

Inhalt

1 Atombau

1.1 Der atomare Aufbau der Materie	1
1.1.1 Der Elementbegriff	1
1.1.2 Daltons Atomtheorie	2
1.2 Der Atomaufbau	4
1.2.1 Elementarteilchen, Atomkern, Atomhülle	4
1.2.2 Chemische Elemente, Isotope, Atommassen	6
1.2.3 Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie	10
1.3 Kernreaktionen	12
1.3.1 Radioaktivität	12
1.3.2 Künstliche Nuklide	20
1.3.3 Kernspaltung, Kernfusion	21
1.3.4 Kosmische Elementhäufigkeit, Elemententstehung	26
1.4 Die Struktur der Elektronenhülle	29
1.4.1 Bohr'sches Modell des Wasserstoffatoms	29
1.4.2 Die Deutung des Spektrums der Wasserstoffatome mit der Bohr'schen Theorie	33
1.4.3 Die Unbestimmtheitsbeziehung	38
1.4.4 Der Wellencharakter von Elektronen	40
1.4.5 Atomorbitale und Quantenzahlen des Wasserstoffatoms	41
1.4.6 Die Wellenfunktion, Eigenfunktionen des Wasserstoffatoms	47
1.4.7 Aufbau und Elektronenkonfiguration von Mehrelektronen-Atomen	55
1.4.8 Das Periodensystem (PSE)	60
1.4.9 Ionisierungsenergie, Elektronenaffinität, Röntgenspektren	65

2 Die chemische Bindung

2.1 Die Ionenbindung	71
2.1.1 Allgemeines, Ionenkristalle	71
2.1.2 Ionenradien	75
2.1.3 Wichtige ionische Strukturen, Radienquotientenregel	78
2.1.4 Gitterenergie von Ionenkristallen	87
2.1.5 Born-Haber-Kreisprozess	93
2.2 Die Atombindung	95
2.2.1 Allgemeines, Lewis-Formeln	95
2.2.2 Bindigkeit, angeregter Zustand	97
2.2.3 Dative Bindung, formale Ladung	100
2.2.4 Das Valenzschalen-Elektronenpaar-Abstoßungs-Modell	101
2.2.5 Valenzbindungstheorie	106
2.2.6 Hybridisierung	113
2.2.7 π -Bindung	121
2.2.8 Mesomerie	127
2.2.9 Polare Atombindung, Dipole	129

2.2.10	Die Elektronegativität	131
2.2.11	Atomkristalle, Molekülkristalle	137
2.2.12	Molekülorbitaltheorie	142
2.3	van-der-Waals-Kräfte	167
2.4	Der metallische Zustand	170
2.4.1	Eigenschaften von Metallen, Stellung im Periodensystem	170
2.4.2	Kristallstrukturen der Metalle	173
2.4.3	Atomradien von Metallen	179
2.4.4	Die metallische Bindung	180
2.4.4.1	Elektronengas	180
2.4.4.2	Energiebändermodell	182
2.4.4.3	Metalle, Isolatoren, Eigenhalbleiter	186
2.4.4.4	Dotierte Halbleiter (Störstellenhalbleiter)	188
2.4.5	Metallcluster, Clustermetalle	190
2.4.6	Intermetallische Systeme	192
2.4.6.1	Schmelzdiagramme von Zweistoffsystemen	193
2.4.6.2	Häufige intermetallische Phasen	200
2.5	Vergleich der Bindungsarten	210
2.6	Die Wasserstoffbindung	210
2.7	Fehlordnung	216
2.7.1	Korngrenzen	216
2.7.2	Versetzungen	216
2.7.3	Punktfehlordnung	218
2.7.3.1	Eigenfehlordnung in stöchiometrischen binären Ionenkristallen	218
2.7.3.2	Fehlordnung in nichtstöchiometrischen Verbindungen	220
2.7.4	Spezifische Defektstrukturen	222
2.7.5	Elektrische Eigenschaften von Defektstrukturen	225
2.7.5.1	Ionenleiter	225
2.7.5.2	Hopping-Halbleiter	227
2.7.5.3	Hochtemperatursupraleiter	229
2.7.6	Nanotechnologie	230
2.8	Methoden zur Strukturaufklärung	236
2.8.1	Symmetrie	236
2.8.1.1	Molekülsymmetrie	236
2.8.1.2	Kristallsymmetrie	238
2.8.2	Röntgenbeugung	244
2.8.3	Schwingungsspektroskopie	250
2.8.4	Kernresonanzspektroskopie	259
2.8.5	Photoelektronenspektroskopie	264

