

Inhalt

Vorwort zur 5. Auflage — V

Dietrich Gudat

- 1 Anorganische Molekülchemie — 1**
- 1.1 Methodische Grundlagen — 2
 - 1.1.1 Arbeitstechniken — 2
 - 1.1.2 Charakterisierungsmethoden — 5
 - 1.1.3 Grundlagen quantenchemischer Methoden — 9
 - 1.1.3.1 Wellenfunktionen und Dichtefunktionale — 10
 - 1.1.3.2 Interpretation von Wellenfunktionen und Elektronendichteverteilungen — 13
 - 1.1.4 Grundlegende Aspekte von Struktur und Reaktivität — 16
 - 1.1.4.1 Elementare Trends – Die Sonderstellung der Elemente der 2. Periode — 16
 - 1.1.4.2 Geometrische Struktur von Molekülen — 20
 - 1.1.4.3 Intermolekulare Wechselwirkungen und Reaktivität — 21
 - 1.1.4.4 Mehrzentrenbindungen — 26
 - 1.1.4.4.1 Energetische und strukturelle Aspekte von Dreizentrenbindungen — 27
 - 1.1.4.4.2 Hyperkoordinierte Verbindungen mit 4e-3z-Bindungen — 29
 - 1.1.4.4.3 Elektronenmangelverbindungen und 2e-3z-Bindungen — 34
 - 1.1.4.5 Reaktionsmechanismen — 35
 - 1.1.4.6 Kinetische Stabilisierung — 38
 - 1.1.5 Molekülgerüste: Ketten, Ringe, Polycyclen, Käfige — 43
 - 1.1.5.1 Molekulare Silikate und Silikatanaloga — 44
 - 1.1.5.1.1 Silsesquioxane — 44
 - 1.1.5.1.1.1 Molekulare Modelle für Silikatoberflächen — 48
 - 1.1.5.1.1.2 Heterosubstituierte Silsesquioxane — 50
 - 1.1.5.1.2 Element-Modifikationen: Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel — 51
 - 1.1.5.1.2.1 Stickstoff — 52
 - 1.1.5.1.2.2 Sauerstoff — 55
 - 1.1.5.1.2.3 Phosphor — 57
 - 1.1.5.1.2.4 Schwefel — 62
 - 1.1.5.1.3 Aktivierung von Element-Element-Bindungen und Gerüstumwandlungen — 65
 - 1.1.5.1.3.1 Nukleophile Aktivierung und polyatomare Anionen — 65
 - 1.1.5.1.3.2 Elektrophile Aktivierung und polyatomare Kationen — 69
 - 1.1.5.1.3.3 Aktivierung durch Ambiphile — 75

- 1.3.4 Gerüststrukturen aus Gruppe-14-Elementen:
Oligo- und Polysilane — 76
- 1.4 Subvalente Verbindungen — 83
 - 1.4.1 Carbenanaloga — 84
 - 1.4.2 Borylene — 102
 - 1.4.3 Radikale — 105
 - 1.4.3.1 Persistente und stabile neutrale Monoradikale mit
Hauptgruppenelementen — 106
 - 1.4.3.2 Dreielektronenbindungen — 108
- 1.5 Mehrfachbindungssysteme — 111
 - 1.5.1 Klassische und nichtklassische isolierte Doppelbindungen — 111
 - 1.5.2 Dreifachbindungen — 116
 - 1.5.3 Konjugierte und aromatische π -Systeme — 119
- 1.6 Elektronenreiche Verbindungen — 124
 - 1.6.1 Edelgasverbindungen — 125
 - 1.6.2 Ylide — 131
- 1.7 Clusterverbindungen mit Elektronenmangel — 139
 - 1.7.1 Deltaedrische Polyborane — 139
 - 1.7.1.1 Bindungsverhältnisse — 139
 - 1.7.2 Heteroborane — 146
- 1.8 Moderne Aspekte von Säure-Base- und Wasserstoffchemie — 149
 - 1.8.1 Supersäuren — 149
 - 1.8.1.1 Protonendonorstärken und Aciditätsskalen — 149
 - 1.8.1.2 Chemie ausgewählter Supersäuren — 154
 - 1.8.1.3 Anwendungen von Supersäuren — 155
 - 1.8.1.4 Kationische Lewisäuren und schwach koordinierende
Anionen — 157
 - 1.8.2 Lewisäure/base-Komplexe — 160
 - 1.8.2.1 Donor-Akzeptor-Komplexe und dative Bindungen — 160
 - 1.8.2.2 Synthese von Donor-Akzeptor-Komplexen — 163
 - 1.8.2.3 Amin-Boran-Addukte: Neues Interesse an alten Molekülen — 165
 - 1.8.3 Frustrierte Lewis-Paare und die metallfreie Aktivierung von H_2
und CO_2 — 169

