b>1620</b>
	Vorkommen (S. 1620), Darstellung (S. 1621), Physikalische Eigenschaften (S. 1622), Chemische Eigenschaften (S. 1622), Verwendung, Legierungen (S. 1622), Technetium und Rhenium in Verbindungen (S. 1622), Vergleichende Betrachtungen (S. 1623)	
<b>2.2</b>	<b>Verbindungen des Technetiums und Rheniums .....</b>	<b>1624</b>
2.2.1	Wasserstoffverbindungen .....	1624
2.2.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen .....	1625
2.2.3	Chalkogenverbindungen .....	1628
2.2.4	Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen .....	1631
2.2.5	Technetium- und Rheniumkomplexe .....	1631
2.2.6	Organische Verbindungen des Technetiums und Rheniums .....	1632 •
	Technetium- und Rheniumorganyle (S. 1632•), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Re-organylen (S. 1634•)	

<b>Kapitel XXIX Die Eisengruppe</b> .....	1635
<b>1 Das Eisen</b> .....	1636
<b>1.1 Das Element Eisen</b> .....	1636
1.1.1 Vorkommen .....	1636
1.1.2 Darstellung .....	1637
Erzeugung von Roheisen (S. 1637), Gewinnung von Stahl (S. 1640)	
1.1.3 Physikalische Eigenschaften .....	1642
1.1.4 Chemische Eigenschaften .....	1644
1.1.5 Verwendung, Legierungen .....	1644
1.1.6 Eisen in Verbindungen .....	1645
<b>1.2 Verbindungen des Eisens</b> .....	1647
1.2.1 Eisen(II)- und Eisen(III)-Verbindungen ( $d^6$ , $d^5$ ) .....	1647
Wasserstoffverbindungen (S. 1647), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1647), Chalkogenverbindungen (S. 1652), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1659), Eisen(II)- und Eisen(III)-Komplexe (S. 1659), Eisen in der Biosphäre (S. 1661)	
1.2.2 Eisen(VI)-, (V)-, (IV)-Verbindungen ( $d^2$ , $d^3$ , $d^4$ ) .....	1665
1.2.3 Organische Verbindungen des Eisens .....	1666 •
<b>2 Das Ruthenium und Osmium</b> .....	1666
<b>2.1 Die Elemente Ruthenium und Osmium</b> .....	1666
Vorkommen (S. 1666), Darstellung (S. 1667), Physikalische Eigenschaften (S. 1667), Chemische Eigenschaften (S. 1667), Verwendung, Legierungen (S. 1667), Ruthenium und Osmium in Verbindungen (S. 1667), Vergleichende Betrachtungen (S. 1668)	
<b>2.2 Verbindungen des Rutheniums und Osmiums</b> .....	1668
2.2.1 Wasserstoffverbindungen .....	1668
2.2.2 Halogen- und Pseudohalogenverbindungen .....	1669
2.2.3 Chalkogenverbindungen .....	1672
2.2.4 Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen .....	1676
2.2.5 Ruthenium- und Osmiumkomplexe .....	1676
2.2.6 Organische Verbindungen des Rutheniums und Osmiums .....	1679 •
<b>Kapitel XXX Die Cobaltgruppe</b> .....	1681
<b>1 Das Cobalt</b> .....	1681
<b>1.1 Das Element Cobalt</b> .....	1681
Vorkommen (S. 1681), Darstellung (S. 1681), Physikalische Eigenschaften (S. 1682), Chemische Eigenschaften (S. 1682), Verwendung, Legierungen (S. 1682), Cobalt in Verbindungen (S. 1682)	
<b>1.2 Verbindungen des Cobalts</b> .....	1683
1.2.1 Cobalt(II)- und Cobalt(III)-Verbindungen ( $d^7$ , $d^6$ ) .....	1683
Wasserstoffverbindungen (S. 1683), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1684), Chalkogenverbindungen (S. 1686), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1690), Cobalt(II)- und Cobalt(III)-Komplexe (S. 1690), Cobalt in der Biosphäre (S. 1693)	
1.2.2 Cobalt(IV)- und Cobalt(V)-Verbindungen ( $d^5$ , $d^4$ ) .....	1694
1.2.3 Organische Verbindungen des Cobalts .....	1694 •
Cobaltorganyle (S. 1694 •), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Co-organyle (S. 1695 •)	
<b>2 Das Rhodium und Iridium</b> .....	1696
<b>2.1 Die Elemente Rhodium und Iridium</b> .....	1696
Vorkommen (S. 1696), Darstellung (S. 1696), Physikalische Eigenschaften (S. 1696), Chemische Eigenschaften (S. 1697), Verwendung, Legierungen (S. 1697), Rhodium und Iridium in Verbindungen (S. 1697), Vergleichende Betrachtungen (S. 1698)	

