

Inhaltsverzeichnis

I Allgemeine Chemie

1	Elemente – sämtliche Materie besteht aus 92 verschiedenen Elementen	3
1.1	Elemente – Grundbausteine der Materie	4
1.2	Entstehung der Elemente – wir sind alle Sternenstaub	4
1.3	Herkunft der Elementnamen und der Elementsymbole	6
1.4	Künstliche Elemente – Herstellung durch Kernverschmelzung	6
1.5	Lernkontrolle	10
2	Atome – massiver Kern umgeben von einer mehrschaligen Elektronenhülle	13
2.1	Historische Atommodelle – John Dalton als Vater der modernen Atomtheorie	15
2.2	Thomsons Rosinenkuchenmodell – Atome sind keine homogene Kugeln	15
2.3	Rutherfordscher Streuversuch – Atome bestehen aus Kern und Elektronenhülle	15
2.4	Bohrsches Atommodell – die Elektronenhülle besteht aus mehreren Schalen	16
2.5	Protonen, Neutronen, Elektronen – elementare Bestandteile der Atome	19
2.5.1	Elektron	19
2.5.2	Proton	20
2.5.3	Neutron	20
2.5.4	Atomkerne	21
2.5.5	Atomare Masseneinheit u	21
2.6	Orbitalmodell – Elektronen bewegen sich in Aufenthaltsbereichen	21
2.6.1	Hauptquantenzahl n	23
2.6.2	Nebenquantenzahl l	23
2.6.3	Magnetische Quantenzahl m	24
2.6.4	Spinquantenzahl s	24
2.6.5	Mehrelektronenatome	24
2.7	Atome – Größe und Masse variieren elementabhängig	24
2.7.1	Größe	25
2.7.2	Masse	25
2.7.3	Form von Atomen	25
2.8	Isotope – Atome eines Elements mit unterschiedlicher Neutronenzahl	26
2.9	Radioaktivität – Atomkerne zerfallen spontan	27
2.9.1	Radioaktivität – Was ist das?	27
2.9.2	α -Strahlung	27
2.9.3	β -Strahlung	28
2.9.4	γ -Strahlung	28
2.9.5	Halbwertszeit ($t_{1/2}$)	28
2.9.6	Physiologische Wirkung radioaktiver Strahlung	29
2.10	Lernkontrolle	30
3	Das Periodensystem – Anordnung der Elemente nach drei Ordnungskriterien	31
3.1	Dmitrij Mendelejew – Vater des modernen Periodensystems	32
3.2	Ordnungszahl, Periodenzahl, Gruppenzahl – die Ordnungskriterien des PSE	33
3.2.1	Ordnungszahl	33
3.2.2	Periodenzahl	33
3.2.3	Hauptgruppenzahl	33
3.2.4	Nebengruppenzahl	34
3.2.5	Lanthanoide, Actinoide	34
3.2.6	Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle	34
3.3	Elektronenhülle – Orbitale werden sukzessive mit Elektronen aufgefüllt?	34
3.3.1	Wasserstoff und Helium	37

3.3.2	Valenzorbitale.....	37
3.4	Periodische Verläufe im PSE – Atomradius, Ionisierungsenergie, Elektronegativität.....	37
3.4.1	Atomradius	37
3.4.2	Ionisierungsenergie	38
3.4.3	Elektronegativität	40
3.5	Lernkontrolle	40
4	Chemische Bindung – Elemente streben Edelgaskonfiguration an.....	41
4.1	Edelgaskonfiguration – Atome verfügen über acht Valenzelektronen.....	42
4.2	Ionenbindung – Elektronenübergang von Metallatom auf Nichtmetallatom.....	42
4.3	Kovalente Bindung – Nichtmetallatome teilen sich Elektronenpaare.....	44
4.3.1	Polare Bindungen	45
4.3.2	Geometrische Struktur.....	46
4.4	Metallbindung – Freies Elektronengas stabilisiert Gitter von „Metallatomrümpfen“	49
4.4.1	Elektronengasmodell.....	49
4.4.2	Bändermodell.....	50
4.4.3	Elektrische Leiter – Halbleiter – Isolatoren.....	50
4.4.4	Struktur des Metallgitters	50
4.4.5	Legierungen	51
4.5	Komplexbindung – Liganden gruppieren sich um ein Zentralatom	51
4.5.1	Hexammincobalt(III)-trichlorid $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	51
4.5.2	Chelate	52
4.5.3	Bedeutung.....	52
4.6	Chemische Bindung in der Zusammenschau.....	53
4.6.1	Ionenbindung (Metall + Nichtmetall, $\Delta\text{EN} > 1,7$).....	53
4.6.2	Kovalente Bindung (Nichtmetall + Nichtmetall, $\Delta\text{EN} = 0$).....	53
4.6.3	Polare Bindung (Nichtmetall + Nichtmetall, $\Delta\text{EN} < 1,7$).....	54
4.6.4	Komplexbindung (Zentralatom + Liganden)	54
4.6.5	Metallbindung (Metall + Metall, $\Delta\text{EN} = 0$)	54
4.6.6	Legierungen (Metall + Metall, $\Delta\text{EN} > 0$)	54
4.7	Lernkontrolle	55
5	Stöchiometrie – das Zahlengerüst der Chemie	57
5.1	Absolute und relative Atommasse/Molekülmasse	58
5.1.1	Absolute Atommasse ($m_{\text{A,a}}$).....	58
5.1.2	Atomare Masseneinheit (u)	58
5.1.3	Relative Atommasse ($m_{\text{A,r}}$)	58
5.1.4	Relative Molekülmasse ($m_{\text{M,r}}$)	59
5.2	Stoffmenge n in Mol – die Anzahl der Teilchen ist entscheidend	59
5.3	Molare Masse und molares Volumen	60
5.3.1	Molare Masse	60
5.4	Mol pro Liter – die wichtigste Konzentrationseinheit für den Chemiker	62
5.5	Chemische Formeln – kompakte Darstellung mit hoher Aussagekraft	62
5.5.1	Verhältnisformel, Empirische Formel.....	63
5.5.2	Summenformel	63
5.5.3	Hill-Summenformel	63
5.5.4	Konstitutionsformel	63
5.5.5	Valenzstrichformel, Lewis-Formel.....	63
5.5.6	Strukturformel	63
5.6	Berechnung der elementaren Zusammensetzung von Verbindungen.....	64
5.7	Von der elementaren Zusammensetzung zur Summenformel	64
5.8	Reaktionsgleichungen – Art und Anzahl der Atome ändern sich nicht	65
5.9	Lernkontrolle	66
6	Stoffe – zwischenmolekulare Wechselwirkungen erklären die Aggregatzustände	67
6.1	Zwischenmolekulare Wechselwirkungen sorgen für inneren Zusammenhalt	68
6.1.1	Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	68

