



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Fachwissen Chemie

Qualifikationen für Laborberufe

1. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten
Europa-Nr.: 69528

Autoren des Lehrwerks:

Peter Brackmann	Ausbildungsleiter Chemie- u. Biologielaboranten	Bremen
Helmut Keim	OStR, Dipl.-Ing.	Mülheim a. d. R.
Frank Kretschmer	OStR	Duisburg
Dr. Thomas Meyer	StD, Dipl.-Chem.	Holzminden
Prof. Dr. Ingo Tausendfreund	Dipl.-Chem.	Witten

Autoren des digitalen Zusatzmaterials:

Dr. Astrid Grote-Wolff	Dipl.-Chem.	Nottuln
Dr. Heribert Keweloh	Priv.-Doz., Dipl.-Biol.	Oberhausen
Dr. Thomas Meyer	StD, Dipl.-Chem.	Holzminden

Leitung des Arbeitskreises:

Dr. Thomas Meyer

Verlagslektorat:

Dr. Astrid Grote-Wolff

Bildbearbeitung:

Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar
Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

1. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-6952-8

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlaggestaltung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar,
nach dem Entwurf von Dr. Thomas Meyer unter Verwendung eines Bildes von © psdesign1 -
Fotolia.com und © corneliap - depositphotos.com

Druck: Lensing Druck GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund, www.lensingdruck.de

Vorwort

Die Chemie entwickelt sich als exakte und differenzierte Naturwissenschaft rasant weiter. Neuen Anforderungen und Herausforderungen am Arbeitsplatz können die Mitarbeiter in chemischen Laborberufen nur gerecht werden, wenn ihre Kenntnisse auf einem fundierten Wissen aufbauen.

Das Lehrbuch „**Fachwissen Chemie – Qualifikationen für Laborberufe**“ vermittelt als Gesamtband diese Kenntnisse zusammenfassend auf einem modernen und hohen, auf die Zielgruppen abgestimmten Niveau. Der Aufbau ist angelehnt an den Rahmenlehrplan für die Ausbildung zum **Chemielaboranten/zur Chemielaborantin** sowie an die Lehrpläne der **Berufsfachschule Chemie bzw. Chemietechnik** für die Ausbildung zum **Chemisch-technischen Assistent/zur Chemisch-technischen Assistentin**. Das Fachwissen bis zum Teil 2 der gestreckten Abschlussprüfung wird auf einem an der bundeseinheitlichen **Prüfung der Chemielaboranten orientierten Niveau** vermittelt und umfasst auch die **Prüfungsinhalte der Chemisch-technischen Assistenten**.

Schüler und Auszubildende anderer naturwissenschaftlicher Bildungsgänge erlangen mit diesem Buch einen strukturierten Aufbau ihres chemischen Wissens. **Studierende naturwissenschaftlicher und technischer Studiengänge an Fachhochschulen und Universitäten** können ihre Fachkenntnisse weit über das Grundwissen hinaus vertiefen.

Inhalte:

Das Lehrwerk besitzt eine fachsystematische Struktur mit engem Lernfeld- und Praxisbezug. Die Fachtexte sind prägnant formuliert, aktuelle Neuerungen sind aufgenommen. Die Grundlagen der **Allgemeinen und Anorganischen Chemie** werden ausgehend vom Atombau und dem Periodensystem der Elemente über die Bindungstypen schrittweise erläutert. **Stöchiometrisches Rechnen, Physikalische Chemie** sowie **mechanische** und **thermische Trennverfahren** werden anhand von Beispielen aus der Laborpraxis vermittelt.

Im Gesamtband ist das Themengebiet **Organische Chemie** deutlich erweitert: Ausgehend von der **Systematik der Organischen Chemie** werden **typische Grundreaktionen** und **Reaktionsmechanismen** an Beispielen erläutert. Die **Strukturaufklärung** mit **Elementaranalyse, IR-, ¹H-NMR-** und **¹³C-NMR-Spektroskopie** sowie **Massenspektrometrie** wird im Detail erläutert. **Volumetrische** und **gravimetrische Analysen** werden genauso behandelt wie die **chromatografischen Trenntechniken GC und HPLC**. Auch **ICP-OES, ICP-MS** und **RFA** sind von der Basis aus erklärt. Auch die **Elektrochemie** und elektrochemische Vorgänge wie **Galvanik, Elektrolyse** und **elektrochemische Analyseverfahren** werden verständlich gemacht.