3 Die chemische Reaktion

3.1	Stoffmenge, Konzentration, Anteil, Äquivalent	269
3.2	Ideale Gase	273
3.3	Zustandsdiagramme	278
3.4	Reaktionsenthalpie, Standardbildungsenthalpie	286
3.5	Das chemische Gleichgewicht	294
3.5.1	Allgemeines	294
3.5.2	Das Massenwirkungsgesetz (MWG)	296
3.5.3	Verschiebung der Gleichgewichtslage, Prinzip von Le Chatelier	300
3.5.4	Berechnung von Gleichgewichtskonstanten	305

3.6 Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen	319
3.6.1 Allgemeines	319
3.6.2 Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	319
3.6.3 Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	323
3.6.4 Reaktionsgeschwindigkeit und chemisches Gleichgewicht	327
3.6.5 Metastabile Systeme	328
3.6.6 Katalyse	330
3.7 Gleichgewichte von Salzen, Säuren und Basen	334
3.7.1 Lösungen, Elektrolyte	334
3.7.2 Leitfähigkeit, Aktivität	336
3.7.3 Löslichkeit, Löslichkeitsprodukt, Nernst'sches Verteilungsgesetz	339
3.7.4 Säuren und Basen	343
3.7.5 pH-Wert, Ionenprodukt des Wassers	345
3.7.6 Säurestärke, pK_s -Wert, Berechnung des pH-Wertes von Säuren	346
3.7.7 Protolysegrad, Ostwald'sches Verdünnungsgesetz	350
3.7.8 pH-Wert-Berechnung von Basen	352
3.7.9 Reaktion von Säuren mit Basen	354
3.7.10 pH-Wert-Berechnung von Salzlösungen	355
3.7.11 Pufferlösungen	358
3.7.12 Säure-Base-Indikatoren	360
3.7.13 Säure-Base-Reaktionen in nichtwässrigen Lösungsmitteln	362
3.7.14 Der Säure-Base-Begriff von Lewis	363
3.8 Redoxvorgänge	365
3.8.1 Oxidationszahl	365
3.8.2 Oxidation, Reduktion	368
3.8.3 Aufstellen von Redoxgleichungen	370
3.8.4 Galvanische Elemente	371
3.8.5 Berechnung von Redoxpotenzialen: Nernst'sche Gleichung	373
3.8.6 Konzentrationsketten, Elektroden zweiter Art	375
3.8.7 Die Standardwasserstoffelektrode	377
3.8.8 Die elektrochemische Spannungsreihe	379
3.8.9 Gleichgewichtslage bei Redoxprozessen	385
3.8.10 Die Elektrolyse	386
3.8.11 Elektrochemische Stromquellen	393
4 Die Elemente der Hauptgruppen	
4.1 Häufigkeit der Elemente in der Erdkruste	401
4.2 Wasserstoff	402
4.2.1 Allgemeine Eigenschaften	402
4.2.2 Vorkommen und Darstellung	402
4.2.3 Physikalische und chemische Eigenschaften	405
4.2.4 Wasserstoffisotope	407
4.2.5 Ortho- und Parawasserstoff	408
4.2.6 Wasserstoffverbindungen	409
4.3 Gruppe 18 (Edelgase)	413
4.3.1 Gruppeneigenschaften	413
4.3.2 Vorkommen, Gewinnung, Verwendung	415
4.3.3 Edelgasverbindungen	416
4.3.3.1 Edelgashalogenide	416
4.3.3.2 Oxide, Oxidfluoride und Oxosalze des Xenons	418

