

Inhalt

1 Struktur der Atome

1.1	Ein einfaches Atommodell	1
1.1.1	Atomkern	1
1.1.2	Atom und Element	1
1.1.3	Häufigkeit der Elemente in der Erdhülle	4
1.1.4	Massendefekt	5
1.1.5	Stoffmenge	5
1.2	Quantenmechanisches Atommodell	7
1.2.1	Vorbemerkung	7
1.2.2	Zustandsfunktionen des Hydrogen-Atoms	8
1.2.3	Aufenthaltswahrscheinlichkeit und Energie des Elektrons im Hydrogen-Atom	13
1.2.4	Höhere Atome im Einelektronenmodell	17
1.2.5	Höhere Atome im Mehrelektronenmodell	20
1.3	Periodensystem der Elemente	24
1.3.1	Gruppenverwandtschaft als empirischer Parameter	24
1.3.2	Gruppe der Edelgase	25
1.3.3	Hauptgruppenelemente	26
1.3.4	Nebengruppenelemente	27
1.3.5	Lanthanoide und Actinoide	28
1.4	Periodizität einiger Eigenschaften	29
1.4.1	Ionisierungsenergie	29
1.4.2	Elektronenaffinität	31
1.4.3	Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle	31
1.4.4	Molekularer, metallischer und ionogener Aufbau von Verbindungen	33
1.4.5	Atom- und Ionenradien	35
1.4.6	Klassifizierung der Chemie	37
1.5	Grundbegriffe über Reaktionen	38
1.5.1	Reaktionsgleichung	38
1.5.2	Thermodynamisch und kinetisch determinierte Reaktionen	40
1.6	Reaktionen des Atomkerns	43
1.6.1	Natürliche Kernreaktionen	43
1.6.2	Künstliche Kernreaktionen	46

2 Struktur der Moleküle

2.1	Quantenmechanisches Molekülmodell	49
2.1.1	Zustandsfunktionen des Dihydrogen-Kations	49
2.1.2	Zweiatomige Moleküle	53

2.1.3	Lokalisierte Bindungen in mehratomigen Molekülen	56
2.1.4	Delokalisierte Bindungen in mehratomigen Molekülen	59
2.2	Valenzstrich-Molekülmodell	62
2.2.1	Zweiatomige Moleküle	62
2.2.2	Mehratomige Moleküle mit den Atomen H, F, O, N	64
2.2.3	Mehratomige Moleküle mit den Atomen H, F, O, N sowie C	66
2.2.4	Mehratomige Moleküle mit den Atomen H, F, O, N, C sowie B	70
2.2.5	Moleküle mit Nicht- und Halbmetallen höherer Perioden	72
2.2.6	Moleküle mit Metallen	74
2.2.7	Molekülonen der Nichtmetalle	77
2.2.8	Molekülonen der Metalle	79
2.2.9	Bindigkeit	81
2.3	Überblick über die chemische Nomenklatur	82
2.3.1	Benennung von Elementen	82
2.3.2	Kompositionelle Nomenklatur	83
2.3.3	Nomenklatur organischer Verbindungen	84
2.3.4	Substitutive Nomenklatur	88
2.3.5	Additive Nomenklatur	91
2.4	Räumlicher Bau von Molekülen	94
2.4.1	Punktgruppen	94
2.4.2	Hauptgruppenelemente als Zentralatome	103
2.4.3	Nebengruppenelemente als Zentralatome	105
2.5	Konstitution, Konfiguration und Konformation	107
2.5.1	Konstitutionsisomere	107
2.5.2	Konfigurationsisomere	109
2.5.3	Konformationsisomere	113
2.6	Polarität kovalenter Bindungen	117
2.6.1	Dipolmoment von Molekülen	118
2.6.2	Elektronegativität	120
2.6.3	Oxidationszahl	122
2.7	Stärke kovalenter Bindungen	123
2.7.1	Bindungslänge	123
2.7.2	Valenzkraftkonstante	125
2.7.3	Bindungsordnung	126
2.7.4	Bindungsenergie	126

3 Struktur kristalliner Festkörper

3.1	Metrik und Symmetrie in Kristallen	129
3.1.1	Kristallgitter und Elementarzelle	129
3.1.2	Kristallsysteme und Kristallklassen	131
3.1.3	Bravais-Gitter und Raumgruppen	134
3.1.4	Symmetrie dichter Kugelpackungen	136
3.1.5	Physikalische Eigenschaften und Kristallklasse	141
3.2	Metallische Festkörper	145
3.2.1	Bindung in Metallen	145
3.2.2	Struktur der Metalle	148
3.2.3	Homogene und heterogene Systeme	150