Über digitales Zusatzmaterial, das für die Leser in der **EUROPATHEK** kostenlos zur Verfügung gestellt wird, sind **elektrotechnisches Basiswissen** genauso enthalten wie die Darstellung von **Qualitätsmanagement** und **statistischen Verfahren, Mikrobiologie** und **Biotechnik** sowie **Probenahme** und **Probenvorbereitung**.

Didaktische Besonderheiten:

Das Lehrwerk ist aufgrund seiner unter didaktischen Aspekten entwickelten Struktur sowohl für den **Einsatz als den Unterricht begleitendes Werk** als auch zum **Selbststudium** geeignet. Das Verständnis wird durch eine **reichhaltige Bebilderung** gefördert, wobei Text und Bild stets eine Einheit bilden. **Übersichtliche Tabellen** verdeutlichen auch komplizierte Zusammenhänge. Bei den **Formeln** sind die Formelzeichen mit ihren Einheiten in einer Legende angegeben. **Merksätze** tragen zum Lernerfolg bei. Aufgrund seines **umfangreichen Sachwortverzeichnis** kann das Lehrwerk während der **Ausbildung** bzw. des **Studiums**, zur **Prüfungsvorbereitung** und in der beruflichen Praxis als **Wissensspeicher** zum Nachschlagen genutzt werden.

Allen unseren aufmerksamen Leserinnen und Lesern danken wir für die wertvollen Verbesserungsvorschläge, die wir gerne bei der Neukonzeption als Gesamtband berücksichtigt haben. Wir wünschen weiterhin viel Freude und Erfolg beim Erwerben der chemischen Grundlagen für Theorie und Praxis mit dem „**Fachwissen Chemie – Qualifikationen für Laborberufe**“. Hinweise und Ergänzungen, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Lehrwerks beitragen, werden unter der Verlagsadresse oder per E-Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de) dankbar entgegengenommen.

1	Stoffe und Stoffsysteme	15
1.1	Stoffe	16
1.1.1	Chemische Elemente	17
1.1.2	Chemische Verbindungen	20
1.2	Reinstoffe	21
1.3	Stoffgemische	21
1.3.1	Homogene Gemische	21
1.3.2	Heterogene Gemische	22
1.4	Aggregatzustände	23
1.4.1	Gasförmiger Zustand	23
1.4.2	Flüssiger Zustand	24
1.4.3	Fester Zustand	24
1.4.4	Weitere Zustandsformen	25
1.5	Physikalisch messbare Stoffgrößen	26
1.5.1	Internationales Einheitensystem	26
1.5.2	Wärme	28
1.5.3	Temperatureinheiten	28
1.5.4	Messgeräte zur Temperaturbestimmung	30
1.5.5	Masse m	32
1.5.6	Volumen V	37
1.5.7	Dichte ρ	41
1.5.8	Stoffmenge n	49
1.6	Stoffeigenschaften	50
1.6.1	Schmelztemperatur	50
1.6.2	Siedetemperatur	52
1.6.3	Löslichkeit L^*	53
1.6.4	Viskosität η	53
1.6.5	Oberflächenspannung σ	56
1.6.6	Werkstoffe im Labor	56
	Aufgaben zu Kapitel 1	58
2	Stofftrennverfahren	59
2.1	Sortieren und Klassieren	61
2.1.1	Magnetsortieren	62
2.1.2	Dichtesortieren	62
2.1.3	Flotieren	62
2.1.4	Siebklassieren	63
2.1.5	Sichten	64
2.2	Sedimentieren und Dekantieren	65
2.3	Zentrifugieren	66
2.4	Filtrieren	67
2.5	Extrahieren	69
2.5.1	Fest-Flüssig-Extraktion	70
2.5.2	Flüssig-Flüssig-Extraktion	71
2.6	Absorbieren, Adsorbieren, Desorbieren	75
	Aufgaben zu Kapitel 2	76
3	Thermische Trennverfahren	77
3.1	Abdampfen und Eindampfen	77
3.2	Destillation	77
3.3	Aufbau einer Destillationsanlage	78
3.3.1	Bauteile der Destillationsanlage	78

