

# Inhalt

Häufig gebrauchte Abkürzungen . . . . .	XIX
Häufig gebrauchte Symbole . . . . .	XXIII
1 Was ist Anorganische Chemie? . . . . .	1
<i>Ralf Steudel</i>	
1.1 Die Anfänge der anorganischen Chemie . . . . .	1
1.2 Ein Beispiel für moderne anorganische Chemie . . . . .	2
1.3 Die chemische Struktur der Zeolithe . . . . .	4
1.4 Chemische Reaktivität in Zeolithen . . . . .	6
1.5 Schlussfolgerungen . . . . .	9
2 Die Struktur der Atome . . . . .	11
<i>Ralf Steudel</i>	
2.1 Spektroskopie . . . . .	11
2.2 Die Wellengleichung . . . . .	14
2.3 Das Teilchen im Kasten . . . . .	15
2.4 Das Wasserstoffatom . . . . .	18
2.4.1 Die radiale Wellenfunktion $R$ . . . . .	18
2.4.2 Der winkelabhängige Teil der Wellenfunktion . . . . .	24
2.5 Die Symmetrie der Orbitale . . . . .	27
2.5.1 Die Energie der Orbitale . . . . .	29
2.6 Atome mit mehr als einem Elektron . . . . .	31
2.6.1 Der Elektronenspin und das Pauli-Prinzip . . . . .	32
2.6.2 Das Aufbauprinzip . . . . .	34
2.6.3 Atomzustände, Termsymbole und erste Hundsche Regel . . . . .	36
2.6.4 Das Periodensystem der Elemente . . . . .	37
2.6.5 Abschirmung der Kernladung . . . . .	39
2.6.6 Die Größe der Atome . . . . .	43
2.6.7 Die Ionisierungsenergie . . . . .	44
2.6.8 Die stufenweise Ionisierung von Atomen . . . . .	48
2.6.9 Die Elektronenaffinität . . . . .	50
Aufgaben . . . . .	53
3 Symmetrie und Gruppentheorie . . . . .	57
<i>Ralf Steudel</i>	
3.1 Symmetrieelemente und Symmetrieoperationen . . . . .	57
3.1.1 Die Spiegelebene ( $\sigma$ ) . . . . .	59
3.1.2 Das Inversionszentrum ( $i$ ) . . . . .	59
3.1.3 Drehachsen ( $C_n$ ) . . . . .	60
3.1.4 Die Identität ( $E$ ) . . . . .	63
3.1.5 Die Drehspiegelung ( $S_n$ ) . . . . .	63
3.2 Punktgruppen und Molekülsymmetrie . . . . .	65
3.2.1 Punktgruppen sehr hoher Symmetrie . . . . .	65
3.2.2 Punktgruppen geringer Symmetrie . . . . .	67
3.2.3 Punktgruppen mit einer $n$ -zähligen Drehachse $C_n$ . . . . .	68
3.2.4 Diedergruppen . . . . .	69
3.2.5 Ein Fließschema zur Ermittlung der Punktgruppensymmetrie . . . . .	69