6.1.2	Wasserstoffbrückenbindung	69
6.1.3	Van-der-Waals-Kräfte	69
6.2	Gasförmig, flüssig, fest – die drei klassischen Aggregatzustände	70
6.2.1	Gase – Stoffe von variabler Form und variablem Volumen	70
6.2.2	Flüssigkeiten – Stoffe mit definiertem Volumen, aber variabler Form	74
6.2.3	Feststoffe – Stoffe mit fester Form und festem Volumen	78
6.3	Phasenübergänge – Wärme entscheidet über den Aggregatzustand	79
6.4	Reinstoffe und Stoffgemische	81
6.4.1	Gehaltsangaben – Anteile und Konzentrationen einzelner Komponenten	83
6.4.2	Löslichkeit – wie viel Substanz löst sich in einem Lösemittel?	86
6.5	Lernkontrolle	87
7	Trennen von Stoffgemischen	89
7.1	Thermische Trennverfahren	90
7.1.1	Destillieren – Auftrennen von Stoffen unterschiedlicher Siedepunkte	90
7.1.2	Sublimieren – direkter Übergang vom Fest- in den Gaszustand	93
7.1.3	Extrahieren – Löslichkeit als entscheidender Parameter	94
7.2	Mechanische Trennverfahren	96
7.2.1	Sedimentieren – Feststoffpartikel sinken zu Boden	96
7.2.2	Zentrifugieren – Zentrifugalkräfte beschleunigen den Sedimentationsprozess	97
7.2.3	Filtern – Filtermedium trennt Feststoffpartikel und Flüssigkeit	97
7.2.4	Sieben – Auftrennen eines Feststoffgemisches nach der Korngröße	99
7.2.5	Windsichten – Luftströmung trennt kleine von großen Feststoffteilchen	100
7.2.6	Umkehrosmose – Semipermeable Membran filtert Ionen aus Wasser	101
7.2.7	Flotieren – Auftrennen von Mineralen mithilfe von Luftblasen	101
7.2.8	Magnettrennung – eisenhaltige Werkstoffe werden separiert	102
7.3	Chemische Austauschreaktion – Ionenaustauscher sorgen für entkalktes Wasser	103
7.3.1	Funktionsweise – Vernetzte Reaktionsharze binden Calciumionen	103
7.3.2	Regeneration – Umkehrung des Ionenaustauschvorgangs	104
7.3.3	Verwendung – Deionisiertes Wasser für Industrie und Haushalt	104
7.4	Lernkontrolle	104
8	Thermodynamik – chemische Reaktionen gehen mit Energieumwandlung einher	107
8.1	Enthalpie – Maß für Reaktionswärme	108
8.1.1	Kalorimeter – Messung von Reaktionsenthalpien	109
8.1.2	Hess'scher Wärmesatz	110
8.2	Entropie S – ein Teil der Wärme geht irreversibel verloren	110
8.3	Gibbs-Energie – Enthalpie und Entropie werden zu einer Kennzahl verknüpft	112
8.4	Massenwirkungsgesetz – reversible Reaktionen im Gleichgewichtszustand	112
8.5	Lage des chemischen Gleichgewichts – das Prinzip von Le Chatelier	116
8.5.1	Druckänderung	116
8.5.2	Stoffmengenänderung	116
8.5.3	Temperaturänderung	117
8.6	Lernkontrolle	117
9	Kinetik – Reaktionsgeschwindigkeit hängt von Temperatur und Konzentration ab	119
9.1	Chemische Reaktion – Moleküle müssen aktiviert werden	120
9.2	Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmendem Reaktionsfortschritt ab	120
9.3	Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt von der Konzentration der Edukte ab	121
9.3.1	Geschwindigkeitsgesetz	122
9.4	Reaktionsordnung und Molekularität	122
9.4.1	Reaktionsordnung	122
9.4.2	Molekularität	123
9.5	Die Reaktionsgeschwindigkeit steigt mit zunehmender Temperatur an	123
9.6	Arrhenius-Gleichung – Verknüpfung von Aktivierungsenergie und Reaktionsgeschwindigkeit	123
9.7	Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmendem Zerteilungsgrad zu	125
9.8	Reaktionsgeschwindigkeit und chemisches Gleichgewicht	125