Hans-Jürgen Meyer

- 2 Festkörperchemie — 177
 - 2.1 Festkörperreaktionen — 179
 - 2.1.1 Reaktionsbehälter — 180
 - 2.1.2 Fest-Fest-Reaktionen — 181
 - 2.1.3 Reaktionen in Schmelzen — 183
 - 2.1.3.1 Ionische Flüssigkeiten — 185
 - 2.1.4 Chemische Transportreaktionen — 186

- 2.1.5 Reaktionen bei „tiefen“ Temperaturen — 189
- 2.1.6 Modifizierung von Feststoffen — 190
 - 2.1.6.1 Interkalation — 191
 - 2.1.6.2 Ionenaustausch — 192
- 2.1.7 Reaktionen bei hohen Drücken — 193
 - 2.1.7.1 Reaktive Gase — 193
 - 2.1.7.2 Solvothermalsynthesen — 194
 - 2.1.7.3 Fest-Fest-Reaktionen bei hohen Drücken — 196
- 2.2 Kristallstrukturen — 198
 - 2.2.1 Dichteste Packungen von Atomen — 198
 - 2.2.2 Lückenbesetzungen in dichtest gepackten Strukturen — 201
 - 2.2.3 Beschreibung wichtiger Strukturtypen — 201
 - 2.2.3.1 Natriumchlorid-Struktur — 201
 - 2.2.3.2 Caesiumchlorid-Struktur — 201
 - 2.2.3.3 Nioboxid-Struktur — 202
 - 2.2.3.4 Nickelarsenid-Struktur — 203
 - 2.2.3.5 Wolframcarbid-Struktur — 203
 - 2.2.3.6 Kubische Zinksulfid-Struktur (Zinkblende) — 203
 - 2.2.3.7 Hexagonale Zinksulfid-Struktur (Wurtzit) — 203
 - 2.2.3.8 Calciumfluorid-Struktur (Fluorit) — 204
 - 2.2.3.9 Titandioxid-Struktur (Rutil) — 204
 - 2.2.3.10 β -Cristobalit-Struktur — 204
 - 2.2.3.11 Cuprit-Struktur — 205
 - 2.2.3.12 Cadmiumiodid-Struktur — 205
 - 2.2.3.13 Cadmiumchlorid-Struktur — 206
 - 2.2.3.14 Beschreibung von Schichtstrukturen — 207
 - 2.2.4 Vorhersagen von Kristallstrukturen — 208
 - 2.2.5 Kristallstrukturanalyse und kristallographische Datenbanken — 209
- 2.3 Nanochemie — 210
 - 2.3.1 Der Schmelzpunkt von Nanoteilchen — 212
 - 2.3.2 Die elektrische Leitfähigkeit von Nanoteilchen — 212
 - 2.3.3 Der Magnetismus von Nanoteilchen — 213
 - 2.3.4 Die optischen Eigenschaften von Nanoteilchen — 214
 - 2.3.5 Oberflächenchemie und Katalyse — 215
 - 2.3.6 Synthesen von Nanoteilchen — 215
 - 2.3.7 Gesundheitliche Risiken von Nanoteilchen — 216
- 2.4 Kristalldefekte — 217
 - 2.4.1 Rotationen — 217
 - 2.4.2 Versetzungen — 218
 - 2.4.3 Punktdefekte nach Schottky und Frenkel — 218
 - 2.4.4 Farbzentren — 219
 - 2.4.5 Platztausch von Atomen (Ordnungs-Unordnungs-Vorgänge) — 220