X	Inhalt	
3.3	Irreduzible Darstellungen und Charaktertafeln . . . . .	72
3.4	Reduzible Darstellungen . . . . .	76
3.5	Anwendungen der Punktgruppensymmetrie . . . . .	77
3.5.1	Optische Aktivität . . . . .	77
3.5.2	Dipolmomente . . . . .	78
3.5.3	Infrarot- und Ramanspektroskopie . . . . .	79
3.5.4	Kovalente Bindungen und Hybridorbitale . . . . .	86
3.5.5	Kristallografie . . . . .	90
3.5.6	Fehlordnung in Kristallen . . . . .	97
	Aufgaben . . . . .	102
4	Bindungsmodelle in der Anorganischen Chemie: Teil 1 . . . . .	109
	<i>Dirk Johrendt</i>	
4.1	Die Ionenbindung . . . . .	109
4.1.1	Eigenschaften von Ionenverbindungen . . . . .	109
4.1.2	Voraussetzungen für das Auftreten von Ionenbindungen . . . . .	111
4.2	Größeneffekte . . . . .	112
4.2.1	Ionenradien . . . . .	112
4.2.2	Faktoren, die die Radien von Ionen beeinflussen . . . . .	113
4.2.3	Radien mehratomiger Ionen . . . . .	117
4.2.4	Dichteste Kugelpackungen . . . . .	119
4.3	Strukturen von Ionenkristallen . . . . .	122
4.3.1	Strukturtypen . . . . .	123
4.3.2	Radienverhältnisse . . . . .	127
4.4	Die Gitterenergie . . . . .	132
4.4.1	Der Born-Haber-Kreisprozess . . . . .	137
4.4.2	Berechnungen nach dem Born-Haber-Kreisprozess . . . . .	138
4.5	Vorhersage der Stabilität ionischer Verbindungen durch thermochemische Berechnungen . . . . .	144
4.6	Kovalenter Charakter vorwiegend ionischer Bindungen . . . . .	147
4.6.1	Die Regeln von Fajans . . . . .	147
4.6.2	Folgen der Polarisierung . . . . .	149
4.7	Schlussfolgerung . . . . .	153
	Aufgaben . . . . .	153
5	Bindungsmodelle der Anorganischen Chemie, Teil 2	
	Die kovalente Bindung . . . . .	159
	<i>Ralf Steudel</i>	
5.1	Lewis-Strukturen . . . . .	159
5.2	Bindungstheorien . . . . .	160
5.3	Die Valence-Bond-Theorie . . . . .	161
5.3.1	Resonanz zwischen Grenzstrukturen . . . . .	164
5.3.2	Formale Ladungen . . . . .	167
5.3.3	Hybridisierung von Atomorbitalen . . . . .	170
5.3.4	Hybridisierung und Überlappung . . . . .	175
5.4	Die Molekülorbital-Theorie . . . . .	175
5.4.1	Das Wasserstoff-Molekülion und das H <sub>2</sub> -Molekül . . . . .	175
5.4.2	Symmetrie und Überlappung . . . . .	180
5.4.3	Die Symmetrie von Molekülorbitalen . . . . .	181
5.4.4	Molekülorbitale in homonuklearen zweiatomigen Molekülen . . . . .	181
5.4.5	Energieaufteilungsanalyse unpolarer Moleküle . . . . .	192
5.4.6	Molekülorbitale von heteronuklearen zweiatomigen Molekülen . . . . .	194
5.4.7	Molekülorbitale von dreiatomigen Molekülen und Ionen . . . . .	198
5.4.8	Molekülorbitale von fünfatomigen Molekülen und Ionen . . . . .	201

5.5	Elektronegativität . . . . .	203
5.5.1	Die Elektronegativität nach Pauling . . . . .	204
5.5.2	Elektronegativitäten nach Mulliken . . . . .	205
5.5.3	Andere Methoden zur Ermittlung von Elektronegativitäten . . . . .	213
5.5.4	Neuere Entwicklungen in der Theorie der Elektronegativität . . . . .	214
5.5.5	Veränderlichkeit der Elektronegativität . . . . .	216
5.5.6	Wahl des Elektronegativitätssystems . . . . .	217
5.5.7	Gruppenelektronegativitäten . . . . .	218
5.5.8	Methoden zur Ermittlung von Ladungen: Elektronegativitätsausgleich in Molekülen . . . . .	219
	Aufgaben . . . . .	222

**6 Struktur und Reaktivität von Molekülen . . . . . 227**

*Ralf Steudel und Martin Kaupp*

6.1	Das Modell der Abstoßung zwischen den Elektronenpaaren der Valenzschale (VSEPR-Modell) . . . . .	227
6.1.1	Einfache Moleküle vom Typ $AX_n$ . . . . .	227
6.1.2	Strukturen von Molekülen mit nichtbindenden Elektronenpaaren . . . . .	231
6.1.3	Strukturen von Molekülen mit verschiedenen Substituenten . . . . .	236
6.1.4	Strukturen von Molekülen mit Mehrfachbindungen . . . . .	237
6.1.5	Strukturen von Molekülen mit sieben oder acht Substituenten . . . . .	239
6.1.6	Zusammenfassung der VSEPR-Regeln und Grenzen des Modells . . . . .	242
6.1.7	Die Elektronen-Lokalisierungsfunktion (ELF) . . . . .	244
6.2	Walsh-Diagramme und Molekülstruktur . . . . .	246
6.3	Molekülstruktur und Hybridisierung . . . . .	248
6.3.1	Hybridisierung und Molekülgeometrie . . . . .	252
6.3.2	Beeinflussung der Molekülstruktur durch die Abstoßung der Substituenten (nichtbindende Wechselwirkungen) . . . . .	254
6.3.3	Gebogene Bindungen . . . . .	257
6.4	Kernabstände und Bindungsgrade . . . . .	258
6.5	Experimentelle Bestimmung von Molekülstrukturen . . . . .	260
6.5.1	Röntgen- und Neutronenbeugung . . . . .	260
6.5.2	Methoden, die auf der Molekülsymmetrie beruhen . . . . .	262
6.6	Einfache Reaktionen kovalent gebundener Moleküle . . . . .	267
6.6.1	Molekülinversion . . . . .	267
6.6.2	Berry-Pseudorotation . . . . .	268
6.6.3	Nukleophile Substitution . . . . .	272
6.6.4	Mechanismen mit freien Radikalen und Spinerhaltung . . . . .	273
	Aufgaben . . . . .	276