3.3.2	Vorrichtungen zum Heizen	79
3.3.3	Vorrichtungen zum Kühlen	79
3.4	Fraktionierte Destillation	80
3.4.1	Zeitlicher Temperaturverlauf	80
3.4.2	Aufbau einer Apparatur zur fraktionierten Destillation	81
3.5	Siedediagramme	81
3.5.1	Dampfdruck	81
3.5.2	Zustandsdiagramme	83
3.5.3	Dampfdruckdiagramme	85
3.5.4	Homogene Flüssigkeitsgemische	85
3.5.5	Ideale Flüssigkeitsgemische	86
3.5.6	Reale Flüssigkeitsgemische	89
3.5.7	Siedediagramme und Taudiagramme	90
3.5.8	Gleichgewichtsdigramme	91
3.6	Rektifikation	93
3.6.1	Kolonntypen	94
3.6.2	Rücklaufverhältnis	96
3.6.3	Theoretische Trennstufen	97
3.6.4	Verstärkungsverhältnis (Bodenwirkungsgrad)	101
3.6.5	Trennleistung von Füllkörperkolonnen und Packungskolonnen	102
3.7	Spezielle thermische Trennverfahren	103
3.7.1	Vakuumdestillation	103
3.7.2	Trägerdampfdestillation	105
3.7.3	Rektifikation von Mehrstoffgemischen	106
3.7.4	Rektifikation azeotroper Gemische	107
3.7.5	Extraktiv-Rektifikation	110
Aufgaben zu Kapitel 3		111
4	Reinigen von Stoffen	113
4.1	Trocknen von Stoffen	113
4.1.1	Feuchtigkeit	113
4.1.2	Trocknungsmethoden	114
4.1.3	Wahl der geeigneten Trocknungsmethode	117
4.1.4	Praktische Durchführung von Trocknungen	118
4.2	Entsalzen und Enthärten	121
4.2.1	Methoden zur Entsalzung	123
4.2.2	Methoden zur Enthärtung	127
4.3	Umkristallisation und Umfällen	128
4.3.1	Umkristallisation	128
4.3.2	Umfällen	130
4.4	Sublimation	130
4.5	Reinheits- und Qualitätsangaben von Stoffen	133
Aufgaben zu Kapitel 4		134
5	Atombau und Periodensystem	135
5.1	Wichtige Atommodelle	135
5.1.1	<i>Demokrits</i> Atomvorstellung	135
5.1.2	<i>Daltons</i> Atommodell	135
5.1.3	<i>Thomsons</i> Atommodell (Kugelmodell)	137
5.1.4	<i>Rutherfords</i> Atommodell (Kern-Hülle-Modell)	137
5.1.5	Atommodell nach <i>Bohr</i> (Schalenmodell)	138
5.1.6	Wellenmechanisches Atommodell (Orbitalmodell)	141
5.2	Quantenzahlen und Orbitale	141
5.2.1	Quantenzahlen und <i>Pauli</i> -Verbot	141

5.2.2	Atomorbitale	142
5.2.3	Orbitalbesetzung und <i>Hundsche Regel</i>	144
5.3	Periodensystem der Elemente	145
5.3.1	Ordnungskriterien des Periodensystems der Elemente	145
5.3.2	Relative Atommasse	147
5.3.3	Isotope	147
5.3.4	Perioden und Gruppen im Periodensystem der Elemente	149
5.3.5	Periodizität der Eigenschaften der Elemente	151
5.3.6	Hauptgruppenelemente und ihre Eigenschaften	158
Aufgaben zu Kapitel 5		160