	Inhalt	XI
3.2.4	Intermetallische Phasen	152
3.2.5	Interstitielle Verbindungen	162
3.3	Kovalent aufgebaute Festkörper	167
3.3.1	Struktur halb- und nichtmetallischer Elemente	167
3.3.2	Struktur kovalent verknüpfter Elementanionen	178
3.3.3	Struktur binärer Verbindungen von Halb- und Nichtmetallen	181
3.4	Ionogen aufgebaute Festkörper (Salze)	185
3.4.1	Bindung in Salzen	185
3.4.2	Struktur binärer Salze	188
3.4.3	Struktur pseudobinärer Salze	209
3.4.4	Struktur ternärer Salze	215
3.4.5	Struktur der Silicate	221
3.5	Schwache Wechselwirkung in Kristallen	228
3.5.1	Van der Waals-Wechselwirkungen	228
3.5.2	Hydrogenbrückenbindungen	230
3.5.3	Flüssige Kristalle	232
3.6	Mesoskopische Systeme	234
3.6.1	Große und supergroße Moleküle	235
3.6.2	Nanophasen-Materialien	238
3.6.3	Polymere	239
3.6.4	Kolloide	240

4 Reaktionen: Thermodynamik und Kinetik

4.1	Hauptsätze der Thermodynamik	243
4.1.1	Erhaltung von Masse und Energie	243
4.1.2	I. Hauptsatz der Thermodynamik	244
4.1.3	Gasgesetze	247
4.1.4	Thermochemie	250
4.1.5	II. und III. Hauptsatz der Thermodynamik	252
4.1.6	Freie Energie und Freie Enthalpie	260
4.1.7	Zusammenhänge zwischen den Zustandsfunktionen	262
4.2	Gleichgewichtslehre	265
4.2.1	Reaktion und Phase	265
4.2.2	Gleichgewichte in homogener Phase	269
4.2.3	Phasengesetz	273
4.2.4	Heterogene Gleichgewichte in Einkomponentensystemen	275
4.2.5	Zweiphasengleichgewichte flüssig/gasförmig in Zweikomponentensystemen	279
4.2.6	Zweiphasengleichgewichte fest/flüssig in Zweikomponentensystemen	282
4.2.7	Zweiphasengleichgewichte in Mehrkomponentensystemen	284
4.2.8	Gleichgewichte zwischen mehr als zwei Phasen	287
4.3	Reaktionsverlauf in homogenen Systemen	288
4.3.1	Konzentration als Funktion der Zeit	288
4.3.2	Zum Mechanismus von Elementarreaktionen	290
4.3.3	Zur Theorie des Übergangszustands	295
4.3.4	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	297
4.3.5	Erhaltung der Orbitalsymmetrie bei Elementarreaktionen	299
4.3.6	Sequenzen von Elementarreaktionen	309
4.3.7	Homogene Katalyse	316

4.4	Reaktionsverlauf in heterogenen Systemen	320
4.4.1	Grenzflächenenergie	320
4.4.2	Wechselwirkungen an Grenzflächen	322
4.4.3	Phasenübergänge	326
4.4.4	Heterogene chemische Reaktionen	329
4.4.5	Heterogene Katalyse	330

5 Säure/Base- und Redoxreaktionen

5.1	Transfer geladener Teilchen	333
5.1.1	Elektronentransfer	333
5.1.2	Hydronentransfer	335
5.1.3	Anionentransfer	336
5.1.4	Lewis-Säuren und -Basen	337
5.2	Säure/Base-Reaktionen: Allgemeine Behandlung	339
5.2.1	Eigendissoziation des Wassers	339
5.2.2	Säure- und Base-Dissoziationskonstanten	342
5.2.3	pH-Wert wässriger Lösungen	344
5.2.4	Pufferlösungen	347
5.2.5	Ampholyte	348
5.2.6	Neutralisation	350
5.2.7	Analytische Anwendung	352
5.2.8	Starke Säuren	354
5.2.9	Nichtwässrige Lösungsmittel	356
5.3	Säure/Base-Reaktionen: Spezielle Behandlung	357
5.3.1	Binäre Säuren und Basen	357
5.3.2	Ternäre Verbindungen $E(OH)_n$	359
5.3.3	Metallkationen in wässriger Lösung	360
5.3.4	Oxosäuren $EO_m(OH)_n$	363
5.3.5	Weitere ternäre und quaternäre Säuren und Basen	371
5.3.6	Derivate der Oxosäuren	372
5.4	Redoxreaktionen: Elektrochemische Behandlung	379
5.4.1	Galvanische Ketten: Daniell-Element	379
5.4.2	Andere galvanische Ketten	382
5.4.3	Halbkettenpotentiale	387
5.4.4	Gleichgewichtskonstanten aus EMK-Messungen	397
5.4.5	Analytische Anwendung	398
5.5	Oxidationszahlen im Lichte des Periodensystems	405
5.5.1	Oxidationszahlen der Elemente in natürlichen Vorkommen	405
5.5.2	Maximale Oxidationszahlen	407
5.5.3	Negative Oxidationszahlen	410
5.6	Redoxchemie fossiler Brennstoffe	412
5.6.1	Zusammensetzung fossiler Brennstoffe	412
5.6.2	Industrielle Aufarbeitung fossiler Brennstoffe	412
5.6.3	Oxidation fossiler Brennstoffe mit Sauerstoff	414
5.6.4	Reduktion von Wasser durch fossile Brennstoffe	415
5.7	Redoxchemie bei der Darstellung der Elemente	418
5.7.1	Überführung natürlicher Stoffe in gut reduzierbare Verbindungen	418