**7 Der feste Zustand . . . . . 281**

*Dirk Johrendt*

7.1	Chemische Bindung im Festkörper . . . . .	281
7.2	Der metallische Zustand . . . . .	286
7.3	Molekül- und Ionenkristalle . . . . .	290
7.4	Intrinsische Halbleiter . . . . .	291
7.5	Dotierte Halbleiter . . . . .	294
7.6	Supraleiter . . . . .	296
7.7	Kristallfehler . . . . .	303
7.8	Leitfähigkeit von Ionenkristallen . . . . .	306
7.8.1	Leitfähigkeit durch Ionenwanderung . . . . .	306
7.8.2	Feste Ionenleiter . . . . .	307
	Aufgaben . . . . .	311

8 Chemische Kräfte . . . . .	313
<i>Ralf Steudel</i>	
8.1 Kernabstände und Atomradien . . . . .	313
8.1.1 van der Waals-Radien . . . . .	313
8.1.2 Ionenradien . . . . .	314
8.1.3 Kovalenzradien . . . . .	316
8.2 Die verschiedenen Arten chemischer Kräfte . . . . .	320
8.2.1 Die kovalente Bindung . . . . .	320
8.2.2 Ionenpaare . . . . .	324
8.2.3 Kräfte zwischen Ionen und Dipolen . . . . .	325
8.2.4 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen . . . . .	327
8.2.5 Wechselwirkungen mit induzierten Dipolen . . . . .	327
8.2.6 Wechselwirkungen zwischen momentan auftretenden und induzierten Dipolen . . . . .	328
8.2.7 Abstoßungskräfte . . . . .	329
8.2.8 Zusammenfassung . . . . .	330
8.3 Die Wasserstoffbrückenbindung . . . . .	330
8.3.1 Hydrate und Clathrate . . . . .	337
8.4 Auswirkungen chemischer Kräfte . . . . .	341
8.4.1 Schmelz- und Siedepunkte . . . . .	341
8.4.2 Löslichkeit . . . . .	345
Aufgaben . . . . .	352
9 Säure-Base-Chemie . . . . .	357
<i>Ralf Steudel</i>	
9.1 Säure-Base-Konzepte . . . . .	357
9.1.1 Definition von Brønsted und Lowry . . . . .	357
9.1.2 Definition von Lux und Flood . . . . .	358
9.1.3 Die Definition von Lewis . . . . .	360
9.1.4 Lösungsmittel als Säure-Base-Systeme . . . . .	361
9.1.5 Ein verallgemeinertes Säure-Base-Konzept . . . . .	363
9.2 Die Stärke von Protonensäuren und den korrespondierenden Basen . . . . .	367
9.2.1 Gasphasen-Basizitäten: Protonenaffinitäten . . . . .	367
9.2.2 Gasphasen-Aciditäten: Protonenabgabe . . . . .	371
9.2.3 Brønsted-Supersäuren in Lösung . . . . .	372
9.2.4 Brønsted-Superbasen in Lösung: Protonenschwämme . . . . .	374
9.3 Lewis-Aciditäten und Lewis-Basizitäten . . . . .	375
9.3.1 Gasphasen-Aciditäten: Elektronenaffinitäten . . . . .	375
9.3.2 Lewis-Aciditäten: Fluoridionenaffinitäten . . . . .	375
9.3.3 Gasphasen-Basizitäten: HOMO-Energien . . . . .	376
9.3.4 Bindungstheorie für Lewis-Säure-Base-Wechselwirkungen . . . . .	378
9.3.5 Sterische Einflüsse bei Lewis-Säure-Base-Wechselwirkungen . . . . .	380
9.3.6 Lewis-Wechselwirkungen in unpolaren Lösungsmitteln . . . . .	383
9.3.7 Empirische Systematik der Lewis-Säure-Base-Wechselwirkungen . . . . .	385
9.3.8 Solvatationseffekte und Säure-Base-Anomalien . . . . .	389
9.4 Harte und weiche Säuren und Basen . . . . .	390
9.4.1 Klassifizierung von Säuren und Basen als „hart“ oder „weich“ . . . . .	391
9.4.2 Beziehung zwischen der Stärke von Säuren und Basen und ihrer Härte bzw. Weichheit . . . . .	392
9.4.3 Theoretische Grundlagen für die Begriffe „hart“ und „weich“ . . . . .	396
9.4.4 Zusammenhang zwischen Elektronegativität und hartem bzw. weichem Verhalten . . . . .	397
Aufgaben . . . . .	400
10 Chemie in wässrigen und nichtwässrigen Lösungen . . . . .	405
<i>Ralf Steudel</i>	
10.1 Wasser . . . . .	406
10.2 Nichtwässrige Lösungsmittel . . . . .	406