2.2	Verbindungen des Rhodiums und Iridiums .....	1698
2.2.1	Wasserstoffverbindungen .....	1698
2.2.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen .....	1699
2.2.3	Chalkogenverbindungen .....	1702
2.2.4	Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen .....	1704
2.2.5	Rhodium- und Iridiumkomplexe .....	1704
2.2.6	Organische Verbindungen des Rhodiums und Iridiums .....	1706 •
	Rhodium- und Iridiumorganyle (S.1706•), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Rh-Organen (S.1706•)	
<b>Kapitel XXXI</b>	<b>Die Nickelgruppe .....</b>	<b>1709</b>
1	Das Nickel .....	1709
1.1	Das Element Nickel .....	1709
	Vorkommen (S.1709), Darstellung (S.1710), Physikalische Eigenschaften (S.1710), Chemische Eigenschaften (S.1710), Verwendung, Legierungen, Nickel-Batterien (S.1711), Nickel in Verbindungen (S.1711)	
1.2	Verbindungen des Nickels .....	1712
1.2.1	Nickel(II)- und Nickel(III)-Verbindungen ( $d^8$ , $d^7$ ) .....	1712
	Wasserstoffverbindungen (S.1712), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S.1713), Chalkogenverbindungen (S.1714), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S.1716), Nickel(II)- und Nickel(III)-Komplexe (S.1717), Nickel in der Biosphäre (S.1720)	
1.2.2	Nickel(IV)-Verbindungen ( $d^6$ ) .....	1720
1.2.3	Organische Verbindungen des Nickels .....	1720 •
	Nickelorganyle (S.1720•), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Ni-organen (S.1720•)	
2	Das Palladium und Platin .....	1722
2.1	Die Elemente Palladium und Platin .....	1722
	Vorkommen (S.1722), Darstellung (S.1722), Physikalische Eigenschaften (S.1724), Chemische Eigenschaften (S.1724), Verwendung, Legierungen (S.1724), Palladium und Platin in Verbindungen (S.1725), Vergleichende Betrachtungen (S.1725)	
2.2	Verbindungen des Palladiums und Platins .....	1726
2.2.1	Wasserstoffverbindungen .....	1726
2.2.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen .....	1726
2.2.3	Chalkogenverbindungen .....	1732
2.2.4	Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen .....	1735
2.2.5	Palladium- und Platinkomplexe .....	1735
2.2.6	Organische Verbindungen des Palladiums und Platins .....	1739 •
	Palladium- und Platinorganyle (S.1739•), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Pd-organen (S.1741•)	
<b>Kapitel XXXII</b>	<b>Überblick über wichtige Verbindungsklassen der Übergangsmetalle ..</b>	<b>1744</b>
1	Einige Klassen anorganischer Übergangsmetallverbindungen .....	1744
1.1	Wasserstoffverbindungen .....	1744
1.1.1	Übergangsmetallhydride .....	1745
1.1.2	Diwasserstoffkomplexe der Übergangsmetalle .....	1748
1.2	Halogen- und Pseudohalogenverbindungen .....	1750
1.2.1	Übergangsmetallhalogenide .....	1750
	Struktur- und Bindungsverhältnisse (S.1751), Darstellung und Eigenschaften (S.1755)	
1.2.2	Metallcluster-Komplexe vom Halogenid-Typ .....	1756
1.2.3	Übergangsmetallcyanide .....	1759