- 2.4.6 Fehlordnung über Leerstellen — **222**
- 2.4.7 Phasenwechselmaterialien und (optische, elektronische) Speichermedien — **223**
- 2.4.8 Nicht stöchiometrische Phasen — **224**
- 2.4.9 Dotierung und feste Lösungen — **225**
- 2.4.10 Scherstrukturen — **227**
- 2.5 Elektrochemische Zellen — **228**
- 2.5.1 Messung von Sauerstoff-Partialdrücken — **228**
- 2.5.2 Brennstoffzellen — **230**
- 2.5.3 Batterien — **230**
- 2.5.4 Wiederaufladbare Lithiumbatterien — **232**
- 2.5.4.1 Elektrolyte für Lithiumbatterien — **232**
- 2.5.4.2 Anodenmaterialien für Lithiumbatterien — **233**
- 2.5.4.3 Kathodenmaterialien für Lithiumbatterien — **234**
- 2.5.4.4 Wichtige Lithiumakkumulatoren — **234**
- 2.5.5 Die Nickel-Metallhydrid-Batterie — **235**
- 2.6 Elektronische Strukturen fester Stoffe — **236**
- 2.6.1 Die lineare Anordnung von Wasserstoffatomen — **237**
- 2.6.2 Die Peierls-Verzerrung einer linearen Anordnung von H-Atomen — **240**
- 2.6.3 Bandstrukturen in drei Dimensionen – Brillouin-Zonen — **242**
- 2.6.4 Beispiele für Bandstrukturen — **243**
- 2.6.4.1 Die Bandstruktur der $[\text{Pt}(\text{CN})_4]$ -Säulen in der Struktur von $\text{K}_2[\text{Pt}(\text{CN})_4] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ — **244**
- 2.6.4.2 Die Bandstruktur von ReO_3 – ein dreidimensionales d^1 -Metall — **246**
- 2.6.4.3 Die Bandstruktur von MoS_2 – ein d^2 -Halbleiter — **248**
- 2.6.4.4 Die Bandstruktur von LaI_2 – ein d^1 -Metall — **249**
- 2.6.5 Metall–Metall-Bindungen — **251**
- 2.6.6 Peierls-Verzerrung und Ladungsdichtewelle (CDW) — **252**
- 2.7 Magnetische Eigenschaften von Feststoffen — **253**
- 2.7.1 Diamagnetismus — **255**
- 2.7.2 Paramagnetismus — **256**
- 2.7.3 Kooperative Eigenschaften — **260**
- 2.7.4 Ferromagnetische Ordnung — **261**
- 2.7.5 Magnetische Kopplungsmechanismen — **262**
- 2.7.6 Antiferromagnetische Ordnung — **263**
- 2.7.7 Paramagnetismus der Leitungselektronen (Pauli-Paramagnetismus) — **264**
- 2.8 Der metallische Zustand — **264**
- 2.8.1 Metalle — **264**
- 2.8.2 Intermetallische Systeme — **267**
- 2.8.3 Legierungen — **267**