9.9	Katalysatoren erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit	126
9.9.1	Prinzip der Katalyse	126
9.9.2	Homogene und heterogene Katalyse	127
9.9.3	Leistungskennzahlen	128
9.10	Lernkontrolle	128
10	Säuren und Basen – der pH-Wert macht den Unterschied	131
10.1	Arrhenius – Säuren/Basen geben an Wasser H^+ resp. OH^- ab	132
10.1.1	Wertigkeit von Säuren und Basen	133
10.2	Brønsted – Säuren/Basen als Protonendonatoren resp. Protonenakzeptoren	133
10.2.1	Konjugierte Säure-Base-Paare	133
10.2.2	Ampholyte	134
10.3	Lewis – Säuren/Basen als Elektronenpaarakzeptoren resp. Elektronenpaardonatoren	134
10.4	pH- und pK-Wert – Kennzahlen für die Stärke von Säuren und Basen	135
10.4.1	Autoprotolyse	135
10.4.2	pH-Wert und pK-Wert	135
10.4.3	pH-Wert starker Säuren und Basen	137
10.4.4	pH-Wert schwacher Säuren und Basen	138
10.4.5	Unterschied zwischen pH- und pK_s -Wert	139
10.5	Salze – Säuren und Basen neutralisieren sich zu Salzen	140
10.6	Bestimmung des pH-Wertes	141
10.6.1	Indikator	141
10.6.2	Glaselektrode	141
10.7	Titration – volumetrische Bestimmung des Gehalts von Säuren/Basen	142
10.7.1	Titration einer starken Säure mit einer starken Base	142
10.7.2	Titration einer schwachen Säure mit einer starken Base	144
10.8	Pufferlösungen – der pH-Wert bleibt konstant	144
10.8.1	Wirkungsweise eines Puffers	145
10.8.2	Henderson-Hasselbalch-Gleichung	145
10.8.3	Pufferoptimum	146
10.8.4	Pufferkapazität	146
10.9	Lernkontrolle	147
11	Redoxreaktionen – Elektronenübergang zwischen Atomen	149
11.1	Oxidationszahl – Definition und Bestimmung	150
11.1.1	Regeln zur Bestimmung der Oxidationszahl	150
11.1.2	Oxidationszahl versus Formalladung	152
11.2	Oxidation – die Oxidationszahl nimmt zu	152
11.3	Reduktion – die Oxidationszahl nimmt ab	153
11.4	Redoxgleichungen – systematische Ableitung mithilfe von Oxidationszahlen	153
11.4.1	Aufstellen von Redoxgleichungen	153
11.4.2	Disproportionierung	155
11.4.3	Synproportionierung	155
11.5	Halbzelle, Galvanische Zelle, Normalpotential, Nernstsche Gleichung	156
11.5.1	Halbzellen	156
11.5.2	Galvanische Zelle	156
11.5.3	Normalpotential	156
11.5.4	Nernstsche Gleichung	157
11.6	Leclanché-Element, Bleiakkumulator, Brennstoffzelle, Lithiumbatterie	158
11.6.1	Zink-Kohle-Batterie (Leclanché-Element)	158
11.6.2	Bleiakkumulator	158
11.6.3	Brennstoffzelle	160
11.6.4	Lithiumionen-Akkumulatoren	160
11.7	Elektrolyse, Galvanik, Korrosion – Redoxvorgänge von kommerzieller Bedeutung	162
11.7.1	Elektrolyse	162
11.7.2	Galvanik	163
11.7.3	Korrosion	163
11.8	Lernkontrolle	165

