Einleitung .................................................. 1

Teil A Grundlagen der Chemie. Der Wasserstoff ................. 3

Kapitel I Element und Verbindung ........................................ 5
  1 Der reine Stoff ........................................... 5
     1.1 Homogene und heterogene Systeme ......................... 5
     1.2 Zerlegung heterogener Systeme .......................... 6
        1.2.1 Zerlegung auf Grund verschiedener Dichten ........ 6
        1.2.2 Zerlegung auf Grund verschiedener Teilchengrößen 7
     1.3 Zerlegung homogener Systeme ............................ 8
        1.3.1 Zerlegung auf physikalischem Wege ................. 8
          Phasenscheidung durch Temperaturänderung (S. 8), Phasenscheidung durch Lösungs-
          mittel (S. 10), Phasenscheidung durch Chromatographie (S. 10)
        1.3.2 Zerlegung auf chemischem Wege ........................ 11

Kapitel II Atom und Molekül ........................................... 15
  1 Atom- und Molekularlehre .................................... 15
     1.1 Massenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Atombegriff ........................................ 15
        1.1.1 Experimentalfunde .................................. 15
          Gesetz von der Erhaltung der Masse (S. 15), Stöchiometrische Gesetze (S. 17)
        1.1.2 Dalton'sche Atommhphythese ......................... 19
        1.2 Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Molekülbegriff .................. 20
           1.2.1 Experimentalfunde ................................ 20
        1.2.2 Avogador'sche Molekülhypothese ..................... 21
     1.3 Wahl einer Bezugsgröße für die relativen Atom- und Molekülmassen ........ 24
        1.3.1 Stoffmengen ........................................ 24
        1.3.2 Äquivalentmengen .................................. 26
        1.3.3 Stoff- und Äquivalentkonzentrationen ............... 27
  2 Atom- und Molekülmassenbestimmung ............................ 28
     2.1 Bestimmung relativer Molekülmassen ..................... 28
        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

Kapitel III Atom- und Molekülion ....................................................... 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

Kapitel IV Das Periodensystem der Elemente, Teil I .................................. 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)

Kapitel V Der Atombau ............................................................................ 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
Inhalt

1.2.1 Bauprinzip ................................................................. 86
1.2.2 Nukleonenzustände und Stabilität ........................................... 88
1.2.3 Durchmesser und Dichte der Atomkerne ....................................... 89
1.3 Die Elektronenhülle ............................................................. 90
1.3.1 Bauprinzip ................................................................. 90
1.3.2 Elektronenconfiguration und Stabilität ........................................... 92
1.3.3 Durchmesser von Atomen und Atomionen ........................................ 99

2 Atomspektren ................................................................. 100
2.1 Die Bausteine des Lichts. Der Photonenbegriff .................................... 100
2.2 Elektronenspektren ............................................................... 103
2.2.1 Die optischen Spektren ...................................................... 105
2.2.2 Die Röntgen-Spektren ...................................................... 107
2.3 Photoelektronenspektren .......................................................... 109

Kapitel VI Der Molekülbau. Die chemische Bindung, Teil I ..................... 112
1 Die Elektronentheorie der Valenz .................................................. 112
1.1 Verbindungen erster Ordnung ...................................................... 113
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
1.2 Verbindungen höherer Ordnung .................................................... 150
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
1.3 Assoziate von Molekülen .......................................................... 157
1.3.1 Die zwischenmolekulare Bindung .............................................. 158
1.3.2 Wasserstoffbrücken-Assoziate ................................................ 160
1.3.3 Charge-Transfer-Komplexe ................................................... 165
1.4 Kolloiddisperse Systeme .......................................................... 166
Vergleich grob-, kolloid- und molekulardisperser Lösungen (S. 167), Beständigkeit kolloider Lösungen (S. 168)

2 Molekülspektren ................................................................. 170
2.1 Überblick ................................................................. 170
2.2 Farbe chemischer Stoffe .......................................................... 171
2.2.1 Allgemeines ................................................................. 171
2.2.2 Spezielles .......................................................... 174
Farbe von Atomen und Atomionen (S. 174), Farbe von 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 Symmetrieoperationen ............ 181
4.2 Punktgruppen ................................................... 182
4.3 Anwendungen ................................................... 184

Kapitel VII Die Molekülmwandlung. Die chemische Reaktion, Teil II .......... 186
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), Re-
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
### Kapitel VIII Der Wasserstoff und seine Verbindungen

1. **Das Element Wasserstoff**
   - **Vorkommen**
   - **Darstellung**
     - Wasserstoffgewinnung aus Wasser (S. 260), Wasserstoffgewinnung aus Kohlenwasserstoffen (S. 263), Reinigung und Transport von Wasserstoff (S. 263)
   - **Physikalische Eigenschaften**
   - **Chemische Eigenschaften**
     - Thermisches Verhalten (S. 265), Säure-Base-Verhalten (S. 266), Redox-Verhalten (S. 267)
   - **Verwendung, Brennstoffzellen**
   - **Besondere Formen des Wasserstoffs**
     - Atomarer Wasserstoff (S. 271), Leichter, schwerer, superschwerer Wasserstoff (S. 273), Ortho- und Parawasserstoff (S. 274)

2. **Verbindungen des Wasserstoffs (Überblick)**
   - **Grundlagen**
   - **Systematik**
   - **Stöchiometrie**
   - **Struktur und Bindung**
     - Salzartige Wasserstoffverbindungen (S. 280), Metallartige Wasserstoffverbindungen (S. 282), Kovalente Wasserstoffverbindungen (S. 283)
   - **Darstellung**
     - Elementwasserstoffgewinnung durch Hydrogenolyse (S. 285), Elementwasserstoffgewinnung durch Protolyse (S. 287), Elementwasserstoffgewinnung durch Hydridolyse (S. 288)
   - **Physikalische Eigenschaften**
   - **Chemische Eigenschaften**
     - Thermisches Verhalten (S. 290), Säure-Base-Verhalten (S. 292), Redox-Verhalten (S. 293)
   - **Verwendung, Metallhydrid-Nickel-Akkumulator**