10.2.1	Flüssiges Ammoniak	406
10.2.2	Lösungen von Metallen in Ammoniak	409
10.2.3	Schwefelsäure	412
10.2.4	Zusammenfassender Überblick über Protonen-haltige Lösungsmittel	414
10.3	Protonen-freie (aprotische) Lösungsmittel	417
10.4	Salzschmelzen	421
10.4.1	Solvenseigenschaften	421
10.4.2	Salzschmelzen bei Raumtemperatur: ionische Flüssigkeiten	423
10.4.3	Reaktionsträgheit geschmolzener Salze	425
10.4.4	Lösungen von Metallen in Salzschmelzen	426
10.4.5	Komplexbildung	427
10.4.6	Feste saure und basische Katalysatoren	427
10.5	Elektrodenpotentiale und elektromotorische Kräfte	428
10.5.1	Elektrochemie in nichtwässrigen Lösungen	432
10.5.2	Hydrometallurgie	433
	Aufgaben	435
<b>11</b>	<b>Koordinationschemie: Struktur und Bindung</b>	<b>439</b>
	<i>Maik Finze und Udo Radius</i>	
11.1	Anfänge der Koordinationschemie	440
11.2	Die Koordinationseinheit	445
11.3	Nomenklatur von Komplexen	445
11.3.1	Komplexformeln	445
11.3.2	Komplexnamen	447
11.4	Die koordinative (dative) Bindung	448
11.5	Ligandklassen	450
11.6	Die Elektronenkonfiguration von Metallatomen in Komplexen	455
11.7	Oxidationsstufen-Formalismus bei Koordinationsverbindungen	457
11.8	Die Elektronenzahl am Zentralatom	462
11.9	Bindungstheorien der Koordinationschemie	464
11.10	Valenzbindungstheorie	465
11.11	Elektroneutralitätsprinzip und Rückbindung	467
11.12	Kristallfeldtheorie (CF-Theorie)	468
11.12.1	Kristallfeld-Effekte 1: Oktaedersymmetrie	470
11.12.2	Kristallfeld-Stabilisierungsenergie (CFSE)	473
11.12.3	Kristallfeld-Effekte 2: Tetraedersymmetrie	476
11.12.4	Tetragonale Symmetrie und planar-quadratische Komplexe	478
11.12.5	Orbitalaufspaltung in Feldern anderer Symmetrie	480
11.12.6	Faktoren, die die Größe der CFSE beeinflussen	481
11.12.7	Anwendungen der Kristallfeldtheorie	485
11.13	Molekülorbital-Theorie (MO-Theorie)	492
11.13.1	Oktaedrische Komplexe	493
11.13.2	Tetraedrische und quadratisch-planare Komplexe	499
11.13.3	$\pi$ -Bindungen und MO-Theorie	502
11.13.4	Komplexe mit $\pi$ -Donorliganden	504
11.13.5	Komplexe mit $\pi$ -Akzeptorliganden	507
11.13.6	Die 18-Valenzelektronen-Regel	512
11.13.7	Experimentelle Beweise für $\pi$ -Bindungen	514
11.14	Bindungsanalyse homoleptischer oktaedrischer Carbonylkomplexe	522
11.15	Der Jahn-Teller-Effekt	528
11.15.1	Analyse des Jahn-Teller-Effektes anhand von Orbitaldiagrammen	531
11.15.2	Der Pseudo-Jahn-Teller-Effekt	534
11.15.3	Dynamischer versus statischer Jahn-Teller-Effekt	534
11.15.4	Der Jahn-Teller-Effekt bei Chelat-Komplexen	536
	Aufgaben	539