II Anorganische Chemie

12 Nichtmetalle – alle Nichtmetalle sind Hauptgruppen-Elemente	169
12.1 Elektronenkonfiguration – die äußerste Schale wird mit Elektronen aufgefüllt	172
12.2 Gruppe 1 – Wasserstoff, das leichteste und häufigste Element des Universums	172
12.2.1 Vorkommen, Eigenschaften und Herstellung	172
12.2.2 Wasserstoff geht mit fast allen Elementen chemische Verbindungen ein	175
12.2.3 Oxide des Wasserstoffs – Wasser, Schweres Wasser, Überschweres Wasser, Wasserstoffperoxid	176
12.2.4 Verwendung von Wasserstoff	180
12.2.5 Lernkontrolle	181
12.3 Gruppe 13 – Bor, Element von hoher Härte	182
12.3.1 Vorkommen, Eigenschaften und Herstellung	182
12.3.2 Bor-Sauerstoff-Verbindungen	184
12.3.3 Borwasserstoffe – klassische Elektronenmangelverbindungen	185
12.3.4 Borhalogene – Lewis-Säuren von hoher Flüchtigkeit	187
12.3.5 Bornitride und Borcarbid – Hartstoffe von kommerzieller Bedeutung	188
12.3.6 Lernkontrolle	189
12.4 Gruppe 14 – Kohlenstoff, Element voller Überraschungen	190
12.4.1 Graphit, Diamant, Fulleren, Graphen – allotrope Modifikationen des Kohlenstoffs	190
12.4.2 Inkohlung – Pflanzen werden zu Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit oder Graphit	194
12.4.3 Brikett, Koks, Holzkohle, Aktivkohle, Ruß – Gebrauchsprodukte des Kohlenstoffs	195
12.4.4 Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid – Verbrennungsprodukte des Kohlenstoffs	195
12.4.5 Carbide – Kohlenstoff mit partiell negativer Ladung	198
12.4.6 Kohlenwasserstoffverbindungen – Variationsvielfalt als Voraussetzung für Leben	199
12.4.7 Lernkontrolle	199
12.5 Gruppe 15 – Stickstoff und Phosphor, wichtig für Mensch, Tier und Pflanze	201
12.5.1 Vorkommen, Eigenschaften und Herstellung – Luftverflüssigung nach Linde	201
12.5.2 Ammoniak – großtechnische Synthese aus Luftstickstoff	203
12.5.3 Oxide und Sauerstoffsäuren – Salpeter- und Phosphorsäure für die Düngemittelindustrie	207
12.5.4 Halogenverbindungen	212
12.5.5 Verwendung – Düngemittel, Sprengstoffe, Waschmittelzusätze	213
12.5.6 Lernkontrolle	215
12.6 Gruppe 16 – Chalkogene, wichtige Bestandteile von Erzen und Mineralien	216
12.6.1 Vorkommen, Eigenschaften und Herstellung	216
12.6.2 Schwefel-Sauerstoff-Verbindungen – Schwefelsäure als wichtigster Vertreter	224
12.6.3 Halogenverbindungen	227
12.6.4 Wasserstoffverbindungen	228
12.6.5 Lernkontrolle	230
12.7 Gruppe 17 – Halogene, Elemente hoher Elektronegativität und Reaktivität	231
12.7.1 Vorkommen, Eigenschaften und Herstellung	231
12.7.2 Chemisches Reaktionsverhalten und bedeutende Verbindungsklassen	235
12.7.3 Verwendung von Halogenverbindungen – Kunststoffe, Salze, Lampen, Kontrastmittel	239
12.7.4 Lernkontrolle	242
12.8 Gruppe 18 – Edelgase sind äußerst reaktionsträge Elemente	242
12.8.1 Vorkommen und Gewinnung – Atmosphärenluft enthält ein Prozent Argon	243
12.8.2 Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	243
12.8.3 Verwendung – Traggas für Ballone, Schutzgas für Metalle und Füllgas für Leuchtröhren	244
12.8.4 Lernkontrolle	249
13 Hauptgruppenmetalle – Metalle mit stark variierenden Eigenschaften	251
13.1 Gruppe 1 – Alkalimetalle (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr)	254
13.1.1 Vorkommen und Herstellung – Schmelzflusselektrolyse von Alkalihalogeniden	255
13.1.2 Allgemeine und physikalische Eigenschaften	256
13.1.3 Chemisches Reaktionsverhalten – Halogenide, Oxide, Hydroxide, Alkalilaugen	257

13.1.4	Verwendung – Batterien, Kühlmittel, Atomuhren	260
13.1.5	Lernkontrolle	262
13.2	Gruppe 2 – Erdalkalimetalle (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra)	263
13.2.1	Vorkommen und Herstellung	263
13.2.2	Allgemeine und physikalische Eigenschaften	264
13.2.3	Chemisches Reaktionsverhalten	264
13.2.4	Grignard-Verbindungen erweitern das Syntheserepertoire organischer Chemiker	266
13.2.5	Kalkkreislauf – Kalkstein, Branntkalk, gelöschter Kalk	266
13.2.6	Calciumsulfate – Anhydrit, Halbhydrat, Dihydrat	268
13.2.7	Zement – das mengenmäßig größte chemisch erzeugte Produkt	269
13.2.8	Wasserhärte – Calcium und Magnesium als <i>troublemaker</i>	270
13.2.9	Verwendung – Leichtlegierungen, Reduktionsmittel, Chlorophyll	271
13.2.10	Lernkontrolle	272
13.3	Gruppe 13 – Aluminium, Gallium, Indium, Thallium	273
13.3.1	Vorkommen und Herstellung – Schmelzflusselektrolyse von Oxiden und Halogeniden	273
13.3.2	Allgemeine und physikalische Eigenschaften	275
13.3.3	Chemisches Reaktionsverhalten – Oxide, Halogenide, Hydride	275
13.3.4	Verwendung – Leichtlegierungen, Halbleitertechnologie, LEDs	277
13.3.5	Lernkontrolle	278
13.4	Gruppe 14 – Silicium, Germanium, Zinn, Blei	278
13.4.1	Vorkommen und Herstellung – chemische Reduktion von Oxiden	278
13.4.2	Allgemeine und physikalische Eigenschaften	281
13.4.3	Chemisches Reaktionsverhalten – Oxide, Silicate, Halogenide, Hydride	282
13.4.4	Verwendung – Wafer, Photovoltaik, Mikrochips, Weißblech, Bleiakku	288
13.4.5	Lernkontrolle	290
13.5	Gruppe 15 – Arsen, Antimon, Bismut	290
13.5.1	Vorkommen und Herstellung – Reduktion von Sulfid- bzw. Oxiderzen	291
13.5.2	Allgemeine und physikalische Eigenschaften	292
13.5.3	Chemisches Reaktionsverhalten – Oxide, Sulfide, Halogenide	293
13.5.4	Lernkontrolle	296
13.6	Gruppe 16 – Selen, Tellur, Polonium	297
13.6.1	Vorkommen und Herstellung – Reduktion von Sulfid- bzw. Oxiderzen	297
13.6.2	Allgemeine und physikalische Eigenschaften	298
13.6.3	Chemisches Reaktionsverhalten – Oxide, Hydride, Halogenide	299
13.6.4	Verwendung – Photozellen, Legierungen, Pigmente, Antistatika	300
13.6.5	Lernkontrolle	301
14	Nebengruppenmetalle – Metalle von hohem kommerziellen Interesse	303
14.1	Elektronenstruktur und Eigenschaften	305
14.1.1	Elektronenkonfiguration – Die zweitäußerste Schale wird mit Elektronen aufgefüllt	305
14.1.2	Komplexverbindungen – Liganden umgeben ein Zentralatom	306
14.1.3	Komplexverbindungen – Aufbau, Bindungstyp, 18-Elektronen-Regel	306
14.1.4	Komplexverbindungen – Ligandenfeldtheorie erklärt Magnetismus und Farbe	307
14.1.5	Vergleich von Nebengruppenmetallen mit Hauptgruppenmetallen	310
14.1.6	Lernkontrolle	310
14.2	Gruppe 3 – Scandiumgruppe (Sc, Y, La, Ac)	311
14.2.1	Vorkommen und Herstellung – Reduktion von Fluoriden mit Calcium	311
14.2.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	312
14.2.3	Anwendungen – Leichtlegierungen, Farbstofflaser, Zündsteine	312
14.2.4	Lernkontrolle	313
14.3	Gruppe 4 – Titangruppe (Ti, Zr, Hf, Rf)	313
14.3.1	Vorkommen und Herstellung – Reduktion von Chloriden mit Magnesium	313
14.3.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	314
14.3.3	Anwendungen – Implantate, Lambdasonde, Kernbrennstäbe	316
14.3.4	Lernkontrolle	317