- 2.8.4 Intermetallische Verbindungen mit Formgedächtnis — 268
- 2.8.5 Hume-Rothery-Phasen — 269
- 2.8.6 Laves-Phasen — 271
- 2.8.7 Zintl-Phasen — 272
- 2.8.7.1 Die Synthese von Zintl-Phasen — 273
- 2.8.7.2 Beispiele für Zintl-Phasen — 274
- 2.8.7.3 Salztartige Zintl-Phasen mit isolierten Anionen — 275
- 2.8.7.4 Zintl-Phasen mit polyatomaren Anionen — 275
- 2.8.7.5 Zintl-Ionen, die Käfigstrukturen bilden — 277
- 2.8.7.6 Zintl-Phasen-Hydride — 279
- 2.8.7.7 Eigenschaften von Zintl-Phasen — 280
- 2.8.8 Heusler-Phasen und Skutterudite — 280
- 2.8.9 Thermoelektrizität — 281
- 2.9 Verbindungen der Metalle — 283
- 2.9.1 Metallhydride — 283
- 2.9.1.1 Salztartige Metallhydride — 283
- 2.9.1.2 Kovalente Metallhydride — 284
- 2.9.1.3 Metallartige Metallhydride — 284
- 2.9.1.4 Ternäre Metallhydride — 287
- 2.9.1.5 Metallhydridspeicher — 289
- 2.9.2 Metallboride — 292
- 2.9.2.1 Synthese von Metallboriden — 292
- 2.9.2.2 Strukturen der Metallboride — 293
- 2.9.2.3 Bor—Bor-Bindungen in Metallboriden — 296
- 2.9.2.4 Eigenschaften von Metallboriden — 297
- 2.9.3 Metallcarbide — 298
- 2.9.3.1 Synthese von Metallcarbiden — 298
- 2.9.3.2 Salztartige Metallcarbide — 299
- 2.9.3.3 Metallcarbide der Übergangsmetalle — 301
- 2.9.3.4 Metallcarbide der Seltenerdmetalle und einiger 5f-Elemente — 302
- 2.9.3.5 Ternäre Metallcarbide — 303
- 2.9.3.6 Eigenschaften von Metallcarbiden — 306
- 2.9.4 Metallnitride — 306
- 2.9.4.1 Synthese von Metallnitriden — 307
- 2.9.4.2 Salztartige und metallische Metallnitride der Alkali- und Erdalkalimetalle — 308
- 2.9.4.3 Kovalente Metallnitride und Elektrolumineszenz — 310
- 2.9.4.4 Metallnitride der Übergangsmetalle — 311
- 2.9.4.5 Ternäre Metallnitride und Nitridometallate — 311
- 2.9.4.6 Eigenschaften von Metallnitriden — 313
- 2.9.4.7 Metallnitride der Seltenerdmetalle und 5f-Elemente — 313
- 2.9.4.8 Nitridische Verbindungen — 314