### Teil B Hauptgruppenelemente

**Kapitel IX Hauptgruppenelemente (Repräsentative Elemente)**

1. **Periodensystem (Teil II) der Hauptgruppenelemente**
2. **Elektronenkonfiguration der Hauptgruppenelemente**
3. **Einordnung der Hauptgruppenelemente in das Periodensystem**
4. **Trends einiger Eigenschaften der Hauptgruppenelemente**
   - Metallischer und nichtmetallischer Charakter (S. 302), Wertigkeit (S. 304), Allgemeine Reaktivität (S. 305), Periodizitäten innerhalb des Hauptsystems (S. 307)
Kapitel X Grundlagen der Molekülchemie .................................................. 312
1 Strukturen der Moleküle ................................................................. 313
   1.1 Der räumliche Bau der Moleküle. Strukturvorhersagen mit dem VSEPR-Modell .................................................. 313
   1.1.1 VSEPR-Regeln ................................................................. 314
       Ideale \((\beta)_nZ\alpha\)-Strukturen (S. 314), Reale \((\gamma)_nZ\alpha\)-Strukturen (S. 315)
   1.1.2 Anwendungen der VSEPR-Regeln ....................................... 316
   1.1.3 Ausnahmen der VSEPR-Regeln ........................................... 323
   1.2 Die Isomerie der Moleküle ....................................................... 325
2 Bindungsmodelle der Moleküle. Die chemische Bindung, Teil II .................. 327
   2.1 Die Atomorbitale (AO) ............................................................ 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
   2.2 Die Molekülorbitale (MO). Strukturvorhersagen mit dem LCAO-Modell .... 343
       2.2.1 Zweiatomige Moleküle ................................................... 344
           Allgemeines (S. 344), Lineare Kombination von Atomorbitalen zu Molekülorbitalen (S. 347)
       2.2.2 Mehratomige Moleküle ................................................... 355
   2.3 Die Hybridorbitale (HO). Strukturvorhersagen mit dem HO-Modell ........ 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
3 Reaktionsmechanismen der Moleküle. Die chemische Reaktion, Teil III .......... 371
   3.1 Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen ................................ 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)
   3.2 Der Mechanismus chemischer Reaktionen ..................................... 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
4 Stereochemie der Moleküle .............................................................. 405
   4.1 Stereochemische Isomerie (Stereoisomerie) ................................... 406
       4.1.1 Enantiomerie .............................................................. 406
           Moleküle mit \textit{einem} Chiralitätszentrum (S. 408), Moleküle mit \textit{mehreren} Chiralitätszentren (S. 409)
Inhalt XVII

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

Kapitel XI Die Gruppe der Edelgase .............................. 417

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

Kapitel XII Die Gruppe der Halogene ............................. 430

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 Assoziate ................................ 443

Halogen-Kationen (S. 443), Halogen-Anionen (Halogenide) (S. 446), Halogen-Assoziate (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 Halogane ................................ 463

4.1 Überblick ................................................... 463

4.2 Sauerstoffsäure des Fluors .................................. 465

4.3 Sauerstoffsäuren des Chlors ................................ 466

Hypochlorige Säure HClO (S. 466), Chlorige Säure HClO₂ (S. 468), Chlorsäure HClO₃ (S. 469), Perchlorsäure HClO₄ (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 Cl₂O (S. 482), Chlortioxid ClO₂ (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

Kapitel XIII Die Gruppe der Chalkogene ................................................................. 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 (Trioxygen) ..................................................................................... 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), Atomaer Sauerstoff (S. 513), Tetrapsauerstoff (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 Superschwere 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 H₂O₂ (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 S₆-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
2.2 Wasserstoffverbindungen des Schwefels ......................... 557
2.2.1 Schwefelwasserstoff (Sulfan) H₂S ........................ 557
2.2.2 Höhere Schwefelwasserstoffe (Polysulfane) H₂Sₙ .............. 561
2.3 Halogenverbindungen des Schwefels ........................... 562
2.3.1 Überblick ..................................................... 562
2.3.2 Schwefelfluoride ........................................... 564
2.3.3 Schwefelchloride, -bromide, -iodide ......................... 567
2.4 Oxide des Schwefels ........................................... 569
2.4.1 Überblick ..................................................... 569
2.4.2 Schwefeldioxid SO₂ ......................................... 570
2.4.3 Schwefeltrioxid SO₃ .......................................... 573
2.4.4 Niedere Schwefeloxide ........................................ 575
2.5 Sauerstoffsauren des Schwefels .................................. 577
2.5.1 Überblick ..................................................... 577
2.5.2 Schweflige Säure H₂SO₃ und Dischweflige Säure H₂S₂O₅ .......... 580
2.5.3 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 H₂SO₃, H₂SO₂, H₂S₂O₃, H₂S₂O₅ ......... 593
2.5.5 Dithionige Säure H₂S₂O₅ und Dithionsäure H₂S₂O₆ ................ 594
2.5.6 Thioschwefelsäure H₂S₃O₃ ....................................... 595
2.5.7 Polysulfanmonosulfonsäuren H₂SₙSO₃ und Polysulfandisulfonsäuren (Polythionsäuren) H₂SₙO₆ ........................................ 598
2.5.8 Peroxomonoschwefelsäure H₂SO₅ und Peroxodischwefelsäure H₂S₂O₈ .... 600
2.6 Stickstoffverbindungen des Schwefels ............................ 601
2.6.1 Schwefelnitride ............................................... 602
Tetraschwefeltetranitrid („Schwefelstickstoff“) S₄N₄ (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)
3 Das Selen, Tellur und Polonium ................................... 617
3.1 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
3.2 Wasserstoffverbindungen des Selens, Tellurs, Poloniums .......... 626
3.3 Halogenverbindungen des Selens, Tellurs, Poloniums ............. 627
3.3.1 Überblick ..................................................... 627
3.3.2 Selenhalogenide .............................................. 629
### Kapitel XIV Die Stickstoffgruppe („Pentele“)