4.3.3.3	Verbindungen mit Xe—O-, Xe—N-, Xe—C-, Xe—S-, Xe—Au-, Kr—O-, Kr—N- und Kr—C-Bindungen	419
4.3.3.4	Struktur und Bindung	420
4.4	Gruppe 17 (Halogene)	423
4.4.1	Gruppeneigenschaften	423
4.4.2	Vorkommen	424
4.4.3	Die Elemente	425
4.4.3.1	Physikalische Eigenschaften, Struktur	425
4.4.3.2	Chemisches Verhalten	427
4.4.3.3	Darstellung, Verwendung	428
4.4.4	Interhalogenverbindungen	431
4.4.5	Polyhalogenidionen	433
4.4.6	Halogenide	434
4.4.7	Sauerstoffsäuren der Halogene	437
4.4.8	Oxide der Halogene	442
4.4.9	Sauerstofffluoride	445
4.4.10	Pseudohalogene	446
4.5	Gruppe 16 (Chalkogene)	447
4.5.1	Gruppeneigenschaften	447
4.5.2	Vorkommen	448
4.5.3	Die Elemente	448
4.5.3.1	Sauerstoff	449
4.5.3.2	Schwefel	454
4.5.3.3	Selen, Tellur, Polonium	458
4.5.3.4	Positive Chalkogenionen	459
4.5.4	Sauerstoffverbindungen	459
4.5.5	Wasserstoffverbindungen von Schwefel, Selen und Tellur	466
4.5.6	Oxide des Schwefels	469
4.5.7	Sauerstoffsäuren des Schwefels	472
4.5.8	Oxide und Sauerstoffsäuren von Selen und Tellur	480
4.5.9	Halogenverbindungen	482
4.6	Gruppe 15	485
4.6.1	Gruppeneigenschaften	485
4.6.2	Vorkommen	486
4.6.3	Die Elemente	487
4.6.3.1	Stickstoff	487
4.6.3.2	Phosphor	488
4.6.3.3	Arsen	491
4.6.3.4	Antimon	493
4.6.3.5	Bismut	494
4.6.4	Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs	494
4.6.5	Hydride des Phosphors, Arsens, Antimons und Bismuts	501
4.6.6	Oxide des Stickstoffs	502
4.6.7	Sauerstoffsäuren des Stickstoffs	508
4.6.8	Halogenverbindungen des Stickstoffs	512
4.6.9	Schwefelverbindungen des Stickstoffs	514
4.6.10	Oxide des Phosphors	515
4.6.11	Sauerstoffsäuren des Phosphors	517
4.6.12	Halogenverbindungen des Phosphors	525
4.6.13	Schwefel-Phosphor-Verbindungen	527
4.6.14	Phosphor-Stickstoff-Verbindungen	528

4.6.15	Verbindungen des Arsens	530
4.6.15.1	Sauerstoffverbindungen des Arsens	530
4.6.15.2	Schwefelverbindungen des Arsens	531
4.6.15.3	Halogenverbindungen von Arsen	532
4.6.16	Verbindungen des Antimons	533
4.6.16.1	Sauerstoffverbindungen des Antimons	533
4.6.16.2	Schwefelverbindungen des Antimons	533
4.6.16.3	Halogenverbindungen des Antimons	534
4.6.17	Verbindungen des Bismuts	534
4.6.17.1	Sauerstoffverbindungen des Bismuts	534
4.6.17.2	Halogenverbindungen des Bismuts	535
4.6.17.3	Bismutsulfide	535
4.7	Gruppe 14	536
4.7.1	Gruppeneigenschaften	536
4.7.2	Vorkommen	537
4.7.3	Die Elemente	538
4.7.3.1	Kohlenstoff	538
4.7.3.2	Silicium, Germanium, Zinn, Blei	545
4.7.4	Graphitverbindungen, Fullerenverbindungen	547
4.7.5	Carbide	551
4.7.6	Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffs	553
4.7.6.1	Oxide des Kohlenstoffs	553
4.7.6.2	Kohlensäure und Carbonate	556
4.7.7	Stickstoffverbindungen des Kohlenstoffs	558
4.7.8	Halogen- und Schwefelverbindungen des Kohlenstoffs	559
4.7.9	Wasserstoffverbindungen des Siliciums	559
4.7.10	Sauerstoffverbindungen von Silicium	560
4.7.10.1	Oxide des Siliciums	560
4.7.10.2	Kieselsäuren, Silicate	562
4.7.10.3	Technische Produkte	570
4.7.11	Halogenverbindungen und Schwefelverbindungen des Siliciums	574
4.7.12	Germaniumverbindungen	576
4.7.13	Zinnverbindungen	577
4.7.13.1	Zinn(IV)-Verbindungen	577
4.7.13.2	Zinn(II)-Verbindungen	578
4.7.14	Bleiverbindungen	579
4.7.14.1	Blei(II)-Verbindungen	579
4.7.14.2	Blei(IV)-Verbindungen	580
4.8	Gruppe 13	582
4.8.1	Gruppeneigenschaften	582
4.8.2	Vorkommen	584
4.8.3	Die Elemente	584
4.8.3.1	Modifikationen, chemisches Verhalten	585
4.8.3.2	Darstellung und Verwendung	590
4.8.4	Verbindungen des Bors	593
4.8.4.1	Metallboride, Borcarbide	595
4.8.4.2	Wasserstoffverbindungen des Bors (Borane)	599
4.8.4.3	Carbaborane (Carborane)	605
4.8.4.4	Sauerstoffverbindungen des Bors	607
4.8.4.5	Halogenverbindungen des Bors	610
4.8.4.6	Stickstoffverbindungen des Bors	612