- 2.9.5 **Metalloxide — 315**
- 2.9.5.1 **Sauerstoffverbindungen der Alkalimetalle — 316**
- 2.9.5.2 **Oxide der Erdalkalimetalle und des Aluminiums — 317**
- 2.9.5.3 **Binäre Metalloxide der Übergangsmetalle — 318**
- 2.9.5.4 **Ternäre Metalloxide und Oxometallate — 327**
- 2.9.5.5 **Metallreiche Oxometallate – Metallcluster — 329**
- 2.9.5.6 **Perowskite — 331**
- 2.9.5.7 **Wolframoxide und Oxidbronzen — 334**
- 2.9.5.8 **Spinelle — 334**
- 2.9.5.9 **Magnetoplumbit — 338**
- 2.9.5.10 **Granate — 339**
- 2.9.5.11 **Synthesen von Metalloxiden über wässrige Lösungen,
Sol-Gel-Synthese von YAG — 341**
- 2.9.5.12 **Leuchtstoffe — 342**
- 2.9.5.13 **Supraleitfähigkeit — 345**
- 2.9.5.14 **Oxide der Seltenerdmetalle — 353**
- 2.9.6 **Metallsulfide — 355**
- 2.9.6.1 **Schwefelreiche Metallsulfide — 355**
- 2.9.6.2 **Trisulfide — 356**
- 2.9.6.3 **Disulfide — 357**
- 2.9.6.4 **Monosulfide — 360**
- 2.9.6.5 **Metallreiche Metallsulfide — 361**
- 2.9.6.6 **Ternäre Metallsulfide der Übergangsmetalle — 364**
- 2.9.6.7 **Sulfide der Seltenerdmetalle — 365**
- 2.9.7 **Metallfluoride — 367**
- 2.9.7.1 **Heptafluoride — 368**
- 2.9.7.2 **Hexafluoride — 369**
- 2.9.7.3 **Pentafluoride — 370**
- 2.9.7.4 **Tetrafluoride — 370**
- 2.9.7.5 **Trifluoride — 372**
- 2.9.7.6 **Metalldifluoride und -subfluoride — 373**
- 2.9.7.7 **Fluoridometallate — 374**
- 2.9.8 **Metallchloride, -bromide und -iodide — 375**
- 2.9.8.1 **Hexahalogenide und Pentahalogenide — 376**
- 2.9.8.2 **Tetrahalogenide — 376**
- 2.9.8.3 **Trihalogenide — 377**
- 2.9.8.4 **Dihalogenide und Monohalogenide — 379**
- 2.9.8.5 **Metallhalogenide mit Metallclustern — 381**
- 2.9.9 **Halogenide der Seltenerdmetalle — 392**
- 2.9.9.1 **Trihalogenide — 393**
- 2.9.9.2 **Dihalogenide — 394**
- 2.9.9.3 **Monohalogenide — 398**

- 2.10 Keramische Materialien — **400**
- 2.10.1 Herstellung von Hochleistungskeramiken — **400**
- 2.10.2 Cermets und Komposite — **401**
- 2.10.3 Einteilung keramischer Materialien — **401**
- 2.10.3.1 Silicatkeramik — **402**
- 2.10.3.2 Oxidkeramik — **403**
- 2.10.3.3 Boridkeramik — **404**
- 2.10.3.4 Carbidkeramik — **404**
- 2.10.3.5 Nitridkeramik — **405**
- 2.10.3.6 Silicidkeramik — **407**
- 2.10.3.7 Glaskeramik — **407**

- Christoph Janiak
- 3 Komplex-/Koordinationschemie — 409**
- 3.1 Einleitung — **409**
- 3.2 Geschichte — **411**
- 3.3 Nomenklatur von Komplexverbindungen — **413**
- 3.4 Ligandenklassen — **417**
- 3.5 Oxidationszahl und Valenzelektronenzahl des Metallatoms
 in Komplexverbindungen — **421**
- 3.6 Gesamt-Valenzelektronenzahl in Komplexen — **422**
- 3.7 Koordinationszahl und -polyeder von Komplexverbindungen — **424**
- 3.8 Isomerie bei Komplexverbindungen — **433**
- 3.9 Die Bindung in Komplexen und ihre Effekte — **440**
- 3.9.1 Valenzbindungstheorie (VB-Theorie) — **440**
- 3.9.2 Kristallfeldtheorie (CF-Theorie) — **441**
- 3.9.3 Stereochemische und thermodynamische Effekte
 der Kristallfeldaufspaltung — **450**
- 3.9.4 Kristallfeldaufspaltung – UV/Vis-Spektroskopie — **457**
- 3.9.5 Kristallfeldtheorie – Defizite des Modells — **460**
- 3.9.6 Kristallfeldtheorie – Mehrelektronennäherung — **461**
- 3.9.7 Ligandenfeldtheorie — **477**
- 3.9.8 Molekülorbitaltheorie (MO-Theorie) — **486**
- 3.10 Stabilität von Metallkomplexen — **496**
- 3.10.1 Thermodynamische und kinetische Stabilität — **496**
- 3.10.2 Stabilitätskonstanten und Komplexbildungsgleichgewichte — **498**
- 3.10.3 Stabilitätstrends — **505**
- 3.10.4 Der Chelateffekt – Grundlagen — **511**
- 3.10.5 Der Chelateffekt – Anwendungen — **514**
- 3.11 Reaktivität von Metallkomplexen, Kinetik und Mechanismen — **525**
- 3.11.1 Substitutionsreaktionen — **525**
- 3.11.2 Redoxreaktionen – Elektronentransfer mit Komplexen — **539**