1 Der Stickstoff

#### 1.1 Das Element Stickstoff
- Vorkommen
- Darstellung
- Physikalische Eigenschaften
- Chemische Eigenschaften und Verwendung
- Allotrope und ionogene Formen von Stickstoff. Nitride

#### 1.2 Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs
- Ammoniak $\text{NH}_3$
- Hydrazin $\text{N}_2\text{H}_4$
- Stickstoffwasserstoffsaure $\text{HN}_3$

#### 1.3 Halogenverbindungen des Stickstoffs

#### 1.4 Organische Verbindungen des Stickstoffs

<table>
<thead>
<tr>
<th>Titel</th>
<th>Seitenzahl</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.3.3 Tellurhalogenide</td>
<td>631</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4 Interchalkogene</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.1 Überblick</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.2 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>635</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.3 Selenium- und Telluroxide</td>
<td>637</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.4 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5 Sauerstoffsäuren des Selen s, Tellurs, Poloniums</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.1 Überblick</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.2 Sauerstoffsäuren des Selens</td>
<td>639</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.3 Sauerstoffsäuren des Tellurs</td>
<td>642</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.4 Sauerstoffsäure des Poloniums</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6 Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.7 Organische Verbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>645</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### Kapitel XIV Die Stickstoffgruppe („Pentele“)

1 Der Stickstoff

#### 1.1 Das Element Stickstoff
- Vorkommen
- Darstellung
- Physikalische Eigenschaften
- Chemische Eigenschaften und Verwendung
- Allotrope und ionogene Formen von Stickstoff. Nitride

#### 1.2 Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs
- Ammoniak $\text{NH}_3$
- Hydrazin $\text{N}_2\text{H}_4$
- Stickstoffwasserstoffsaure $\text{HN}_3$

#### 1.3 Halogenverbindungen des Stickstoffs

<table>
<thead>
<tr>
<th>Titel</th>
<th>Seitenzahl</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.3.3 Tellurhalogenide</td>
<td>631</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4 Interchalkogene</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.1 Überblick</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.2 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>635</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.3 Selenium- und Telluroxide</td>
<td>637</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.4 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5 Sauerstoffsäuren des Selen s, Tellurs, Poloniums</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.1 Überblick</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.2 Sauerstoffsäuren des Selens</td>
<td>639</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.3 Sauerstoffsäuren des Tellurs</td>
<td>642</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.4 Sauerstoffsäure des Poloniums</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6 Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.7 Organische Verbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>645</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### Kapitel XIV Die Stickstoffgruppe („Pentele“)

1 Der Stickstoff

#### 1.1 Das Element Stickstoff
- Vorkommen
- Darstellung
- Physikalische Eigenschaften
- Chemische Eigenschaften und Verwendung
- Allotrope und ionogene Formen von Stickstoff. Nitride

#### 1.2 Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs
- Ammoniak $\text{NH}_3$
- Hydrazin $\text{N}_2\text{H}_4$
- Stickstoffwasserstoffsaure $\text{HN}_3$

#### 1.3 Halogenverbindungen des Stickstoffs

<table>
<thead>
<tr>
<th>Titel</th>
<th>Seitenzahl</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.3.3 Tellurhalogenide</td>
<td>631</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4 Interchalkogene</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.1 Überblick</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.2 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>635</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.3 Selenium- und Telluroxide</td>
<td>637</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.4 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5 Sauerstoffsäuren des Selen s, Tellurs, Poloniums</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.1 Überblick</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.2 Sauerstoffsäuren des Selens</td>
<td>639</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.3 Sauerstoffsäuren des Tellurs</td>
<td>642</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.4 Sauerstoffsäure des Poloniums</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6 Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.7 Organische Verbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>645</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### Kapitel XIV Die Stickstoffgruppe („Pentele“)

1 Der Stickstoff

#### 1.1 Das Element Stickstoff
- Vorkommen
- Darstellung
- Physikalische Eigenschaften
- Chemische Eigenschaften und Verwendung
- Allotrope und ionogene Formen von Stickstoff. Nitride

#### 1.2 Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs
- Ammoniak $\text{NH}_3$
- Hydrazin $\text{N}_2\text{H}_4$
- Stickstoffwasserstoffsaure $\text{HN}_3$