6 Chemische Bindung **161**

6.1	Ionenbindung	162
6.1.1	Energetische Prozesse der Ionenbindung	162
6.1.2	Ionen der Hauptgruppenmetalle und mehratomige Ionen	163
6.1.3	Ionen der Übergangsmetalle	163
6.1.4	Namen und Formeln ionischer Verbindungen	164
6.1.5	Eigenschaften ionischer Verbindungen	166
6.2	Atombindung	168
6.2.1	Prinzipien der kovalenten Bindung und <i>Lewis-Formeln</i>	169
6.2.2	Hypervalente Verbindungen, Elektronenmangelverbindungen, Radikale und koordinative Bindung	171
6.2.3	Formale Ladung und Mesomerie (Resonanz)	173
6.2.4	VSEPR-Modell	174
6.2.5	<i>Valence-Bond</i> -Theorie	176
6.2.6	Hybridisierung	178
6.2.7	Molekülorbital-Theorie	182
6.2.8	Atomkristalle	185
6.2.9	Polare Atombindung und Elektronegativität	185
6.3	Zwischenmolekulare Kräfte	188
6.3.1	Wasserstoffbrücken	190
6.3.2	Dipol-Kräfte	193
6.3.3	<i>Van-der-Waals</i> -Kräfte	198
6.4	Metallbindung	201
6.4.1	Elektronengas-Modell	202
6.4.2	Bänder-Modell	203
6.4.3	Kristallgitter der Metalle	206
6.4.4	Metallische Legierungen	208
6.5	Koordinative Verbindungen	210
6.5.1	Metallkomplexe	210
6.5.2	Formeldarstellung und Nomenklatur komplexer Verbindungen	212
6.5.3	Chelatkomplexe	214
6.5.4	Ligandenaustausch	215
Aufgaben zu Kapitel 6		216

7 Chemische Reaktionen **217**

7.1	Reaktionsgleichungen	217
7.1.1	Bedeutung von Reaktionsgleichungen	218
7.1.2	Reaktionsschema	219
7.2	Aufstellen einer Reaktionsgleichung	220
7.3	Redox-Reaktion – Reduktion und Oxidation	222
7.3.1	Historischer Begriff der Reduktion und Oxidation	222
7.3.2	Moderner Begriff der Reduktion und Oxidation	223
7.3.3	Oxidationszahlen	224

7.3.4	Aufstellen und Bilanzieren von Redox-Gleichungen	226
7.3.5	Disproportionierung und Komproportionierung	228
Aufgaben zu Kapitel 7		230

8 Quantitative Aussagen von Reaktionsgleichungen 231

8.1	Chemische Grundgesetze	231
8.1.1	Gesetz von der Erhaltung der Masse	231
8.1.2	Gesetz der konstanten Proportionen	232
8.1.3	Gesetz der multiplen Proportionen	236
8.2	Stöchiometrische Größen	239
8.2.1	Stoffmenge n	239
8.2.2	Molare Masse M	239
8.2.3	Stoffmengenkonzentration	244
8.2.4	Zustandsgrößen von Gasen	247
8.3	Stöchiometrische Berechnungen	257
8.3.1	Umsatz	257
8.3.2	Ausbeute	259
8.3.3	Selektivität	261
Aufgaben zu Kapitel 8		264

9 Lösungen und Gehaltsangaben 265

9.1	Lösungen	265
9.1.1	Lösevorgang	265
9.1.2	Volumeneffekt	266
9.1.3	Lösegeschwindigkeit	266
9.1.4	Sättigungsgrad von Lösungen	267
9.1.5	Löslichkeit von Feststoffen	268
9.1.6	Löslichkeit von Gasen	269
9.2	Eigenschaften von Lösungen	271
9.2.1	Siedetemperaturerhöhung	271
9.2.2	Schmelztemperaturerniedrigung	272
9.3	Gehaltsangaben	272
9.3.1	Anteilsangaben	273
9.3.2	Konzentrationsangaben	276
9.3.3	Verhältnisangaben	280
9.3.4	Umrechnung von Gehaltsgrößen	281
9.4	Lösungen bestimmter Konzentration	282
9.4.1	Rechnen mit der Mischungsgleichung	282
9.4.2	Rechnen mit dem Mischungskreuz	284
9.4.3	Verdünnen von Lösungen	285
Aufgaben zu Kapitel 9		288