1.2.4	Übergangsmetallazide .....	1761
<b>1.3</b>	Sauerstoffverbindungen. Nichtstöchiometrie .....	1762
1.3.1	Übergangsmetalloxide, Nichtstöchiometrie .....	1762
1.3.2	Disauerstoffkomplexe der Übergangsmetalle .....	1766
<b>1.4</b>	Stickstoffverbindungen .....	1771
1.4.1	Übergangsmetallnitride .....	1771
1.4.2	Distickstoffkomplexe der Übergangsmetalle .....	1775
<b>2</b>	Metallcarbonyle und verwandte Komplexe .....	1780 •
<b>2.1</b>	Die Metallcarbonyle .....	1780 •
2.1.1	Grundlagen, Metallcluster-Komplexe vom Carbonyl-Typ .....	1780 •
	Überblick (S. 1780•), Strukturverhältnisse (S. 1781•), Bindungsverhältnisse (S. 1787•)	
2.1.2	Darstellung .....	1789 •
2.1.3	Eigenschaften. Die Metalltrifluorosphane und -carbonylhalogenide ....	1791 •
2.1.4	Verwendung .....	1798 •
<b>2.2</b>	Die Metallcarbonyl-Anionen, -Hydride und -Kationen .....	1799 •
2.2.1	Metallcarbonyl-Anionen .....	1799 •
2.2.2	Metallcarbonylwasserstoffe .....	1804 •
2.2.3	Metallcarbonyl-Kationen .....	1809 •
<b>2.3</b>	Die Verwandten der Metallcarbonyle .....	1812 •
2.3.1	Thio-, Seleno- und Tellurocarbonyl-Komplexe .....	1812 •
2.3.2	Isocyanido- (Isonitril-) Komplexe .....	1813 •
2.3.3	Nitrosyl-Komplexe .....	1816 •
	Grundlagen (S. 1816•), Darstellung (S. 1820•), Eigenschaften (S. 1821•)	
<b>3</b>	Einige Klassen organischer Übergangsmetallverbindungen .....	1823 •
<b>3.1</b>	Organische n-Komplexe der Übergangsmetalle .....	1823 •
3.1.1	Metallorganyle .....	1824 •
3.1.2	Alkylidenmetallkomplexe (Carbenkomplexe) .....	1829 •
3.1.3	Alkylidenmetallkomplexe (Carbinkomplexe) .....	1832 •
<b>3.2</b>	Organische $\sigma$ -Komplexe der Übergangsmetalle .....	1833 •
3.2.1	$\sigma$ -Metallkomplexe der Alkane .....	1833 •
	$\sigma$ -CH-Metallkomplexe (S. 1833•), $\sigma$ -CC-Metallkomplexe (S. 1835•)	
3.2.2	$\sigma$ -Metallkomplexe der Silane und anderer Hydride .....	1836 •
<b>3.3</b>	Organische $\pi$ -Komplexe der Übergangsmetalle .....	1837 •
3.3.1	Alkenmetallkomplexe (Olefinkomplexe) .....	1838 •
	Metallkomplexe mit Ethylen und seinen Derivaten (S. 1838•), Metallkomplexe mit Butadien und seinen Derivaten (S. 1842•), Metallkomplexe mit Allyl und seinen Derivaten (S. 1844•)	
3.3.2	Alkinmetallkomplexe (Acetylenkomplexe) .....	1847 •
3.3.3	Cyclopentadienyl-Metallkomplexe und Derivate .....	1850 •
	Homoleptische Cyclopentadienyl-Metallkomplexe und Derivate (S. 1850•), Heteroleptische Cyclopentadienyl-Metallkomplexe und Derivate (S. 1857•), Arenanellierte und heteroatomsubstituierte Cyclopentadienyl-Metallkomplexe (S. 1862•)	
3.3.4	Benzol-Metallkomplexe und Derivate .....	1863 •
	Sandwichkomplexe des Benzols und seiner Derivate (S. 1863•), Halbsandwichkomplexe des Benzols und seiner Derivate (S. 1867•)	
3.3.5	Cyclopropenyl-, Cyclobutadien-, Cycloheptatrienyl- und Cyclooctatetraen-Metallkomplexe und Derivate .....	1868 •
<b>3.4</b>	Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Metallorganyle .....	1872 •

**Teil D Lanthanoide, Actinoide, Transactinoide** ..... 1875**Kapitel XXXIII Lanthanoide und Actinoide (Innere Übergangsmetalle)** ..... 1877**1 Periodensystem (Teil IV) der Lanthanoide und Actinoide** ..... 1877**1.1 Elektronenkonfiguration der Lanthanoide und Actinoide** ..... 1877**1.2 Einordnung der Lanthanoide und Actinoide in das Periodensystem** ..... 1878**2 Trends einiger Eigenschaften der Lanthanoide und Actinoide** ..... 1879**Kapitel XXXIV Grundlagen der Kernchemie** ..... 1882**1 Die natürliche Elementumwandlung** ..... 1882**1.1 Natürlicher radioaktiver Zerfall** ..... 1883**1.1.1 Der  $\alpha$ - sowie  $\beta$ -Zerfall** ..... 1883  
Verschiebungssatz (S.1883), Zerfallsreihen (S.1884), Natürliche Radionuklide (S.1886)**1.1.2 Asymmetrische und superasymmetrische Kernspaltung** ..... 1887**1.2 Energie des radioaktiven Zerfalls** ..... 1887**1.2.1 Energieinhalt und -art der radioaktiven Strahlung** ..... 1887  
Energieverhältnisse des  $\alpha$ -Zerfalls (S.1888), Energieverhältnisse des  $\beta$ -Zerfalls (S.1888)**1.2.2 Strahlungswechselwirkung mit Materie** ..... 1889  
Strahlungsenergieabgabe an Materie (S.1889), Strahlungsenergieaufnahme von Materie (S.1890)**1.2.3 Radioaktiver Energieumsatz** ..... 1892  
Massenverlust durch Strahlung (S.1892), Kernbindungsenergie (S.1893)**1.3 Geschwindigkeit des radioaktiven Zerfalls** ..... 1894**1.3.1 Zerfallskonstante, Halbwertszeit, Aktivität** ..... 1894**1.3.2 Radioaktives Gleichgewicht** ..... 1896**1.4 Mechanismus des radioaktiven Zerfalls** ..... 1897  
Struktur der Atomkerne (S.1897), Spaltung und Aufbau der Atomkerne (S.1899)**2 Die künstliche Elementumwandlung** ..... 1900**2.1 Die Kern-Einzelreaktion** ..... 1901**2.1.1 Die einfache Kernreaktion** ..... 1905  
Methoden der Kernumwandlung (S.1905), Kernumwandlung mit Heliumkernen (S.1905), Kernumwandlung mit Wasserstoffkernen (S.1907), Kernumwandlung mit Neutronen (S.1909), Kernumwandlung mit schweren Atomkernen (S.1911), Kernumwandlung mit  $\gamma$ -Strahlen (S.1911), Künstliche Radionuklide (S.1912)**2.1.2 Die Kernzersplitterung** ..... 1915**2.1.3 Die Kernspaltung** ..... 1915**2.1.4 Die Kernverschmelzung. Evolution des Universums** ..... 1917**2.2 Die Kern-Kettenreaktion** ..... 1922**2.2.1 Die gesteuerte Kern-Kettenreaktion** ..... 1922**2.2.2 Die ungesteuerte Kern-Kettenreaktion** ..... 1926**Kapitel XXXV Die Lanthanoide** ..... 1928**1 Vorkommen** ..... 1929**2 Gewinnung** ..... 1931