#### 1.3 Halogenverbindungen des Stickstoffs

<table>
<thead>
<tr>
<th>Titel</th>
<th>Seitenzahl</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.3.3 Tellurhalogenide</td>
<td>631</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4 Interchalkogene</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.1 Überblick</td>
<td>634</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.2 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>635</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.3 Selenium- und Telluroxide</td>
<td>637</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4.4 Selen-, Tellur-, Poloniumoxide</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5 Sauerstoffsäuren des Selen s, Tellurs, Poloniums</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.1 Überblick</td>
<td>638</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.2 Sauerstoffsäuren des Selens</td>
<td>639</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.3 Sauerstoffsäuren des Tellurs</td>
<td>642</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5.4 Sauerstoffsäure des Poloniums</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6 Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>643</td>
</tr>
<tr>
<td>3.7 Organische Verbindungen des Selens und Tellurs</td>
<td>645</td>
</tr>
<tr>
<td>Chapter</td>
<td>Section</td>
</tr>
<tr>
<td>---------</td>
<td>---------</td>
</tr>
<tr>
<td>1.3.2</td>
<td>Halogenderivate des Ammoniaks</td>
</tr>
<tr>
<td>1.3.3</td>
<td>Halogenderivate des Hydrazins und Diimins</td>
</tr>
<tr>
<td>1.3.4</td>
<td>Halogenderivate der Stickstoffwasserstoffsaure (Halogenazide)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4</td>
<td>Oxide des Stickstoffs</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5</td>
<td>Sonstige Stickstoffoxide</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1</td>
<td>Das Element Phosphor</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.2</td>
<td>Wasserstoffverbindungen des Phosphors</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.3</td>
<td>Halogenverbindungen des Phosphors</td>
</tr>
<tr>
<td>2.4</td>
<td>Chalkogenverbindungen des Phosphors</td>
</tr>
<tr>
<td>2.5</td>
<td>Sauerstoffsaure des Phosphors</td>
</tr>
</tbody>
</table>
2.5.1 Überblick .......................................................... 789
2.5.2 Phosphinsäure H₃PO₂ .............................................. 793
2.5.3 Phosphonsäure H₃PO₃ .............................................. 794
2.5.4 Phosphorsäure H₃PO₄ .............................................. 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 Phosphonitril ...................................................... 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)-azane) .... 816
2.7 Organische Verbindungen des Phosphors ............................. 817
   Überblick (S. 817), Organophosphane und -phosphoniumsalze (S. 818), Phospha-
   alkene und Phosphaalkine (S. 819), Organophosphane (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 828
   Allotrope (S. 828), Kationen (S. 828), Anionen. Arsenide, Antimonide, Bismutide
   (S. 829)
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 EX₃ ................................................ 834
3.3.3 Pentahalogenide EX₅ ............................................. 837
3.3.4 Niedrigwertige Halogenide EX<₃ ................................ 838
3.4 Chalkogenverbindungen des Arsens, Antimons, Bismuts ......... 839
3.4.1 Überblick .......................................................... 839
3.4.2 Oxide und Sauerstoßsäuren des Arsens ......................... 841
3.4.3 Sulfide und Thiosäuren des Arsens ............................. 845
3.4.4 Oxide und Sauerstoßsäuren 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 Interpentèle ......................................................... 852
3.6 Organische Verbindungen des Arsens, Antimons, Bismuts ........ 853
3.6.1 Überblick .......................................................... 853
   Organylarsane, -stibane, -bismutane und Derivate R,EX₃₋ₙ (S. 854), Organylarsorane,
   -stiborane, -bismorane und Derivate R,EX₃₋ₙ (S. 855), Höhere gesättigte Orga-
   nylarsane, -stibane, -bismutane (S. 857), Ungesättigte Organylarsane, -stibane,
   -bismutane (S. 859)
Kapitel XV  Die Kohlenstoffgruppe („Tetrale“) ................................................................. 861
1  Der Kohlenstoff ................................................................. 861
  1.1  Das Element Kohlenstoff .................................................. 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), Graphitverbündungen (S. 879), Fullerenerverbündungen (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
  1.2  Wasserstoffverbindungen des Kohlenstoffs ........................... 887
  1.3  Halogenverbindungen des Kohlenstoffs ................................ 890
  1.4  Chalkogenverbindungen des Kohlenstoffs .............................. 892
      1.4.1  Überblick .......................................................... 892
      1.4.2  Kohlenstoffdioxid (Kohlendioxid) CO₂ ................................ 893
      1.4.3  Kohlenstoffmonoxid (Kohlenmonoxid, Kohlenoxid) CO ............... 896
      1.4.4  Kohlenstoffdisulfid CS₂, Kohlenstoffdioxid sulfid COS .................. 900
      1.4.5  Sonstige Kohlenstoffoxide und -sulfide ............................. 901
      1.4.6  Kohlenstoffsiloxane und -tellureide .................................. 903
  1.5  Chalkogensäuren des Kohlenstoffs ..................................... 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
  1.6  Stickstoffverbindungen des Kohlenstoffs ............................. 910
      1.6.1  Überblick .......................................................... 910
      1.6.2  Kohlenstoffnitride, Cyanverbindungen .............................. 911
      1.6.3  α-Aminosäuren, Proteine, Nucleobasen, Nucleotide .................... 914
      1.6.4  Evolution des Lebens .............................................. 915
  1.7  Metallorganische Verbindungen ........................................ 916
      Verbindungsbestandteile (S. 916•), Verbindungstypen (S. 917•)