10 Gefahrstoffe und Arbeitsschutz 289

10.1	Sicherheitsstandards im Labor	290
10.1.1	Hinweiszeichen	290
10.1.2	Warnungen vor speziellen Gefahren	291
10.1.3	Persönliche Schutzausrüstung und technische Schutzeinrichtung	292
10.1.4	Gebote und Verbote	295
10.1.5	Sicherheitseinrichtungen	296
10.1.6	Vermeidung von Gefahrensituationen	298
10.2	Umgang mit Gefahrstoffen	299
10.2.1	Gesetzliche Grundlagen	299
10.2.2	Basis der Einstufung von Gefahrstoffen	300

10.2.3	Merkmale eines Gefahrstoffs	301
10.2.4	Warnung vor Gefahren (Gefahrenpiktogramme)	303
10.2.5	Hinweise zu Gefahren und zur Sicherheit (H- und P-Sätze)	305
10.3	Gefährdungen durch Gefahrstoffe und Schutzmaßnahmen	306
10.3.1	Akute Giftwirkung	306
10.3.2	Gesundheitsgefährdende Stoffe	307
10.3.3	Ätzend und reizend	310
10.3.4	Entzündbar, brandfördernd, explosionsgefährlich	311
10.3.5	Brandklassen und Löschmittel	315
10.4	Kenzeichnung, Transport, Lagerung von Gefahrstoffen	318
10.4.1	Etikettierung eines Chemikaliengebindes	318
10.4.2	Kenzeichnung von Druckgasbehältern und Rohrleitungen	319
10.4.3	Verwendung von Druckgasflaschen mit Druckminderventilen	322
10.4.4	Transport und Lagerung	322
10.5	Entsorgung von Gefahrstoffen	324
10.5.1	Umweltgefährliche Stoffe	324
10.5.2	Abfallkategorien	325
10.6	Betriebsanweisungen nach § 14 Gefahrstoffverordnung	326
10.6.1	Inhalte von Betriebsanweisungen	327
10.7	Kenndaten des Arbeitsschutzes	330
10.7.1	Arbeitsplatzgrenzwert	331
10.7.2	Risikobewertung bei krebserzeugenden Stoffen	333
10.7.3	Biologischer Grenzwert	335
10.7.4	Einhaltung von Grenzwerten, Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen	335
Aufgaben zu Kapitel 10		336

11	Reaktionskinetik	337
11.1	Reaktionsgeschwindigkeit	337
11.2	Einfluss der Konzentration auf die Reaktionsgeschwindigkeit	339
11.3	Reaktionsordnung	342
11.4	Einfluss der Temperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit	346
11.5	Katalyse	351
11.5.1	Wirkungsweise von Katalysatoren	352
11.5.2	Homogene Katalyse	352
11.5.3	Heterogene Katalyse	354
Aufgaben zu Kapitel 11		357

12	Chemisches Gleichgewicht	359
12.1	Massenwirkungsgesetz	359
12.2	Die Gleichgewichtskonstante K_c und ihre Bedeutung	363
12.3	Gasgleichgewichte und die Gleichgewichtskonstante K_p	365
12.4	Heterogene Gleichgewichte	366
12.5	Berechnung von Gleichgewichten	368
12.6	Verschiebung der Gleichgewichtslage	372
12.6.1	Änderung der Konzentration	372
12.6.2	Änderung des Drucks	374
12.6.3	Änderung der Temperatur	375
12.7	Lösungsgleichgewicht und Löslichkeitsprodukt	376
12.7.1	Löslichkeitsprodukt und Löslichkeit	377
12.7.2	Einflüsse auf das Lösungsgleichgewicht	380
12.7.3	Fällungsreaktionen	381
Aufgaben zu Kapitel 12		382