Trennung der dreiwertigen Lanthanoide (S.1931), Trennung der Lanthanoide durch Wertigkeitsänderung (S.1933), Gewinnung der elementaren Lanthanoide (S.1933)

**3 Physikalische Eigenschaften** ..... 1934**4 Chemische Eigenschaften** ..... 1938**5 Verbindungen der Lanthanoide** ..... 1940



5.1	Anorganische Verbindungen der Lanthanoide	1940
	Wasserstoffverbindungen (S. 1940), Halogenverbindungen (S. 1941), Sauerstoffverbindungen (S. 1942), Sonstige binäre Verbindungen (S. 1944), Salze (S. 1944), Komplexe (S. 1944)	
5.2	Organische Verbindungen der Lanthanoide	1945 •
<b>Kapitel XXXVI Die Actinoide</b>		1948
1	Vorkommen	1949
2	Gewinnung	1950
2.1	Gewinnung von Thorium, Protactinium und Uran	1950
2.2	Gewinnung der Transurane	1951
	Erzeugung der Transurane (S. 1951), Trennung der Transurane (S. 1954), Gewinnung der elementaren Transurane (S. 1955)	
3	Physikalische Eigenschaften	1955
4	Chemische Eigenschaften	1957
5	Radiochemische Eigenschaften	1965
6	Verbindungen der Actinoide	1968
6.1	Anorganische Verbindungen der Actinoide	1968
	Wasserstoffverbindungen (S. 1968), Halogenverbindungen (S. 1968), Sauerstoffverbindungen (S. 1971), Sonstige binäre Verbindungen (S. 1973), Salze (S. 1973), Komplexe (S. 1974)	
6.2	Organische Verbindungen der Actinoide	1975 •
<b>Kapitel XXXVII Die Transactinoide („Superschwere Elemente“)</b>		1977
1	Erzeugung und Radiochemie der Transactinoide	1978
	Allgemeines zur Gewinnung und zum Nachweis der Transactinoide (S. 1978), Spezielles zur Gewinnung und zum Nachweis der Transactinoide (S. 1979)	
2	Eigenschaften der Transactinoide	1982
2.1	Physikalische Eigenschaften	1982
2.2	Chemische Eigenschaften	1986
<b>Schlusswort</b>		1988
Die gegenseitige Umwandlung von Masse und Energie		1988
<b>Teil E Anhang</b>		1991
I	Zahlentabellen	1993
II	SI-Einheiten	1995
III	Natürliche Nuklide	1999
IV	Radien von Atomen und Ionen	2002
V	Bindungslängen (ber.) zwischen Hauptgruppenelementen	2006
VI	Normalpotentiale	2007
VII	Nobelpreise für Chemie und Physik	2011
VIII	Nomenklatur der Anorganischen Chemie	2017
Personenregister		2033
Sachregister		2049

# Tafeln

(Tafel I siehe vorderer, Tafel VI siehe hinterer Buchdeckel)

I	Langperiodensystem	
II	Elemente	2144
III	Hauptgruppenelemente	2146
IV	Nebengruppenelemente	2148
V	Lanthan und Lanthanoide, Actinium und Actinoide	2149
VI	Kombiniertes Periodensystem	

## Die Abkürzungen der Elemente

Schematische Darstellung

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente

Abkürzungen der Elemente