4.8.5	Aluminiumverbindungen	614
4.8.5.1	Wasserstoffverbindungen des Aluminiums	614
4.8.5.2	Sauerstoffverbindungen des Aluminiums	616
4.8.5.3	Halogenverbindungen des Aluminiums	618
4.8.5.4	Aluminiumsalze	620
4.8.6	Galliumverbindungen	621
4.8.7	Indiumverbindungen	622
4.8.8	Thalliumverbindungen	622
4.9	Gruppe 2 (Erdalkalimetalle)	623
4.9.1	Gruppeneigenschaften	623
4.9.2	Vorkommen	625
4.9.3	Die Elemente	625
4.9.3.1	Physikalische und chemische Eigenschaften	626
4.9.3.2	Darstellung und Verwendung	626
4.9.4	Berylliumverbindungen	628
4.9.5	Magnesiumverbindungen	631
4.9.6	Calciumverbindungen	634
4.9.7	Bariumverbindungen	638
4.10	Gruppe 1 (Alkalimetalle)	639
4.10.1	Gruppeneigenschaften	640
4.10.2	Vorkommen	641
4.10.3	Die Elemente	641
4.10.3.1	Physikalische und chemische Eigenschaften	642
4.10.3.2	Darstellung und Verwendung	642
4.10.4	Verbindungen der Alkalimetalle	644
4.10.4.1	Hydride	644
4.10.4.2	Sauerstoffverbindungen	645
4.10.4.3	Hydroxide	648
4.10.4.4	Halogenide	649
4.10.4.5	Salze von Oxosäuren	651
4.11	Umweltprobleme	654
4.11.1	Globale Umweltprobleme	656
4.11.1.1	Die Ozonschicht	656
4.11.1.2	Der Treibhauseffekt	663
4.11.1.3	Rohstoffe	671
4.11.2	Regionale Umweltprobleme	672
4.11.2.1	Luft	672
4.11.2.2	Wasser	680
4.11.2.3	Wald	682
4.11.2.4	Baudenkmäler	683

5 Die Elemente der Nebengruppen

5.1	Magnetochemie	685
5.1.1	Materie im Magnetfeld	685
5.1.2	Magnetisches Moment, Bohr'sches Magneton	687
5.1.3	Elektronenzustände in freien Atomen und Ionen, Russel-Saunders-Terme	688
5.1.4	Diagnetismus	691
5.1.5	Paramagnetismus	691
5.1.6	Spinordnung, spontane Magnetisierung	695