12	Charakterisierung von Koordinationsverbindungen	543
	<i>Udo Radius und Maik Finze</i>	
12.1	Spektroskopische und analytische Verfahren	543
12.1.1	Ausgewählte spektroskopische Verfahren	543
12.1.2	Ausgewählte analytische Verfahren	553
12.2	Elektronenspektren von Koordinationsverbindungen	558
12.2.1	Termdiagramme von Mehrelektronensystemen	559
12.2.2	UV-Vis-Spektroskopie und Tanabe-Sugano-Diagramme	576
12.2.3	Tetragonale Abweichungen von der Oktaedersymmetrie	586
12.2.4	Charge-Transfer-Spektren	589
12.3	Molekularer Magnetismus	594
12.3.1	Die magnetische Suszeptibilität	594
12.3.2	Magnetische Eigenschaften mononuklearer Komplexe	601
12.3.3	Magnetische Eigenschaften polynuklearer Komplexe	611
	Aufgaben	621
13	Strukturen von Koordinationsverbindungen	625
	<i>Maik Finze und Udo Radius</i>	
13.1	Schwach koordinierende Anionen	629
13.2	Koordinationszahl 1	630
13.3	Koordinationszahl 2	630
13.4	Koordinationszahl 3	633
13.5	Koordinationszahl 4	636
13.5.1	Isomerie bei tetraedrischen Komplexen	640
13.5.2	Isomerie bei quadratisch-planaren Komplexen	642
13.6	Koordinationszahl 5	643
13.6.1	Bevorzugung bestimmter Positionen und Trends der Bindungsstärken in trigonal-bipyramidalen Komplexen	647
13.6.2	Bevorzugung bestimmter Positionen und Trends der Bindungsstärken in quadratisch-pyramidalen Komplexen	648
13.6.3	Isomerie fünffach koordinierter Komplexe	649
13.7	Koordinationszahl 6	651
13.7.1	Verzerrungen des idealen Oktaeders	651
13.7.2	Trigonales Prisma	652
13.7.3	Geometrische Isomerie bei oktaedrischen Komplexen	654
13.7.4	Optische Isomerie bei oktaedrischen Komplexen	655
13.7.5	Trennung optisch aktiver Komplexe (Racemat-Trennung)	657
13.7.6	Die absolute Konfiguration von Komplexen	657
13.7.7	Spektroskopische Methoden	660
13.7.8	Stereoselektivität und die Konformation von Chelatringen	663
13.7.9	Racemisierung und Isomerisierung von Chelat-Komplexen	665
13.8	Koordinationszahl 7	668
13.9	Koordinationszahl 8	671
13.10	Höhere Koordinationszahlen	675
13.11	Faktoren, die hohe oder niedrige Koordinationszahlen begünstigen	677
13.12	Isomerie	678
13.12.1	Bindungsisomerie	678
13.12.2	Ionisationsisomerie	682
13.12.3	Solvatationsisomerie	683
13.12.4	Koordinationsisomerie	683
13.12.5	Polymerisationsisomerie	683
13.12.6	Ligandenisomerie	683