2  Das Silicium ................................................................. 918
  2.1  Das Element Silicium .................................................... 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)
  2.2  Wasserstoffverbindungen des Siliciums ............................... 936
      Überblick (S. 936), Monosilan SiH₃ (S. 937), Höhere gesättigte Silane SiₙH₂ₙ₊₁ (S. 940),
      Silylen SiH₂ (S. 942), Ungesättigte Silane (S. 942)
2.3 Halogenverbindungen des Siliciums ...................................................... 944
Überblick (S. 944), Siliciumtetrahalogenide (Tetrahalogensilane) SiX₄ (S. 945), Disili-
ciumhexahalogenide (Hexahalogensilane) Si₃X₆ (S. 948), Höhere Siliciumhalogeni-
des SiₙXₙ₊₄ (S. 949), Dihalogenwüsten (Siliciumdihalogenide) SiX₂ (S. 949)
2.4 Chalkogenverbindungen des Siliciums ............................................. 949
Siliciumdioxid SiO₂ (S. 950), Siliciummonoxid SiO (S. 953), Sonstige Siliciumchalko-
genide (S. 954)
2.5 Sauerstoffsäuren des Siliciums. Silicate ........................................... 955
2.5.1 Überblick ................................................................. 955
2.5.2 Kieselsäuren ............................................................. 959
Monokieselsäure H₄SiO₄ (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)
2.6 Nitride und Carbide des Siliciums ....................................................... 982
2.7 Organische Verbindungen des Siliciums .............................................. 985
Überblick (S. 985•), Organylmonosilane und Derivate (S. 986•), Silicone (S. 992•),
Höhere Organylgermane (Organyloligosilane) (S. 994•), Organylsilylene (S. 995•), Un-
gesättigte Organylgermane (S. 997•)
3 Das Germanium, Zinn und Blei .............................................................. 1002
3.1 Die Elemente Germanium, Zinn, Blei ................................................. 1002
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 Alltrope 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
3.2 Wasserstoffverbindungen des Germaniums, Zins, Bleis ....................... 1009
3.3 Halogenverbindungen des Germaniums, Zins, Bleis ........................... 1011
3.3.1 Überblick ................................................................. 1011
3.3.2 Dihalogenide EX₂ ....................................................... 1013
3.3.3 Tetrahalogenide EX₄ ..................................................... 1015
3.4 Chalkogenverbindungen des Germaniums, Zins, Bleis ....................... 1016
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 Zins ............................ 1020
3.4.4 Oxide und Sulfide, Säuren und Basen des Bleis ............................ 1022
3.4.5 Der Bleiakkumulator („Bleiakku“) ...................................... 1026
3.5 Organische Verbindungen des Germaniums, Zins, Bleis ....................... 1028
Überblick (S. 1028•), Organylgermane, -stannane, -plumbane und Derivate
(S. 1029•), Höhere Organylgermane, -stannane und -plumbane (S. 1033•), Organyl-
ermylene, -stannylene, -plumbylene und Derivate (S. 1035•), Ungesättigte Organyl-
germane, -stannane und -plumbane und Derivate (S. 1038•)
## XXVI Inhalt

<table>
<thead>
<tr>
<th>Kapitel</th>
<th>Titel</th>
<th>Seitennummer</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2.1.7</td>
<td>Aluminium in Verbindungen</td>
<td>1144</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2</td>
<td>Wasserstoffverbindungen des Aluminums</td>
<td>1145</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Darstellung (S. 1146), Eigenschaften (S. 1146), Tetrahydridaluminate (S. 1149)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.3</td>
<td>Halogenverbindungen des Aluminums</td>
<td>1150</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1150), Aluminiumtrihalogenide $\text{AlX}_3$ (S. 1151), Aluminiumsubhalogenide (S. 1153)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.4</td>
<td>Sauerstoffverbindungen des Aluminums</td>
<td>1156</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1156), Aluminiumhydroxide; Olation und Oxolation (S. 1156), Aluminiumoxide (S. 1160), Aluminate (S. 1162), Aluminiumsalze (S. 1164)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.5</td>
<td>Sonstige einfache Aluminiumverbindungen</td>
<td>1166</td>
</tr>
<tr>
<td>2.6</td>
<td>Organische Verbindungen des Aluminums</td>
<td>1167</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1167), Aluminiumtriorganyle und Derivate (S. 1168), Aluminiummonooorganyle und Derivate (S. 1172), Oligoaluminiumorganyle und Derivate (S. 1174)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3</td>
<td>Das Gallium, Indium und Thallium</td>
<td>1178</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1</td>
<td>Die Elemente Gallium, Indium, Thallium</td>
<td>1178</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1.1</td>
<td>Vorkommen</td>
<td>1178</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1.2</td>
<td>Darstellung</td>
<td>1179</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1.3</td>
<td>Physikalische Eigenschaften und Strukturen</td>
<td>1180</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1.4</td>
<td>Chemische Eigenschaften und Verwendung</td>
<td>1181</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1.5</td>
<td>Allotrope und ionogene Formen von Gallium, Indium, Thallium. Trielide</td>
<td>1182</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1182), Gallide, Indide, Thallide (S. 1183)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3.1.6</td>
<td>Gallium, Indium und Thallium in Verbindungen</td>
<td>1185</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2</td>
<td>Wasserstoffverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums</td>
<td>1186</td>
</tr>
<tr>
<td>3.3</td>
<td>Halogenverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums</td>
<td>1190</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1190), Triel(III)-halogenide (S. 1190), Triel(II)-halogenide (S. 1192), Weitere gemisch-valente Trihalogenide (S. 1192), Triel(I)-halogenide (S. 1193)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3.4</td>
<td>Chalkogenverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums</td>
<td>1194</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1194), Trielhydroxide (S. 1194), Trieloxide (S. 1196) Trielsulfide, -selene, -telluride (S. 1197)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3.5</td>
<td>Pentelverbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums</td>
<td>1198</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6</td>
<td>Organische Verbindungen des Galliums, Indiums, Thalliums</td>
<td>1200</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Überblick (S. 1200), Organylgallane, -indane, -thallane ER, und Derivate (S. 1201), Organylgallylene, -indylenes, -thallylene und Derivate (S. 1202), Ungesättigte Organylgallane, -indane, -thallane und Derivate (S. 1205), Höhere Organyltrielane (,,Oligotrielane“) und Derivate (S. 1206)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Kapitel XVII</td>
<td>Die Gruppe der Erdalkalimetalle</td>
<td>1215</td>
</tr>
<tr>
<td>1</td>
<td>Das Beryllium</td>
<td>1215</td>
</tr>
<tr>
<td>1.1</td>
<td>Das Element Beryllium</td>
<td>1215</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Vorkommen (S. 1215), Darstellung (S. 1216), Eigenschaften (S. 1216), Verwendung, Legierungen (S. 1217), Beryllium in Verbindungen (S. 1217)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.2</td>
<td>Anorganische Verbindungen des Berylliums</td>
<td>1219</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>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)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.3</td>
<td>Organische Verbindungen des Berylliums</td>
<td>1223</td>
</tr>
<tr>
<td>2</td>
<td>Das Magnesium</td>
<td>1225</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1</td>
<td>Das Element Magnesium</td>
<td>1225</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Vorkommen (S. 1225), Darstellung (S. 1225), Eigenschaften (S. 1226), Verwendung, Legierungen, Magnesiumbatterie (S. 1226), Magnesium in Verbindungen (S. 1227)</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
## 2.2 Anorganische Verbindungen des Magnesiums