13	Säuren und Basen	383
13.1	Die <i>Brønsted-Lowry</i>-Theorie der Säuren und Basen	383
13.2	Autoprotolyse des Wassers und pH-Wert	386
13.3	Säurestärke	390
13.3.1	Säure- und Basenkonstanten	390
13.3.2	pH-Wert-Berechnungen starker und schwacher Säuren	392
13.3.3	Protolysegrad	394
13.3.4	Mehrprotonige Säuren	395
13.3.5	Schwache Basen	396
13.3.6	Säurestärke der Nichtmetallwasserstoffverbindungen	397
13.4	Protolysen von Salzen in Wasser	397
13.5	Pufferlösungen	399
13.6	Säuren und Basen nach <i>Lewis</i>	403
	Aufgaben zu Kapitel 13	403
14	Volumetrische und gravimetrische Analyse	405
14.1	Volumetrische Analyse	405
14.1.1	Äquivalenzpunkterkennung	406
14.1.2	Maßlösungen	409
14.1.3	Titrationstechniken	416
14.1.4	Säure-Base-Titration	417
14.1.5	Redoxtitration	424
14.1.6	Komplexometrische Titration	431
14.1.7	Fällungstitration	435
14.1.8	Spezielle Titrationsen	439
14.2	Gravimetrische Analyse	447
14.2.1	Gravimetrische Fällungsanalyse	447
14.2.2	Feuchtigkeits- und Trockengehalt, Glührückstand	450
14.2.3	Thermogravimetrie	451
14.2.4	Elektrogravimetrie	452
	Aufgaben zu Kapitel 14	453
15	Energie und Entropie	455
15.1	Die Natur der Energie	455
15.1.1	Kinetische Energie	455
15.1.2	Potentielle Energie	456
15.2	Innere Energie und Enthalpie	457
15.2.1	Innere Energie	458
15.2.2	Reaktionsenthalpie	458
15.2.3	Standardenthalpien	462
15.2.4	Enthalpien verschiedener Prozesse	464
15.3	Entropie und freie Enthalpie	466
15.3.1	Spontane Prozesse	466
15.3.2	Entropie	467
15.3.3	Freie Reaktionsenthalpie und Gesamtentropie	470
15.3.4	Freie Standardbildungsenthalpie	472
15.3.5	Temperaturabhängigkeit der freien Enthalpie	474
15.3.6	Freie Enthalpie und Gleichgewichtskonstanten	475
	Aufgaben zu Kapitel 15	476

16	Organische Chemie	477
16.1	Eigenschaften organischer Verbindungen	477
16.2	Formelschreibweise organischer Verbindungen	479
16.3	Struktur einer organischen Verbindung – Strukturisomerie	481
16.4	Derivate und funktionelle Gruppen	482
16.5	Alkane	482
16.5.1	Die homologe Reihe der Alkane	483
16.5.2	Strukturisomerie bei Alkanen	484
16.5.3	Systematische Benennung der Alkane	484
16.5.4	Physikalische Eigenschaften der Alkane	486
16.5.5	Chemisches Verhalten der Alkane	487
16.5.6	Methan	487
16.5.7	Ethan	487
16.6	Alkene und Alkine	489
16.6.1	Ethen	489
16.6.2	Die homologe Reihe der Alkene	491
16.6.3	Isomerie bei Alkenen	491
16.6.4	Systematische Benennung der Alkene	492
16.6.5	Mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe – Polyene	493
16.6.6	Ethin	493
16.6.7	Die homologe Reihe der Alkine	494
16.6.8	Systematische Benennung der Alkine	494
16.7	Cyclische Kohlenwasserstoffe	495
16.7.1	Alicyclische Kohlenwasserstoffe	495
16.8	Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe	497
16.8.1	Alkanole	497
16.8.2	Ether	498
16.8.3	Aldehyde und Ketone	498
16.8.4	Carbonsäuren	499
16.9	Amine	501
	Aufgaben zu Kapitel 16	502
17	Reaktionen organischer Präparate	503
17.1	Additionsreaktionen an C–C-Mehrfachbindungen	503
17.1.1	Struktur der Alkene	503
17.1.2	Reaktionen der Alkene	503
17.1.3	Reaktionen der Alkine	512
17.2	Reaktionen aromatischer Verbindungen	514
17.2.1	Struktur des Benzols und Aromatizität	514
17.2.2	Elektrophile aromatische Substitution und Folgereaktionen	516
17.2.3	Zweit- und Mehrfachsubstitution	523
17.2.4	Reaktionen von Diazoniumverbindungen	529
17.2.5	Nucleophile aromatische Substitution	532
17.3	Substitution und Eliminierung	533
17.3.1	Substitutionsreaktionen der Halogenalkane	534
17.3.2	Eliminierungsreaktionen der Halogenalkane	541
17.3.3	Substitutionsreaktionen der Alkohole	543
17.3.4	Eliminierungsreaktionen von Alkoholen	544
17.3.5	Oxidation von Alkoholen	545
17.3.6	Reaktionen der Amine	546
17.3.7	Reaktionen der Ether und Oxirane (Epoxide)	547
17.4	Carbonylverbindungen	549
17.4.1	Reaktionen der Carbonsäuren und deren Derivate	549
17.4.2	Reaktionen der Aldehyde und Ketone	557