5.2 Mößbauer-Spektroskopie	701
5.3 Neutronenbeugung	705
5.4 Komplexverbindungen	707
5.4.1 Aufbau und Eigenschaften von Komplexen	707
5.4.2 Nomenklatur von Komplexverbindungen	709
5.4.3 Räumlicher Bau von Komplexen, Isomerie	711
5.4.4 Stabilität und Reaktivität von Komplexen	714
5.4.5 Die Valenzbindungstheorie von Komplexen	717
5.4.6 Die Ligandenfeldtheorie	718
5.4.6.1 Oktaedrische Komplexe	719
5.4.6.2 Tetraedrische Komplexe	729
5.4.6.3 Quadratisch-planare Komplexe	730
5.4.6.4 Termdiagramme, Elektronenspektren	731
5.4.7 Molekülorbitaltheorie von Komplexen	736
5.4.8 Charge-Transfer-Spektren	740
5.5 Metallcarbonyle	741
5.5.1 Bindung	742
5.5.2 Strukturen	743
5.5.3 Darstellung	747
5.5.4 Carbonylmetallat-Anionen, Metallcarbonylhydride	747
5.5.5 Metallcarbonylhalogenide	749
5.5.6 Nitrosylcarbonyle	749
5.6 π -Komplexe mit organischen Liganden	750
5.6.1 Aromatenkomplexe	750
5.6.2 Alkenkomplexe, Alkinkomplexe	751
5.7 Gruppe 11	752
5.7.1 Gruppeneigenschaften	752
5.7.2 Die Elemente	753
5.7.3 Vorkommen	754
5.7.4 Darstellung	754
5.7.5 Verwendung	756
5.7.6 Kupferverbindungen	757
5.7.6.1 Kupfer(I)-Verbindungen (d^{10})	757
5.7.6.2 Kupfer(II)-Verbindungen (d^9)	759
5.7.6.3 Kupfer(III)-Verbindungen (d^8), Kupfer(IV)-Verbindungen (d^7)	761
5.7.7 Silberverbindungen	761
5.7.7.1 Silber(I)-Verbindungen (d^{10})	761
5.7.7.2 Silber(II)-Verbindungen (d^9)	763
5.7.7.3 Silber(III)-Verbindungen (d^8)	764
5.7.8 Goldverbindungen	765
5.7.8.1 Gold(I)-Verbindungen (d^{10})	765
5.7.8.2 Gold(III)-Verbindungen (d^8)	766
5.7.8.3 Gold(V)-Verbindungen (d^6)	767
5.8 Gruppe 12	768
5.8.1 Gruppeneigenschaften	768
5.8.2 Die Elemente	769
5.8.3 Vorkommen	770
5.8.4 Darstellung	770
5.8.5 Verwendung	771
5.8.6 Zinkverbindungen (d^{10})	772
5.8.7 Cadmiumverbindungen (d^{10})	773

5.8.8	Quecksilberverbindungen	774
5.8.8.1	Quecksilber(I)-Verbindungen	774
5.8.8.2	Quecksilber(II)-Verbindungen	775
5.9	Gruppe 3	779
5.9.1	Gruppeneigenschaften	779
5.9.2	Die Elemente	779
5.9.3	Vorkommen	780
5.9.4	Darstellung und Verwendung	780
5.9.5	Scandiumverbindungen	780
5.9.6	Yttriumverbindungen	781
5.9.7	Lanthanverbindungen	781
5.10	Die Lanthanoide	781
5.10.1	Gruppeneigenschaften	781
5.10.2	Verbindungen mit der Oxidationszahl +3	785
5.10.3	Verbindungen mit den Oxidationszahlen +2 und +4	787
5.10.4	Vorkommen	790
5.10.5	Darstellung, Verwendung	791
5.10.6	Elektrische Lichtquellen, Leuchtstoffe	792
5.11	Gruppe 4	794
5.11.1	Gruppeneigenschaften	794
5.11.2	Die Elemente	795
5.11.3	Vorkommen	796
5.11.4	Darstellung	796
5.11.5	Verwendung	798
5.11.6	Verbindungen des Titans	798
5.11.6.1	Sauerstoffverbindungen des Titans	798
5.11.6.2	Halogenverbindungen des Titans	801
5.11.6.3	Schwefelverbindungen des Titans	802
5.11.6.4	Titannitrid TiN	802
5.11.6.5	Titancarbid TiC	802
5.11.7	Verbindungen des Zirconiums und Hafniums	802
5.12	Gruppe 5	804
5.12.1	Gruppeneigenschaften	804
5.12.2	Die Elemente	805
5.12.3	Vorkommen	805
5.12.4	Darstellung	805
5.12.5	Verwendung	806
5.12.6	Verbindungen des Vanadiums	807
5.12.6.1	Sauerstoffverbindungen	807
5.12.6.2	Halogenide	809
5.12.7	Verbindungen des Niobs und Tantals	810
5.12.7.1	Sauerstoffverbindungen	810
5.12.7.2	Halogenverbindungen	812
5.13	Gruppe 6	814
5.13.1	Gruppeneigenschaften	814
5.13.2	Die Elemente	814
5.13.3	Vorkommen	815
5.13.4	Darstellung, Verwendung	815
5.13.5	Verbindungen des Chroms	817
5.13.5.1	Chrom(VI)-Verbindungen (d^0)	817
5.13.5.2	Chrom(V)-Verbindungen (d^1)	820