14	Reaktionen von Koordinationsverbindungen: Kinetik und Mechanismen	685
	<i>Udo Radius und Maik Finze</i>	
14.1	Reaktionen von Koordinationsverbindungen	685
14.1.1	Grundtypen der Komplexreaktivität	685
14.1.2	Beschreibung chemischer Reaktionsabläufe	687
14.2	Ligandensubstitution an quadratisch-planaren Komplexen	693
14.2.1	Klassifizierung von Substitutionsmechanismen	693
14.2.2	Substitutionsreaktionen an quadratisch-planaren Komplexen	694
14.2.3	Der trans-Effekt	700
14.2.4	Mechanismus der nukleophilen Substitution bei quadratisch-planaren Komplexen	703
14.3	Ligandensubstitution an oktaedrischen Komplexen	707
14.3.1	Thermodynamische und kinetische Stabilität	707
14.3.2	Solvensaustausch bei oktaedrischen Komplexen	708
14.3.3	Mechanismen von Substitutionsreaktionen an oktaedrischen Komplexen	710
14.3.4	Ligandenfeldeffekte und Reaktionsgeschwindigkeiten	717
14.3.5	Einfluss von Säuren und Basen auf die Reaktionsgeschwindigkeit	719
14.3.6	Substitutionsreaktionen an metallorganischen Verbindungen	722
14.4	Reaktionen am koordinierenden Liganden	724
14.5	Mechanismen von Redoxreaktionen	725
14.5.1	Elektronenübertragung über die äußere Sphäre: der <i>outer-sphere</i> -Mechanismus	727
14.5.2	Elektronenübertragung in der inneren Sphäre: <i>inner-sphere</i> -Mechanismus	732
14.5.3	Gemischvalente Komplexe	735
14.6	Photochemie von Koordinationsverbindungen	738
14.6.1	Lichtabsorption und der intramolekulare Zerfall angeregter Zustände	738
14.6.2	Photochemische Substitutionsreaktionen	742
14.6.3	Photo-Redoxprozesse	747
	Aufgaben	752
15	Organometallverbindungen	757
	<i>Frank Breher</i>	
15.1	Die 18-Elektronen-Regel	758
15.1.1	Molekülorbital-Theorie und 18-Elektronen-Regel	758
15.1.2	Abzählung der Elektronen in Komplexen	760
15.2	Metallcarbonyle und verwandte Verbindungen	764
15.2.1	Metallcarbonyle	764
15.2.2	Carbonyl-Kationen	772
15.2.3	Carbonylat-Anionen	775
15.2.4	Parallelen zur Nichtmetallchemie: Isobale Fragmente	778
15.2.5	Carbonylhydrido- und Diwasserstoffkomplexe	781
15.3	Mit CO vergleichbare Liganden	786
15.3.1	Nitrosylkomplexe	787
15.3.2	Distickstoffkomplexe	791
15.3.3	Phosphane als Liganden	797
15.4	Metall—Kohlenstoff-Einfach- und -Mehrfachbindungs-systeme	802
15.4.1	Metall—Kohlenstoff- $\sigma$ -Bindungen: Alkyl- und Arylkomplexe	802
15.4.2	Metall—Kohlenstoff-Doppel- und -Dreifachbindungen: Carben- und Carbinkomplexe	813
15.4.3	N-Heterocyclische Carbene	822
15.5	Nichtaromatische Alken- und Alkinkomplexe	825
15.5.1	Alkenkomplexe	825
15.5.2	Alkinkomplexe	831
15.5.3	Allylkomplexe	834
15.6	Komplexe mit cyclischen $\pi$ -Liganden	837
15.6.1	Cyclopentadienylkomplexe	837
15.6.2	Andere $\pi$ -Liganden	857