5.7.2	Gewinnung von Metallen und Halbmetallen	423
5.7.3	Gewinnung von Nichtmetallen	427
5.7.4	Raffination von Metallen und Halbmetallen	430

6 Chemie der Moleküle mit Carbon als Zentralatom: Organische Chemie

6.1	Reaktive Zwischenstufen	433
6.1.1	Carbokationen	433
6.1.2	Carbanionen	438
6.1.3	Radikale	443
6.1.4	Carbene, Nitrene	449
6.2	Carbonhydride	453
6.2.1	Nichtaromatische Carbonhydride	453
6.2.2	Aromatische Carbonhydride (Arene)	458
6.3	Derivate der Carbonhydride	467
6.3.1	Halogenoalkane, -alkene und -arene	467
6.3.2	Alkohole	470
6.3.3	Phenole	472
6.3.4	Ether	475
6.3.5	Amine und andere Nitrogen-Derivate	476
6.3.6	Oxo-Verbindungen	482
6.3.7	Carbonsäuren	489
6.3.8	Kohlensäure-Derivate	498
6.3.9	Sulfur-Derivate	499
6.4	Substitutionen	503
6.4.1	Nucleophile Substitution an Nichtaromaten	504
6.4.2	Reaktivität bei der nucleophilen Substitution an Nichtaromaten	511
6.4.3	Nucleophile Substitution an Nichtaromaten in der synthetischen Praxis	518
6.4.4	Elektrophile Substitution an Nichtaromaten	524
6.4.5	Nucleophile aromatische Substitution	526
6.4.6	Elektrophile aromatische Substitution	530
6.5	Eliminierungen	540
6.5.1	Einstufige bimolekulare 1,2-Eliminierung	541
6.5.2	Einstufige unimolekulare 1,2-Eliminierung	545
6.5.3	Zweistufige 1,2-Eliminierung	548
6.6	Additionen	549
6.6.1	1,1-Additionen	550
6.6.2	Elektrophile 1,2-Additionen an CC-Mehrfachbindungen	551
6.6.3	Nucleophile 1,2-Additionen an CC-Mehrfachbindungen	559
6.6.4	Radikalische 1,2-Additionen an CC-Mehrfachbindungen	560
6.6.5	Hydrierung von CC-Mehrfachbindungen	561
6.6.6	Additionen an CO- und CN-Mehrfachbindungen	564
6.6.7	1,4-Additionen	574
6.6.8	Cycloadditionen	575
6.6.9	Elektrocyclische Reaktionen	583
6.7	Umlagerungen	585
6.7.1	Sigmatrope Umlagerungen	585

6.7.2	Anionotrope 1,2-Umlagerungen	589
6.7.3	Kationotrope Umlagerungen	598
6.8	Redoxreaktionen	600
6.8.1	Nichtmetalle und ihre Verbindungen als Reduktionsmittel	600
6.8.2	Metalle und ihre Verbindungen als Reduktionsmittel	606
6.8.3	Nichtmetalle und ihre Verbindungen als Oxidationsmittel	608
6.8.4	Metall-Verbindungen als Oxidationsmittel	613
6.9	Photochemie	616
6.9.1	Photodissoziation	616
6.9.2	Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Photosensibilisation	617
6.9.3	Photochemie anhand ausgewählter Beispiele	619
6.9.4	Photochemie in der Technik	621