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

Das Calcium, Strontium, Barium und Radium

## 3.1 Die Elemente Calcium, Strontium, Barium, Radium

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

Kapitel XVIII Die Gruppe der Alkalimetalle

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 Erdalkalimetalle 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 Erdalkalimetall-Salze 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 Ligandenfeldstabilisierungsentnergie. 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 Thermen 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 Molekülorbital schemata der Komplexe ........................................ 1375
        Molekülorbite der Komplexe (S. 1375), Energie niveau-Schema der Molekülorbite oktaedrischer Komplexe (S. 1376)
Inhalt XXIX

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
3.3.2 Redoxadditionen und -eliminierungen .................................. 1398

Kapitel XXI Einige Grundlagen der Festkörperchemie .......................... 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 („Magnetoochemie“) .... 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

Kapitel XXII Die Kupfergruppe ......................................................... 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-, Tetrél-, 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-, Tetrél-, 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-, Tetrél-, 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

Kapitel XXIII Die Zinkgruppe .................................................... 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-, Tetrél-, Trielverbindungen
   (S.1494), Zink in der Biosphäre (S.1495)
<table>
<thead>
<tr>
<th>Inhalt</th>
<th>XXXI</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1.2.2</td>
<td>Zink(I)- und Cadmium(I)-Verbindungen (d^{10}s^1)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2.3</td>
<td>Organische Verbindungen des Zinks und Cadmiums</td>
</tr>
<tr>
<td>2</td>
<td>Das Quecksilber</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1</td>
<td>Das Element Quecksilber</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>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)</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2</td>
<td>Verbindungen des Quecksilbers</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.1</td>
<td>Quecksilber(I)-Verbindungen (d^{10}s^1)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S.1502), Chalkogenverbindungen (S.1503), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S.1504)</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.2</td>
<td>Quecksilber(II)-Verbindungen (d^{10})</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S.1504), Chalkogenverbindungen (S.1507)</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.3</td>
<td>Niedrigwertige Quecksilberverbindungen</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.4</td>
<td>Organische Verbindungen des Quecksilbers</td>
</tr>
<tr>
<td>Kapitel XXIV Die Scandiumgruppe</td>
<td>1513</td>
</tr>
<tr>
<td>1</td>
<td>Die Elemente Scandium, Yttrium, Lanthan und Actinium</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>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)</td>
</tr>
<tr>
<td>2</td>
<td>Verbindungen des Scandiums, Yttriums, Lanthans und Actiniums</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wasserstoffverbindungen (S.1517), Halogenverbindungen (S.1517), Chalkogenverbindungen (S.1518), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S.1519), Organische Verbindungen des Scandiums, Yttriums und Lanthans (S.1519)</td>
</tr>
<tr>
<td>Kapitel XXV Die Tiangruppe</td>
<td>1520</td>
</tr>
<tr>
<td>1</td>
<td>Das Titan</td>
</tr>
<tr>
<td>1.1</td>
<td>Das Element Titan</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Vorkommen (S.1520), Darstellung (S.1521), Physikalische Eigenschaften (S.1522), Chemische Eigenschaften (S.1522), Verwendung, Legierungen (S.1523), Titan in Verbindungen (S.1523)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2</td>
<td>Verbindungen des Titans</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2.1</td>
<td>Titan(IV)-Verbindungen (d^0)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wasserstoffverbindungen (S.1524), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S.1524), Chalkogenverbindungen (S.1526)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2.2</td>
<td>Titan(III)-Verbindungen (d^1)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wasserstoffverbindungen (S.1528), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S.1529), Chalkogenverbindungen (S.1529)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2.3</td>
<td>Titan(II)-Verbindungen (d^2)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wasserstoffverbindungen (S.1530), Halogenverbindungen (S.1530), Chalkogenverbindungen (S.1530), Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S.1531)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2.4</td>
<td>Organische Verbindungen des Titans</td>
</tr>
<tr>
<td>2</td>
<td>Das Zirconium und Hafnium</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1</td>
<td>Die Elemente Zirconium und Hafnium</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Vorkommen (S.1533), Darstellung (S.1534), Physikalische Eigenschaften (S.1534), Chemische Eigenschaften (S.1534), Verwendung, Legierungen (S.1535), Zirconium und Hafnium in Verbindungen (S.1535), Vergleichende Betrachtungen (S.1535)</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2</td>
<td>Verbindungen des Zirconiums und Hafniums</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.1</td>
<td>Wasserstoffverbindungen</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2.2</td>
<td>Halogen- und Pseudohalogenverbindungen</td>
</tr>
</tbody>
</table>
XXXII Inhalt