15.7	Reaktionen von Organometallverbindungen . . . . .	862
15.7.1	Substitutionsreaktionen . . . . .	862
15.7.2	Oxidative Addition und Reduktive Eliminierung . . . . .	870
15.7.3	Einschiebungs- und Eliminierungsreaktionen . . . . .	884
15.7.4	Nukleophiler und elektrophiler Angriff auf Liganden . . . . .	889
15.8	Metallorganische Verbindungen als Katalysatoren . . . . .	895
15.8.1	Hydrierung von Alkenen . . . . .	896
15.8.2	Die Hydroformylierung . . . . .	901
15.8.3	Das Monsanto-Essigsäureverfahren . . . . .	904
15.8.4	Das Wacker-Verfahren . . . . .	905
15.8.5	Hydrocyanierung . . . . .	909
15.8.6	Hydrosilylierung . . . . .	913
15.8.7	Kupplungsreaktionen . . . . .	917
15.8.8	Olefinmetathese . . . . .	921
15.8.9	Olefinpolymerisationen . . . . .	925
15.8.10	Immobilisierte homogene Katalysatoren . . . . .	930
15.9	Schlussbemerkungen . . . . .	935
	Aufgaben . . . . .	935
16	Anorganische Ketten, Ringe, Käfige und Cluster . . . . .	941
	<i>Dirk Johrendt, Hans-Joachim Lunk und Ralf Steudel</i>	
16.1	Ketten . . . . .	941
16.1.1	Homoatomare Ketten . . . . .	941
16.1.2	Heteroatomare Ketten . . . . .	946
16.1.3	Silicat-Mineralien . . . . .	947
16.1.4	Nitridosilicate . . . . .	956
16.1.5	Einlagerungsverbindungen und Graphen . . . . .	958
16.1.6	Eindimensionale elektrische Leiter . . . . .	964
16.2	Polyoxo-Ionen von Metallen . . . . .	967
16.2.1	Isopolyoxometallate . . . . .	967
16.2.2	Heteropolyoxometallate . . . . .	973
16.2.3	Polyoxokationen . . . . .	981
16.2.4	Neuere Entwicklungen . . . . .	983
16.3	Ringmoleküle der Nichtmetalle . . . . .	984
16.3.1	Homocyclische Verbindungen . . . . .	984
16.3.2	Borazine . . . . .	992
16.3.3	Phosphazene . . . . .	996
16.3.4	Phosphazen-Polymere . . . . .	998
16.3.5	Andere anorganische Heterocyclen . . . . .	1000
16.4	Fullerene und Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) . . . . .	1004
16.4.1	Fullerene . . . . .	1004
16.4.2	Endohedrale Fullerenkomplexe . . . . .	1006
16.4.3	Kohlenstoff-Nanoröhren . . . . .	1007
16.5	Käfig-Verbindungen von Phosphor, Arsen, Silicium und Germanium . . . . .	1008
16.6	Bor-Verbindungen mit Käfigstruktur . . . . .	1015
16.6.1	Borane . . . . .	1015
16.6.2	Carborane . . . . .	1027
16.6.3	Metallacarborane . . . . .	1028
16.6.4	Strukturvorhersagen bei Heteroboranen und metallorganischen Clustern . . . . .	1030
16.7	Metallatomcluster . . . . .	1036
16.7.1	Zweikernige Verbindungen . . . . .	1037
16.7.2	Dreikernige Cluster . . . . .	1043
16.7.3	Vierkernige Cluster . . . . .	1044
16.7.4	Sechskernige Cluster . . . . .	1045
16.7.5	Chevrel-Phasen . . . . .	1046
16.7.6	Kondensierte Metallcluster . . . . .	1047
16.7.7	Elementcluster und Zintl-Anionen . . . . .	1049
	Aufgaben . . . . .	1052

17 Die Chemie der Halogene und der Edelgase . . . . .	1057
<i>Ralf Steudel</i>	
17.1 Halogene und Halogenide . . . . .	1058
17.1.1 Physikalische Eigenschaften der Halogenatome . . . . .	1058
17.1.2 Die Elemente . . . . .	1058
17.1.3 Die Sonderstellung von Fluor . . . . .	1060
17.1.4 Polyhalogenid-Ionen . . . . .	1062
17.2 Halogene in positiven Oxidationsstufen . . . . .	1066
17.2.1 Homoatomare Halogen-Kationen . . . . .	1066
17.2.2 Interhalogenverbindungen . . . . .	1067
17.3 Sauerstoffverbindungen der Halogene . . . . .	1069
17.3.1 Fluor-Sauerstoff-Verbindungen . . . . .	1069
17.3.2 Oxosäuren von Chlor, Brom und Iod . . . . .	1072
17.3.3 Halogenoxide und -oxidfluoride . . . . .	1073
17.4 Astat . . . . .	1075
17.5 Elektrochemie der Halogene . . . . .	1075
17.6 Pseudohalogene . . . . .	1077
17.7 Die Chemie der Edelgase . . . . .	1078
17.7.1 Entdeckung der Edelgase . . . . .	1078
17.7.2 Erste Kenntnisse von einer Chemie der Edelgase . . . . .	1079
17.7.3 Entdeckung isolierbarer Edelgas-Verbindungen . . . . .	1081
17.7.4 Fluoride der Edelgase . . . . .	1082
17.7.5 Bindungsverhältnisse in Edelgasfluoriden . . . . .	1084
17.7.6 Strukturen isoelektronischer Halogenide mit 14 Valenzelektronen . . . . .	1086
17.7.7 Weitere Verbindungen von Xenon . . . . .	1087
17.7.8 Die Chemie von Krypton . . . . .	1091
17.7.9 Die Chemie von Radon . . . . .	1092
Aufgaben . . . . .	1092
18 Periodizität und fortgeschrittene Aspekte der chemischen Bindung . . . . .	1095
<i>Martin Kaupp</i>	
18.1 Grundsätzliche Tendenzen . . . . .	1095
18.2 Anomalien aufgrund fehlender radialer Knoten . . . . .	1096
18.2.1 Die 1s-Schale als Valenzschale: Besonderheiten von H und He . . . . .	1096
18.2.2 Die 2p-Schale als Valenzschale: Besonderheiten der zweiten Periode . . . . .	1097
18.2.3 Die 3d-Schale: Besonderheiten der ersten Übergangsmetallreihe . . . . .	1122
18.2.4 Die 4f-Schale: Besonderheiten der Lanthanoide . . . . .	1125
18.3 Anomalien aufgrund unvollständiger Abschirmung der Kernladung durch vorhergehende Schalen . . . . .	1126
18.3.1 Ist Lithium oder Natrium elektronegativer? . . . . .	1126
18.3.2 Konsequenzen der Scandid-Kontraktion . . . . .	1127
18.3.3 Konsequenzen der Lanthanoid- und der Actinoid-Kontraktion . . . . .	1129
18.4 Anomalien aufgrund relativistischer Effekte . . . . .	1130
18.4.1 Einführung in die relativistischen Effekte . . . . .	1130
18.4.2 Auswirkungen relativistischer Effekte auf periodische Trends . . . . .	1134
18.4.3 Metallophile Wechselwirkungen . . . . .	1141
18.5 Valenzorbitale und Hybridisierung der d-Elemente . . . . .	1142
18.5.1 Die Rolle der äußeren p-Orbitale bei den Übergangsmetallen . . . . .	1142
18.5.2 „Nicht-VSEPR-Strukturen“ von $d^0$ - $d^2$ -Systemen . . . . .	1144
18.6 Abschließende Bemerkungen . . . . .	1146
Aufgaben . . . . .	1147
19 Bioanorganische Chemie . . . . .	1151
<i>Ulrich Schatzschneider</i>	
19.1 Einführung . . . . .	1151
19.2 Relative Häufigkeit und Bioverfügbarkeit der Elemente . . . . .	1152