14.4	Gruppe 5 – Vanadiumgruppe (V, Nb, Ta, Db)	317
14.4.1	Vorkommen und Herstellung – Reduktion von Fluoriden	317
14.4.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	318
14.4.3	Anwendungen – Stahl, Supraleiter, Kondensatoren	320
14.4.4	Lernkontrolle	321
14.5	Gruppe 6 – Chromgruppe (Cr, Mo, W, Sg)	321
14.5.1	Vorkommen und Herstellung – Reduktion von Oxiden mit Aluminium oder Wasserstoff	321
14.5.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	322
14.5.3	Anwendungen – Sanitärarmaturen, Schmiermittel, Glühfaden	324
14.5.4	Lernkontrolle	326
14.6	Gruppe 7 – Mangangruppe (Mn, Tc, Re, Bh)	326
14.6.1	Vorkommen und Herstellung	326
14.6.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	327
14.6.3	Anwendungen – Stahlhärtung, Radiomedizin, Katalysatoren	329
14.6.4	Lernkontrolle	330
14.7	Gruppe 8 – Eisengruppe (Fe, Ru, Os, Hs)	331
14.7.1	Vorkommen und Herstellung – Hochofenprozess	331
14.7.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	334
14.7.3	Anwendungen – Stahl, Katalysatoren, Herzklappen	336
14.7.4	Lernkontrolle	337
14.8	Gruppe 9 – Cobaltgruppe (Co, Rh, Ir, Mt)	338
14.8.1	Vorkommen und Herstellung	338
14.8.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	339
14.8.3	Anwendungen – Salpetersäureherstellung, Glasfärberei, Zündkerzen	341
14.8.4	Lernkontrolle	343
14.9	Gruppe 10 – Nickelgruppe (Ni, Pd, Pt, Ds)	343
14.9.1	Vorkommen und Herstellung	344
14.9.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	345
14.9.3	Anwendungen – Münzen, Dreiegekatalysator, Krebstherapie	347
14.9.4	Lernkontrolle	350
14.10	Gruppe 11 – Kupfergruppe (Cu, Ag, Au, Rg)	350
14.10.1	Vorkommen und Herstellung	351
14.10.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	353
14.10.3	Anwendungen – Stromleitung, Tafelsilber, Schmuck	356
14.10.4	Lernkontrolle	359
14.11	Gruppe 12 – Zinkgruppe (Zn, Cd, Hg, Cn)	359
14.11.1	Vorkommen und Herstellung	360
14.11.2	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	361
14.11.3	Anwendung – Dachabdeckungen, Lagerbuchsen, Energiesparlampen	363
14.11.4	Lernkontrolle	365
15	Lanthanoide und Actinoide – Metalle mit außergewöhnlichen Eigenschaften	367
15.1	Atombau – die drittäußerste Schale wird mit Elektronen aufgefüllt	368
15.2	Vorkommen, Gewinnung, Marktsituation	370
15.2.1	Lanthanoide – Vorkommen	370
15.2.2	Actinoide – Vorkommen	370
15.2.3	Lanthanoide – Herstellung	370
15.2.4	Actinoide – Herstellung	370
15.3	Physikalische Eigenschaften und chemisches Reaktionsverhalten	372
15.3.1	Eigenschaften – Lanthanoide	372
15.3.2	Eigenschaften – Actinoide	374
15.4	Anwendungen – Windkraftwerke, Elektromobilität, Kommunikationstechnik, Kernenergie	374
15.4.1	Lanthanoide – Magnete, Gläser, Katalysatoren, Laser, Displays	374
15.4.2	Actinoide – Kernbrennstoffe, Neutronenquellen, Kernwaffen	374
15.5	Lernkontrolle	382