2.2.3 Chalkogenverbindungen .......................................................... 1538
2.2.4 Pentel-, Tetr-, Trielverbindungen .............................................. 1540
2.2.5 Organische Verbindungen des Zirconiums und Hafniums .................. 1540
Zirconium- und Hafniunorganyle (S. 1540•), Katalytische Prozesse mit Beteiligung von Zr-Organyl en (S. 1541•)

Kapitel XXVI Die Vanadiumgruppe ......................................................... 1542
1 Das Vanadium .................................................................................. 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 (d⁰) .................................................. 1545
Halogenverbindungen (S. 1545), Chalkogenverbindungen (S. 1546)
1.2.2 Vanadium(IV)-Verbindungen (d¹) ................................................ 1547
Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1547), Chalkogenverbindungen (S. 1548)
1.2.3 Vanadium(III)- und Vanadium(II)-Verbindungen (d², d³) ............... 1550
Wasserstoffverbindungen (S. 1550), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1550), Chalkogenverbindungen (S. 1551), Pentel-, Tetr-, Trielverbindungen (S. 1552)
1.2.4 Organische Verbindungen des Vanadiums ..................................... 1552

2 Das Niobium und Tantal ................................................................. 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-, Tetr-, Trielverbindungen .............................................. 1560
2.2.5 Organische Verbindungen des Niobiums und Tantals ................. 1561

Kapitel XXVII Die Chromgruppe ............................................................ 1562
1 Das Chrom ....................................................................................... 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 (d⁰) ...................................................... 1567
1.2.2 Chrom(V)- und Chrom(IV)-Verbindungen (d¹, d²) ....................... 1571
Halogenverbindungen (S. 1571), Sauerstoffverbindungen (S. 1571)
1.2.3 Chrom(III)-Verbindungen (d³) .................................................... 1573
Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1573), Chalkogenverbindungen (S. 1574), Chrom(III)-Komplexe (S. 1576)
1.2.4 Chrom(II)-Verbindungen (d⁴) .................................................... 1577
Wasserstoffverbindungen (S. 1577), Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1577), Chalkogenverbindungen (S. 1578), Pentel-, Tetr-, Trielverbindungen (S. 1578), Chrom(II)-Komplexe (S. 1579)
# Inhaltsverzeichnis XXXIII

## 2 Das Molybdän und Wolfram
### 2.1 Die Elemente Molybdän und Wolfram
- 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)

## 2 Verbindungen des Molybdäns und Wolframs
### 2.2 Wasserstoffverbindungen
- Wasserstoffverbindungen (S. 1586)

### 2.2.1 Wasserstoffverbindungen
- Wasserstoffverbindungen (S. 1586)

### 2.2.2 Halogen- und Pseudohalogenverbindungen
- Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1587), Halogenide (S. 1587), Pseudohalogenide (S. 1590)

### 2.2.3 Chalkogenverbindungen
- Chalkogenverbindungen (S. 1590), Sauerstoffverbindungen (S. 1590), Molybdate(VI) und Wolframate(VI) (S. 1594), Sonstige Chalkogenide und Chalkogenokomplexe (S. 1600)

### 2.2.4 Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen
- Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1601)

### 2.2.5 Molybdän- und Wolfram-Komplexe
- Molybdän- und Wolfram-Komplexe (S. 1602)

### 2.2.6 Organische Verbindungen des Molybdäns und Wolframs
- Organische Verbindungen des Molybdäns und Wolframs (S. 1605), Molybdän- und Wolframorganyle (S. 1605), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Mo- und W-organylen (S. 1606)

## Kapitel XXVIII Die Mangangruppe
### 1 Das Mangan
#### 1.1 Das Element Mangan
- Vorkommen (S. 1607), Darstellung (S. 1608), Physikalische Eigenschaften (S. 1608), Chemische Eigenschaften (S. 1608), Verwendung, Legierungen (S. 1609), Mangan in Verbindungen (S. 1609)

#### 1.2 Verbindungen des Mangans
- 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)
- Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1614), Mangan(III)- und Mangan(IV)-Komplexe (S. 1616)

#### 1.2.3 Mangan(V)-, (VI)-, (VII)-Verbindungen (d^2, d^1, d^0)
- Organische Verbindungen des Mangans (S. 1619)

### 2 Das Technetium und Rhenium
#### 2.1 Die Elemente Technetium und Rhenium
- 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)

#### 2.2 Verbindungen des Technetiums und Rheniums
- Wasserstoffverbindungen (S. 1624)

#### 2.2.2 Halogen- und Pseudohalogenverbindungen
- Halogen- und Pseudohalogenverbindungen (S. 1625)

#### 2.2.3 Chalkogenverbindungen
- Chalkogenverbindungen (S. 1628)

#### 2.2.4 Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen
- Pentel-, Tetrel-, Trielverbindungen (S. 1631)

#### 2.2.5 Technetium- und Rheniumkomplexe
- Technetium- und Rheniumkomplexe (S. 1631)

#### 2.2.6 Organische Verbindungen des Technetiums und Rheniums
- Organische Verbindungen des Technetiums und Rheniums (S. 1632), Technetium- und Rheniumorganyle (S. 1632), Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Re-organylen (S. 1634)
Kapitel XXIX  Die Eisengruppe .................................................. 1635

1  Das Eisen ................................................................. 1636

  1.1  Das Element Eisen .................................................. 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

  1.2  Eisen(II)- und Eisen(III)-Verbindungen (d^6, d^3) .............. 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^1, d^0) ........ 1665

  1.2.3  Organische Verbindungen des Eisens ........................... 1666

2  Das Ruthenium und Osmium ............................................... 1666

  2.1  Die Elemente Ruthenium und Osmium ................................ 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)