- 3.11.3 Ligandenreaktionen in der Koordinationssphäre von Metallatomen — 552
- 3.12 Disauerstoff-Metallkomplexe — 557
- 3.13 Distickstoff-Metallkomplexe — 561
- 3.14 Cyanido-Metallkomplexe — 568
- 3.15 Metall—Metall-Bindungen und Metallcluster — 574
- 3.16 Medizinische Anwendungen von Metallkomplexen — 581
- 3.17 Metall-organische Grüstverbindungen (MOFs), poröse Koordinationspolymere — 586
- 3.18 Lumineszenz bei Metallkomplexen — 591
- 3.19 Molekulare Magnete — 601
- 3.20 Methoden zur Untersuchung von Metallkomplexen — 604
- 3.21 Anhang — 614
- 3.21.1 Molekülsymmetrie und Gruppentheorie — 614
- 3.21.2 Systematische Ermittlung von Russell-Saunders-Termen — 621

Christoph Janiak

- 4 Organometallchemie — 625**
- 4.1 Einleitung und Metall-Kohlenstoff-Bindung — 625
- 4.2 Hauptgruppenmetall- und -elementorganyle — 629
 - 4.2.1 Alkalimetallorganyle — 629
 - 4.2.2 Erdalkalimetallorganyle — 635
 - 4.2.3 Organyle der 13. Gruppe: B, Al — 636
 - 4.2.4 Organyle der 14. Gruppe: Si, Sn und Pb — 644
 - 4.2.5 Elementorganyle der 15. Gruppe: Phosphor — 657
 - 4.2.6 Fluktuierende Hauptgruppenmetallorganyle — 666
 - 4.2.7 Hauptgruppenmetall- π -Komplexe — 668
 - 4.2.8 Subvalente Hauptgruppen- σ -Organyle und Element-Element-Bindungen — 675
 - 4.2.9 Kation-Aren- π -Wechselwirkungen — 681
- 4.3 Übergangsmetallorganyle — 683
 - 4.3.1 Carbonylkomplexe — 683
 - 4.3.1.1 Binäre Metallcarbonyle – Synthesen, Strukturen, Eigenschaften — 684
 - 4.3.1.2 „Nichtklassische“ Metallcarbonyle — 706
 - 4.3.1.3 Metallcarbonylderivate — 707
 - 4.3.1.4 Isoelektronische Liganden zu CO — 713
 - 4.3.1.5 Anwendungen von Metallcarbonylen und Derivaten — 723
 - 4.3.2 Carben-(Alkyliden-)Komplexe — 725
 - 4.3.3 Carbin-(Alkylidin-)Komplexe — 740
 - 4.3.4 Übergangsmetall- π -Komplexe — 743
 - 4.3.4.1 Olefin-(Alken-)Komplexe — 743