III Organische Chemie

16 Kohlenwasserstoffe – Grundbausteine der organischen Chemie	385
16.1 Alkane – Kohlenwasserstoffe, die ausschließlich Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindungen aufweisen	388
16.1.1 Nomenklatur, Bindungsverhältnisse, Struktur	390
16.1.2 Konstitutionsisomere und Nomenklatur	393
16.1.3 Vorkommen, physikalische Eigenschaften, Verwendung	394
16.1.4 Chemisches Reaktionsverhalten – Oxidation, Pyrolyse, Halogenierung	399
16.1.5 Halogenalkane	403
16.1.6 Lernkontrolle	404
16.2 Alkene – Kohlenwasserstoffe mit mindestens einer Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung	405
16.2.1 Nomenklatur, Bindungsverhältnisse	406
16.2.2 Konfigurationsisomerie – <i>Z/E</i> - bzw. <i>cis/trans</i> -Isomerie	408
16.2.3 Vorkommen, Herstellung, physikalische Eigenschaften	410
16.2.4 Wichtige Vertreter	411
16.2.5 Chemisches Reaktionsverhalten – Hydrierung, Halogenierung, Polymerisation	412
16.2.6 Lernkontrolle	414
16.3 Alkine – Kohlenwasserstoffe mit mindestens einer Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung	415
16.3.1 Nomenklatur, Bindungsverhältnisse	416
16.3.2 Vorkommen, Herstellung, physikalische Eigenschaften	417
16.3.3 Chemisches Reaktionsverhalten – Reppe-Chemie und Additionsreaktionen	420
16.3.4 Lernkontrolle	422
16.4 Cyclische Kohlenwasserstoffe – Polygone aus Kohlenstoffatomen	423
16.4.1 Nomenklatur, Bindungsverhältnisse	424
16.4.2 Vorkommen, physikalische Eigenschaften, Herstellung	426
16.4.3 Chemisches Reaktionsverhalten – Ringöffnung durch Additionsreaktionen	428
16.4.4 Lernkontrolle	428
16.5 Aromatische Kohlenwasserstoffe – Benzolring als Grundeinheit	429
16.5.1 Definition, Struktur, Nomenklatur	430
16.5.2 Vorkommen, Herstellung, physikalische Eigenschaften, Verwendung	432
16.5.3 Chemisches Reaktionsverhalten – Elektrophile aromatische Substitution	434
16.5.4 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe – Verbund mehrerer Benzolmoleküle	437
16.5.5 Lernkontrolle	439
16.6 Erdöl – fossiler Brennstoff und Rohstoffbasis für die chemische Industrie	439
16.6.1 Erdöl – vor über 100 Millionen Jahren aus Biomasse entstanden	440
16.6.2 Exploration – rotierender Bohrmeißel frisst sich tief in die Erde	440
16.6.3 <i>Peak oil</i> – gehört <i>easy oil</i> der Vergangenheit an?	443
16.6.4 Rohöl – ein Gemisch aus Hunderten Kohlenwasserstoffen	443
16.6.5 Raffinerie – Fraktionieren, Cracken, Umformen des KW-Gemisches	444
16.6.6 Clathrate – Hoffnung für ausreichend fossile Energie in der Zukunft?	447
16.6.7 Lernkontrolle	448
16.7 Stereochemie – die räumliche Anordnung der Atome ist entscheidend	449
16.7.1 Stereochemie – Grundbegriffe und Formen	449
16.7.2 Konstitutionsisomerie – gleiche Summenformel, aber unterschiedliche Atomverknüpfungen	449
16.7.3 Stereoisomerie – gleiche Atomverknüpfungen, aber unterschiedliche räumliche Anordnung	450
16.7.4 Lernkontrolle	456
17 Organische Sauerstoffverbindungen – Sauerstoff erhöht die Molekülvielfalt	457
17.1 Alkanole (Alkohole) und Phenole	459
17.1.1 Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	459
17.1.2 Physikalische Eigenschaften	460
17.1.3 Typische Vertreter – Methanol, Ethanol, Glycol, Glycerin, Phenol	461
17.1.4 Chemisches Reaktionsverhalten – Etherbildung, Oxidation, Veresterung	463
17.2 Alkanale (Aldehyde)	465
17.2.1 Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	465

17.2.2	Physikalische Eigenschaften	466
17.2.3	Typische Vertreter – Formaldehyd, Acetaldehyd, Benzaldehyd	466
17.2.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Additionsreaktionen, Acetalbildung, Aldoladdition	467
17.3	Alkanone (Ketone)	469
17.3.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	469
17.3.2	Physikalische Eigenschaften	470
17.3.3	Typische Vertreter – Aceton, Cyclohexanon, Acetophenon	470
17.3.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Aldoladdition, Aldolkondensation, Ketalbildung	472
17.4	Carbonsäuren und Ester	472
17.4.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	472
17.4.2	Physikalische Eigenschaften	474
17.4.3	Typische Vertreter – Ameisensäure, Essigsäure, Benzoesäure	474
17.4.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Acidität, Veresterung, Anhydridbildung	476
17.5	Alkoxyalkane (Ether)	477
17.5.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	477
17.5.2	Physikalische Eigenschaften	477
17.5.3	Typische Vertreter – Diethylether, Ethylenoxid, MTBE, THF, Kronenether	477
17.5.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Autoxidation, Etherspaltung, Polymerisation	480
17.6	Organische Peroxide	480
17.6.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	480
17.6.2	Physikalische Eigenschaften	480
17.6.3	Typische Vertreter – Peroxyessigsäure, Dibenzoylperoxid	482
17.6.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Epoxidbildung, thermischer Zerfall	482
17.7	Lernkontrolle	483
18	Organische Stickstoffverbindungen – Stickstoff steigert die Reaktivität	485
18.1	Amine – Derivate des Ammoniaks	487
18.1.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	487
18.1.2	Physikalische Eigenschaften	487
18.1.3	Herstellung und typische Vertreter – Anilin, Pyridin, Alkaloide	488
18.1.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Basizität, Neutralisation, Amidbildung	490
18.2	Carbonsäureamide – formales Neutralisationsprodukt von Carbonsäure und Amin	492
18.2.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	492
18.2.2	Typische Vertreter – Dimethylformamid, Harnstoff, Caprolactam	492
18.2.3	Chemisches Reaktionsverhalten – Hydrolyse, Reduktion	493
18.3	Nitrile – Derivate der Blausäure	494
18.3.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	494
18.3.2	Physikalische Eigenschaften	494
18.3.3	Herstellung und typische Vertreter – Acetonitril, Acrylnitril	495
18.3.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Reduktion zu Aminen	496
18.4	Isocyanate – hochreaktive Verbindungen für die Kunststoffindustrie	496
18.4.1	Funktionelle Gruppe	497
18.4.2	Physikalische Eigenschaften	497
18.4.3	Herstellung und typische Vertreter – TDI, MDI, HDI	497
18.4.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Urethanbildung und Dimerisierung	497
18.5	Azo-, Diazo- und Diazoniumverbindungen – funktionelle Gruppen mit zwei N-Atomen	498
18.5.1	Funktionelle Gruppe	498
18.5.2	Physikalische Eigenschaften	499
18.5.3	Typische Vertreter – AIBN, Azofarbstoffe, Diazomethan	499
18.5.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Methylierung, Azokupplung, Sandmeyer-Reaktion	500
18.6	Nitroverbindungen – je mehr Nitrogruppen, desto explosiver	501
18.6.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	501
18.6.2	Physikalische Eigenschaften	501
18.6.3	Herstellung und typische Vertreter – Nitromethan, Nitrobenzol, TNT	501
18.6.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Reduktion zu Aminen	502
18.7	Lernkontrolle	503