7 Chemie der Nicht- und Halbmetalle

7.1	Verbindungen der Nicht- und Halbmetalle	625
7.1.1	Einkernige Hydride der Nicht- und Halbmetalle	625
7.1.2	Organyl-Derivate der einkernigen Hydride der Nicht- und Halbmetalle	638
7.1.3	Mehrkernige Hydride der Nicht- und Halbmetalle	649
7.1.4	Borhydride	661
7.2	Fluoride der Nicht- und Halbmetalle	682
7.2.1	Struktur und Stabilität der Fluoride der Nicht- und Halbmetalle	682
7.2.2	Darstellung und Anwendung der Fluoride der Nicht- und Halbmetalle	687
7.2.3	Reaktionen der Fluoride der Nicht- und Halbmetalle	689
7.2.4	Fluoridhydride der Nicht- und Halbmetalle und deren organische Derivate	694
7.3	Verbindungen der Nicht- und Halbmetalle mit Oxygen	694
7.3.1	Oxide des Xenons	694
7.3.2	Oxide der Halogene	696
7.3.3	Oxide der Chalkogene	699
7.3.4	Oxide des Nitrogens	704
7.3.5	Oxide des Phosphors	710
7.3.6	Oxide des Arsens, Antimons und Bismuts	712
7.3.7	Oxide des Carbons	714
7.3.8	Oxide der schwereren Gruppe 14-Elemente	717
7.3.9	Oxide des Bors	721
7.3.10	Oxosäuren der Nicht- und Halbmetalle	722
7.3.11	Salze der Oxosäuren der Nicht- und Halbmetalle	727
7.4	Verbindungen der Nicht- und Halbmetalle mit Nitrogen	736
7.4.1	Nitrogen-Verbindungen der Halogene	736
7.4.2	Nitrogen-Verbindungen des Sulfurs	738
7.4.3	Nitrogen-Verbindungen des Phosphors	744
7.4.4	Nitrogen-Verbindungen des Carbons	747
7.4.5	Nitrogen-Verbindungen des Siliciums	750
7.4.6	Nitrogen-Verbindungen des Bors	751
7.5	Verbindungen der Nicht- und Halbmetalle mit Chlor, Brom und Iod sowie mit Sulfur	757
7.5.1	Allgemeine Eigenschaften der Halogenide der Nicht- und Halbmetalle	757
7.5.2	Strukturen der Halogenide der Nicht- und Halbmetalle	758

	Inhalt	XV
7.5.3	Darstellung der Halogenide der Nicht- und Halbmetalle	760
7.5.4	Reaktionen der Halogenide der Nicht- und Halbmetalle	761
7.5.5	Verwendung der Halogenide der Nicht- und Halbmetalle	765
7.5.6	Mehr als zweikernige Halogenide der Nicht- und Halbmetalle	766
7.5.7	Cloridoxide der Nichtmetalle	768
7.5.8	Verbindungen der Nicht- und Halbmetalle mit Sulfur	769
8	Chemie der Metalle	
8.1	Theoretische Grundlagen	775
8.1.1	Anwendung der Gruppentheorie auf Symmetriegruppen	775
8.1.2	Metallionen im elektrischen Feld der Liganden	787
8.1.3	Anwendung der Molekülorbital-Methode	803
8.1.4	Molekülschwingungen	813
8.1.5	Elektronenübergänge	823
8.1.6	Thermodynamische Stabilität von Komplexen	827
8.2	Mechanismen in der Koordinationschemie	829
8.2.1	Substitutionen	829
8.2.2	Redoxreaktionen	835
8.2.3	Umlagerungen	839
8.3	Hydrogen als Ligand	840
8.3.1	Binäre und ternäre Hydride	840
8.3.2	Dihydrogen als Ligand	841
8.3.3	Hydrogen als terminaler Ligand	842
8.3.4	Hydrogen als brückenständiger Ligand	843
8.4	Halogen und Pseudohalogen als Ligand	844
8.4.1	Binäre Halogenide: Überblick	844
8.4.2	Binäre Halogenide: Strukturen	846
8.4.3	Ternäre Halogenide	848
8.4.4	Pseudohalogen als Ligand	850
8.5	Über Oxygen an Metall gebundene Liganden	853
8.5.1	Metalle in wässriger Lösung	853
8.5.2	Binäre Oxide	860
8.5.3	Ternäre Oxide	864
8.5.4	Dioxygen als Ligand	865
8.5.5	Über Oxygen gebundene zweizählige Liganden	867
8.6	Über Carbon an Metall gebundene Liganden	869
8.6.1	Carbonylmetall-Verbindungen	869
8.6.2	Organylmetall-Verbindungen	879
8.6.3	Alkyliden- und Alkylidinmetall-Verbindungen	886
8.6.4	Alkan-, Alken- und Alkinmetall-Komplexe	889
8.6.5	Cyclopentadienylmetall-Komplexe	901
8.6.6	Arenmetall-Komplexe	909
Anhang I: Übungsaufgaben		915
Anhang II: Lösungen der Übungsaufgaben		927
Register		941