- 4.3.4.2 Alkin-(Acetylen-)Komplexe — 750
- 4.3.4.3 Allylkomplexe — 752
- 4.3.4.4 Komplexe mit cyclischen π -Liganden — 755
- 4.3.5 Agostische Wechselwirkungen — 769
- 4.3.6 Elementarreaktionen mit Metallorganen — 771
- 4.3.7 Metallorganische Verbindungen der Lanthanoide — 780
- 4.4 Katalyse — 782
- 4.4.1 Homogenkatalytische Verfahren — 782
- 4.4.1.1 Acetaldehyd durch Ethenoxidation und Aceton durch Propenoxidation (Wacker-Hoechst-Verfahren) — 782
- 4.4.1.2 Essigsäureherstellung durch Carbonylierung von Methanol (BASF- und Monsanto-Verfahren) — 785
- 4.4.1.3 Aldehyde aus Olefinen durch Hydroformylierung („Oxo-Synthese“) — 788
- 4.4.1.4 Butadienhydrocyanierung, Adiponitrilsynthese — 792
- 4.4.1.5 Butadien-trimerisierung und -dimerisierung — 794
- 4.4.1.6 Der Shell Higher Olefin Process (SHOP), Ethenoligomerisierung — 795
- 4.4.1.7 Asymmetrische Hydrierungen – Synthese von L-Dopa und L-Phenylalanin — 797
- 4.4.1.8 Enantioselektive Olefinisomerisierung, L-Menthol-Synthese — 801
- 4.4.1.9 Transferhydrierung von Alkoholen zu Ketonen — 802
- 4.4.1.10 Metallocenkatalysatoren für die Olefinpolymerisation — 803
- 4.4.2 Heterogenkatalytische Verfahren — 814
- 4.4.2.1 Fischer-Tropsch-Synthese — 816
- 4.4.2.2 Olefin-/Alken-Metathese — 820
- 4.4.2.3 Olefinpolymerisation mit heterogenen Katalysatoren, klassische Ziegler-Natta-Katalyse — 825

Philipp Kurz

- 5 **Bioanorganische Chemie — 831**
- 5.1 Was ist bioanorganische Chemie? — 831
- 5.2 Biologische und chemische Rahmenbedingungen — 833
- 5.2.1 Die Zelle als „BioAC-Reaktor“ — 833
- 5.2.2 Elementare Zusammensetzung von Organismen — 834
- 5.2.3 Wasser: das Reaktionsmedium des Lebens — 835
- 5.2.4 Für die BioAC wichtige Konzepte der Koordinationschemie — 836
- 5.2.5 Bioverfügbarkeit der Metalle — 837
- 5.2.6 Liganden der BioAC: Aminosäuren, Nucleobasen, Porphyrine ... — 840
- 5.3 Bioanorganische Transport-, Speicher- und Signal-Prozesse — 844
- 5.3.1 Ionentransport durch die Zellmembran — 844

- 5.3.2 Valinomycin und Ferrichrom: Ionophore für Kalium und Eisen — **846**
- 5.3.3 Eisentransport und -speicherung in Säugetieren — **849**
- 5.3.4 Transport und Speicherung von O₂ durch Hämoglobin und Myoglobin — **852**
- 5.3.5 Signalübertragung mit Ca und Zn: Calmodulin und Zinkfinger-Proteine — **858**
- 5.4 Metalloproteine für den Elektronentransfer — **861**
- 5.4.1 Grundlagen — **861**
- 5.4.2 Elektronentransfer durch Kupfer: Plastocyanin — **863**
- 5.4.3 Elektronentransfer durch Häm-Eisen: Cytochrom c — **865**
- 5.4.4 Eisen-Schwefel-Proteine — **867**
- 5.5 Metalloenzyme — **870**
- 5.5.1 Grundlagen — **870**
- 5.5.2 Carboanhydrase — **872**
- 5.5.3 Fe,Zn-Phosphatase — **875**
- 5.5.4 Mn₂-Katalase — **876**
- 5.5.5 Cytochrom P450 — **880**
- 5.5.6 Sulfit-Oxidase — **883**
- 5.5.7 Oxygen Evolving Complex und Künstliche Photosynthese — **885**
- 5.5.8 Hydrogenasen — **892**
- 5.5.9 Vitamin B₁₂/Methionin-Synthase — **896**
- 5.6 Biomineralisation — **900**
- 5.6.1 Grundlagen — **900**
- 5.6.2 Biologisch induzierte Mineralisation — **902**
- 5.6.3 Biologisch kontrollierte Mineralisation — **903**
- 5.6.4 Organisch-anorganische Verbundmaterialien — **905**
- 5.6.5 Modellsysteme für die Biomineralisation — **907**

Sachregister — 911