  2.2  Verbindungen des Rutheniums und Osmiums ........................ 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

Kapitel XXX  Die Cobaltgruppe ................................................ 1681

1  Das Cobalt ............................................................. 1681

  1.1  Das Element Cobalt ................................................. 1681

      Vorkommen (S. 1681), Darstellung (S. 1681), Physikalische Eigenschaften (S. 1682),
      Chemische Eigenschaften (S. 1682), Verwendung, Legierungen (S. 1682), Cobalt in
      Verbindungen (S. 1682)

  1.2  Verbindungen des Cobalts ........................................ 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-organylen
      (S. 1695•)

2  Das Rhodium und Iridium ............................................... 1696

  2.1  Die Elemente Rhodium und Iridium ................................ 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-Organyle (S. 1706•)

Kapitel XXXI Die Nickelgruppe .......................................................... 1709
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^9) .................. 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-organyle (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-organyle (S. 1741•)

Kapitel XXXII Überblick über wichtige Verbindungsklassen der Übergangsmetalle ................................ 1744
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
XXXVI  Inhalt

1.2.4 Übergangsmetallazide .................................................. 1761
1.3 Sauerstoffverbindungen. Nichtstöchiometrie .......................... 1762
1.3.1 Übergangsmetalloxide, Nichtstöchiometrie ......................... 1762
1.3.2 Disauerstoffkomplexe der Übergangsmetalle ....................... 1766
1.4 Stickstoffverbindungen ..................................................... 1771
1.4.1 Übergangsmetallnitride ................................................ 1771
1.4.2 Distickstoffkomplexe der Übergangsmetalle ....................... 1775
2 Metallcarbonyle und verwandte Komplexe .............................. 1780
  2.1 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 Metalltrifluorphosphane und -carbonyllhalogenide .... 1791
    2.1.4 Verwendung ........................................................... 1798
  2.2 Die Metallcarbonyl-Anionen, -Hydride und -Kationen ................. 1799
    2.2.1 Metallcarbonyl-Anionen ............................................ 1799
    2.2.2 Metallcarbonylwasserstoffe ....................................... 1804•
    2.2.3 Metallcarbonyl-Kationen ........................................... 1809
  2.3 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•)
3 Einige Klassen organischer Übergangsmetallverbindungen ............... 1823
  3.1 Organische n-Komplexe der Übergangsmetalle ......................... 1823
    3.1.1 Metallorganyle ...................................................... 1824
    3.1.2 Alkylidenmetallkomplexe (Carbenkomplexe) ....................... 1829
    3.1.3 Alkyldinnmetallkomplexe (Carbinkomplexe) ....................... 1832
  3.2 Organische σ-Komplexe der Übergangsmetalle ........................ 1833
    3.2.1 σ-Metallkomplexe der Alkane ..................................... 1833
        σ-CH-Metallkomplexe (S. 1833•), σ-CC-Metallkomplexe (S. 1835•)
    3.2.2 σ-Metallkomplexe der Silane und anderer Hydride ............... 1836
  3.3 Organische π-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
  3.4 Katalytische Prozesse unter Beteiligung von Metallorganyle ......... 1872
Teil D  Lanthanoide, Actinoide, Transactinoide  

Kapitel XXXIII  Lanthanoide und Actinoide (Innere Übergangsmetalle)  

1 Periodensystem (Teil IV) der Lanthanoide und Actinoide  
1.1 Elektronenkonfiguration der Lanthanoide und Actinoide  
1.2 Einordnung der Lanthanoide und Actinoide in das Periodensystem  
2 Trends einiger Eigenschaften der Lanthanoide und Actinoide  

Kapitel XXXIV  Grundlagen der Kernchemie  

1 Die natürliche Elementumwandlung  
1.1 Natürlicher radioaktiver Zerfall  
1.1.1 Der α- sowie β-Zerfall  
1.1.2 Asymmetrische und superasymmetrische Kernspaltung  
1.2 Energie des radioaktiven Zerfalls  
1.2.1 Energieinhalt und -art der radioaktiven Strahlung  
1.2.2 Strahlungswechselwirkung mit Materie  
1.2.3 Radioaktiver Energieumsatz  
1.3 Geschwindigkeit des radioaktiven Zerfalls  
1.3.1 Zerfallskonstante, Halbwertszeit, Aktivität  
1.3.2 Radioaktives Gleichgewicht  
1.4 Mechanismus des radioaktiven Zerfalls  
2 Die künstliche Elementumwandlung  
2.1 Die Kern-Einzelreaktion  
2.1.1 Die einfache Kernreaktion  
2.1.2 Die Kernzersplitterung  
2.1.3 Die Kernspaltung  
2.1.4 Die Kernverschmelzung. Evolution des Universums  
2.2 Die Kern-Kettenreaktion  
2.2.1 Die gesteuerte Kern-Kettenreaktion  
2.2.2 Die ungesteuerte Kern-Kettenreaktion  

Kapitel XXXV  Die Lanthanoide  

1 Vorkommen  
2 Gewinnung  
3 Physikalische Eigenschaften  
4 Chemische Eigenschaften  
5 Verbindungen der Lanthanoide
XXXVIII Inhalt

5.1 Anorganische Verbindungen der Lanthanoide ............................ 1940
Wasserstoffsverbindungen (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

Kapitel XXXVI Die Actinoide .................................................. 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
   6.2 Organische Verbindungen der Actinoide ................................ 1975

Kapitel XXXVII Die Transactinoide („Superschwere Elemente“) .............. 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

Schlusswort ................................................................. 1988
Die gegenseitige Umwandlung von Masse und Energie .......................... 1988

Teil E Anhang ............................................................... 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