5.13.5.3	Chrom(IV)-Verbindungen (d^2)	820
5.13.5.4	Chrom(III)-Verbindungen (d^3)	820
5.13.5.5	Chrom(II)-Verbindungen (d^4)	823
5.13.5.6	Laser	825
5.13.6	Verbindungen des Molybdäns und Wolframs	827
5.13.6.1	Oxide	827
5.13.6.2	Isopolymolybdate, Isopolywolframate	828
5.13.6.3	Heteropolyanionen	831
5.13.6.4	Bronzen	831
5.13.6.5	Halogenide	833
5.14	Gruppe 7	835
5.14.1	Gruppeneigenschaften	835
5.14.2	Die Elemente	836
5.14.3	Vorkommen	836
5.14.4	Darstellung, Verwendung	837
5.14.5	Verbindungen des Mangans	837
5.14.5.1	Mangan(II)-Verbindungen (d^5)	837
5.14.5.2	Mangan(III)-Verbindungen (d^4)	839
5.14.5.3	Mangan(IV)-Verbindungen (d^3)	840
5.14.5.4	Mangan(V)-Verbindungen (d^2)	840
5.14.5.5	Mangan(VI)-Verbindungen (d^1)	841
5.14.5.6	Mangan(VII)-Verbindungen (d^0)	841
5.14.6	Verbindungen des Rheniums	842
5.14.6.1	Sauerstoffverbindungen	842
5.14.6.2	Sulfide	843
5.14.6.3	Halogenverbindungen	844
5.14.6.4	Hydride	845
5.15	Gruppe 8–10 Die Eisengruppe	846
5.15.1	Gruppeneigenschaften	846
5.15.2	Die Elemente	847
5.15.3	Vorkommen	849
5.15.4	Darstellung, Verwendung	849
5.15.4.1	Darstellung von metallischem Eisen	849
5.15.4.2	Herstellung von Nickel und Cobalt	857
5.15.5	Verbindungen des Eisens	858
5.15.5.1	Eisen(II)- und Eisen(III)-Verbindungen (d^6 , d^5)	858
5.15.5.2	Eisen(IV)-, Eisen(V) und Eisen(VI)-Verbindungen (d^4 , d^3 , d^2)	867
5.15.6	Verbindungen des Cobalts	868
5.15.6.1	Cobalt(II)- und Cobalt(III)-Verbindungen (d^7 , d^6)	868
5.15.6.2	Cobalt(IV)- und Cobalt(V)-Verbindungen (d^5 , d^4)	872
5.15.7	Verbindungen des Nickels	872
5.15.7.1	Nickel(II)-Verbindungen (d^8)	872
5.15.7.2	Nickel(III)- und Nickel(IV)-Verbindungen (d^7 , d^6)	876
5.16	Gruppe 8–10 Die Gruppe der Platinmetalle	878
5.16.1	Gruppeneigenschaften	878
5.16.2	Die Elemente	879
5.16.3	Vorkommen	880
5.16.4	Darstellung, Verwendung	880
5.16.5	Verbindungen der Metalle der Osmiumgruppe	881
5.16.6	Verbindungen der Metalle der Iridiumgruppe	884
5.16.7	Verbindungen der Metalle der Platingruppe	887

5.17 Die Actinoide	893
5.17.1 Gruppeneigenschaften	893
5.17.2 Verbindungen des Urans	896
Anhang 1	
Einheiten · Konstanten · Umrechnungsfaktoren	899
Anhang 2	
Relative Atommassen · Elektronenkonfigurationen · Schema zur Ermittlung der Punktgruppen von Molekülen	904
Anhang 3	
Herkunft der Elementnamen · Nobelpreise	911
Sachregister	919
Formelregister	963