19	Organische Schwefelverbindungen – Schwefel sorgt für Geruch.	505
19.1	Thiole – Verbindungen mit unangenehmen Geruch	506
19.1.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	507
19.1.2	Physikalische Eigenschaften	507
19.1.3	Herstellung	507
19.1.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Disulfidbildung, Oxidation zu Sulfonsäuren	507
19.2	Sulfide, Disulfide – Verbindungen mit antibakterieller Wirkung	507
19.2.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	507
19.2.2	Herstellung	509
19.2.3	Chemisches Reaktionsverhalten – Oxidation zu Sulfoxiden, Sulfonen und Sulfonsäuren	510
19.3	Sulfoxide, Sulfone – polare, wasserlösliche Verbindungen mit hoher Oxidationszahl	511
19.3.1	Funktionelle Gruppe	511
19.3.2	Herstellung	511
19.3.3	Typische Vertreter – Dimethylsulfoxid, Sulfolan	511
19.4	Sulfonsäuren – Substanzen mit tensidischen Eigenschaften	511
19.4.1	Funktionelle Gruppe und Nomenklatur	511
19.4.2	Physikalische Eigenschaften	512
19.4.3	Herstellung	512
19.4.4	Chemisches Reaktionsverhalten – Neutralisation zu Sulfonamiden und Sulfonaten	513
19.5	Lernkontrolle	513
20	Biomoleküle – Chemie und Leben sind eng miteinander verknüpft.	515
20.1	Aminosäuren – Bausteine von Proteinen	517
20.1.1	Struktur und Chiralität	517
20.1.2	Seitenketten machen den Unterschied	517
20.2	Proteine – unendliche Variationsmöglichkeiten als Voraussetzung für Leben	518
20.2.1	Physiologische Bedeutung – Proteine als Universalwerkzeuge	518
20.2.2	Proteinstruktur – Von der Aminosäureabfolge zur 3D-Knäuelung	519
20.2.3	Chemischer Abbau - Hydrolyse und Denaturierung	522
20.3	Kohlenhydrate – primäre Energiequelle des menschlichen Organismus	522
20.3.1	Physiologische Bedeutung – Glucose als Energiequelle	523
20.3.2	Klassifizierung von Kohlenhydraten	523
20.3.3	Fischerprojektion, Ketten- und Ringstruktur, Haworth-Formel, Sesselkonformation	523
20.3.4	Kettenlänge – Mono-, Di- und Polysaccharide	526
20.4	Lipide – Energiespeicher des menschlichen Körpers	531
20.4.1	Physiologische Bedeutung – Einlagerung überschüssiger Energie in Fettdepots	531
20.4.2	Struktur von Triglyceriden, Fettsäuren und Pflanzenölen	531
20.4.3	Margarine – Härtung von Pflanzenfetten	533
20.4.4	Qualitätsprüfung von Ölen und Fetten	534
20.5	Vitamine – essenziell für Vitalität und Gesundheit	535
20.5.1	Entdeckung und Namensgebung	535
20.5.2	Klassifizierung nach Wasser- und Fettlöslichkeit	535
20.5.3	Vitaminbedarf und Mangelerscheinungen	536
20.6	Enzyme – Stoffwechselreaktionen bei milden Bedingungen	537
20.6.1	Enzymnamen – Einteilung in sechs Wirkungsklassen	538
20.6.2	Spezifität und Wirkungsprinzip gemäß dem Schlüssel-Schloß-Prinzip	538
20.6.3	Geschwindigkeit enzymatischer Reaktionen	540
20.7	DNA – Doppelhelix als Träger des Erbguts	541
20.7.1	Genom, Chromosom, DNA, Gene	541
20.7.2	DNA – Doppelhelix ähnelt einer verdrehten Strickleiter	542
20.7.3	DNA als Baupläne für Proteine	544
20.8	Photosynthese und Zellatmung – Verlinkung von anorganischer und belebter Natur	545
20.8.1	Lichtreaktion – Wasser wird mit Hilfe von Sonnenlicht in die Elemente gespalten	545
20.8.2	Dunkelreaktion – Aufbau von Kohlenhydraten aus CO ₂ und H ₂ O	546
20.8.3	Zellatmung – stille Verbrennung von Glucose	547
20.9	Lernkontrolle	549