19.3	Biologische Funktion der Elemente . . . . .	1154
19.4	Biomoleküle als Liganden . . . . .	1155
19.5	Strukturgebende Funktion von anorganischen Verbindungen in der Natur . . . . .	1160
19.6	Informationsübertragung . . . . .	1161
19.7	Bioanorganische Chemie von Zink . . . . .	1162
19.8	Bioanorganische Chemie von Kupfer . . . . .	1171
19.9	Bioanorganische Chemie von Eisen . . . . .	1176
19.9.1	Häm-Proteine . . . . .	1178
19.9.2	Eisen-Schwefel-Proteine . . . . .	1181
19.9.3	Andere Nicht-Häm-Proteine . . . . .	1182
19.10	Bioanorganische Chemie von Cobalt . . . . .	1191
19.11	Bioanorganische Chemie von Nickel . . . . .	1194
19.12	Bioanorganische Chemie von Molybdän und Wolfram . . . . .	1204
19.13	Bindung und Transport von Disauerstoff . . . . .	1207
19.13.1	Bindung von Disauerstoff an Myoglobin . . . . .	1207
19.13.2	Struktur und Funktion von Hämoglobin (Hb) . . . . .	1209
19.13.3	Physiologie von Myoglobin und Hämoglobin . . . . .	1211
19.13.4	Andere biologische Disauerstoff-Überträger . . . . .	1212
19.14	Photosynthese . . . . .	1214
19.15	Stickstoff-Fixierung . . . . .	1219
19.16	Medizinische anorganische Chemie . . . . .	1224
19.16.1	Einführung . . . . .	1224
19.16.2	Therapeutische Anwendungen von Metallkomplexen . . . . .	1226
19.16.3	Diagnostische Anwendungen von Metallkomplexen . . . . .	1229
Anhang A Tabelle der Elemente . . . . .		1235
Anhang B Einheiten und Umrechnungsfaktoren . . . . .		1239
Anhang C Atomare Energiezustände und Termsymbole . . . . .		1243
Anhang D Charaktertafeln . . . . .		1251
Anhang E Standard-Reduktionspotentiale . . . . .		1261
Anhang F Tanabe-Sugano-Diagramme . . . . .		1263
Anhang G IUPAC-Empfehlungen zur Nomenklatur in der anorganischen Chemie . . . . .		1267
Curricula Vitae . . . . .		1293
Index . . . . .		1295