IV Polymerchemie

21	Polymere – viele Monomermoleküle verbinden sich zu einem Makromolekül	553
21.1	Kunststoffe – historischer Streifzug von Kautschuk über Bakelit® zu Teflon®	554
21.1.1	Charles Nelson Goodyear – vulkanisierter Naturkautschuk hilft dem Auto auf die Sprünge	554
21.1.2	Leo Hendrik Baekeland – Bakelit® nimmt der Elektrizität den Schrecken	555
21.1.3	Wallace Hume Carothers – Nylon® entzückt die Damenwelt	556
21.1.4	Fritz Stastny – Polystyrol, der Stoff aus dem die Schäume sind	556
21.1.5	Roy J. Plunkett – Teflon®, ein Kunststoff mit außergewöhnlichen Eigenschaften	557
21.2	Polymerchemie – das Basiswissen kurz und bündig	557
21.2.1	Monomer – Polymer – Kunststoff	557
21.2.2	Polymerisationsgrad – molare Masse – Uneinheitlichkeit	558
21.2.3	Dispersion – Suspension – Emulsion	559
21.2.4	Copolymere – Terpolymere – Pfropfpolymer	560
21.2.5	Thermoplaste – Duroplaste – Elastomere	560
21.3	Kommerzielle Bedeutung – 300 Mio. Tonnen Kunststoff werden jährlich produziert	562
22	Polymerisation – Mechanismen, Verfahren, Produkte	565
22.1	Polymerisation – Monomere bilden Makromoleküle	566
22.1.1	Radikalische Polymerisation – Monomerverknüpfung über C=C- Doppelbindungen	566
22.1.2	Polykondensation – Verknüpfung bifunktioneller Monomere unter Abspaltung kleiner Moleküle	567
22.1.3	Polyaddition – Verknüpfung bifunktioneller Monomere ohne Abspaltprodukte	569
22.2	Kunststoffe – Herstellung, Eigenschaften, Verwendung	570
22.2.1	Polyethylen (PE) – Folien, Flaschen, Rohre	570
22.2.2	Polypropylen (PP) – härter und wärmebeständiger als Polyethylen	572
22.2.3	Polyvinylchlorid (PVC) – Fußböden, Fensterprofile, Kabelisolierungen	573
22.2.4	Polystyrol (PS) – geschäumter Kunststoff für die Wärmedämmung	575
22.2.5	Polymethylmethacrylat (PMMA) – Plexiglas® sorgt für Transparenz	577
22.2.6	Polytetrafluorethylen (PTFE) – thermisch und chemisch hoch resistent	578
22.2.7	Silicone – Kautschuk von hoher Elastizität und Chemikalienbeständigkeit	581
22.2.8	Polyethylenterephthalat (PET) – Textilfasern, Filme, Flaschen	584
22.2.9	Polyamide – Nylonstrümpfe, ein weltweiter Erfolg	585
22.2.10	Polyurethan (PUR) – Schaumstoffe, Beschichtungen, Lacke	588
22.2.11	Epoxidharze – Klebstoffe, Gießharze, Verbundwerkstoffe	591
22.3	Großtechnische Polymerisationsverfahren	593
22.3.1	Lösungspolymerisation – Monomer und Polymer liegen gelöst vor	593
22.3.2	Emulsionspolymerisation – emulgiertes Monomer ergibt dispergiertes Polymer	594
22.3.3	Suspensionspolymerisation – Monomertröpfchen polymerisieren zu „Perlen“	595
22.3.4	Substanzpolymerisation – Lösemittel nicht erforderlich	595
22.3.5	Sprühtrocknen – aus Polymerdispersionen werden Polymerpulver	596
23	Kunststoffe – Additive verbessern Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften	597
23.1	Additive – aus Polymeren werden gebrauchsfertige Kunststoffe	598
23.1.1	Füllstoffe – Zuschläge machen Kunststoffe günstiger	598
23.1.2	Stabilisatoren – Schutz gegen Temperatur, UV-Strahlen und Sauerstoff	598
23.1.3	Weichmacher – aus starrem Polymer wird weicher, flexibler Kunststoff	599
23.1.4	Flammschutzmittel – Additive erhöhen die Brandsicherheit	600
23.1.5	Verbundwerkstoffe – Fasern verbessern die mechanischen Eigenschaften	601
23.2	Kunststoffverarbeitung – aus Granulat und Pulver werden Kunststoffformteile	602
23.2.1	Extrudieren – Fertigung von Granulat und Endlosprofilen	602
23.2.2	Spritzgießen – Fertigung offener Formteile von hoher Komplexität	603
23.2.3	Blasformen – Fertigung dreidimensionaler Hohlkörper	604
23.2.4	Kalandrieren – Fertigung von Kunststofffolien nach dem Walzenverfahren	605
23.2.5	Blasfolienextrusion – Fertigung von Folien und Schläuchen	606
23.2.6	Schäumen – Fertigung expandierter Polystyrolperlen	606

23.3	Polymere – Übersicht wichtiger physikalischer Kennzahlen.....	607
23.4	Lernkontrolle für ► Kap. 21 bis 23	608
	Serviceteil	611
	Anhang.....	612
	Lösungen ausgewählter Übungsaufgaben	622
	Stichwortverzeichnis	623