17.5	Stereochemie organischer Stoffe	564
17.5.1	Asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatome	565
17.5.2	Optische Aktivität	566
17.5.3	Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren	567
17.6	Makromoleküle	569
17.6.1	Natürliche Makromoleküle	570
17.6.2	Synthetische Makromoleküle	571
17.6.3	Synthetisch veränderte Naturstoffe	576
Aufgaben zu Kapitel 17		578
18	Chromatografie	579
18.1	Physikalisch-chemische Grundlagen	579
18.2	Flüssigchromatografie in Säulen	582
18.3	Dünnschichtchromatografie (DC)	593
18.4	Gaschromatografie GC	599
18.4.1	Trärgase	599
18.4.2	Probenaufgabe	602
18.4.3	Injektionssysteme	604
18.4.4	Säulenofen und Säulen	606
18.4.5	Detektoren	612
18.4.6	Fehlersuche und Optimierung	617
18.5	Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatografie HPLC	619
18.5.1	Eluentenförderung	619
18.5.2	Injektionssystem	621
18.5.3	Säulen und Trennung	622
18.5.4	Detektion	626
18.5.5	Fehlersuche	628
18.6	Spezielle chromatografische Methoden	629
18.6.1	Ionenchromatografie	629
18.6.2	Elektrophorese	632
Aufgaben zu Kapitel 18		634
19	Spektroskopie und Spektrometrie	635
19.1	Definition von Spektroskopie und Spektrometrie	635
19.2	Elektromagnetische Strahlung	636
19.2.1	Typische Eigenschaften elektromagnetischer Strahlen	636
19.2.2	Unterschiedliche Eigenschaften elektromagnetischer Strahlen	637
19.3	Erzeugung elektromagnetischer Strahlung	639
19.3.1	Kontinuierliche Spektren	639
19.3.2	Linienpektren von Atomen und Ionen	641
19.3.3	Bandenspektren von Molekülen	643
19.4	Fotometrie	643
19.4.1	Aufbau und Funktion von Fotometern	643
19.4.2	Physikalische Vorgänge	645
19.4.3	Auswahl der Wellenlänge	645
19.4.4	Auswahl geeigneter Küvetten und Lösemittel	646
19.4.5	<i>Bouguer-Lambert-Beer-Gesetz</i>	647
19.4.6	Fotometrische Analyse	649
19.5	Atomabsorptionsspektrometrie	651
19.5.1	Phänomen der Atomabsorption	651
19.5.2	Allgemeiner Aufbau eines Atomabsorptionsspektrometers	653
19.5.3	Strahlungsquelle	654
19.5.4	Atomisator	656

19.5.5	Monochromator	661
19.5.6	Detektor	661
19.5.7	Charakteristische Konzentration und charakteristische Masse	662
19.5.8	Spektrale Interferenzen: Untergrund und Untergrundkompensation	663
19.5.9	Störungen durch Überlagerung von Absorptionslinien	668
19.5.10	Störungen durch thermisch stabile Analytverbindungen	668
19.5.11	Störungen durch Ionisation	669
19.5.12	Matrix-Modifier	670
19.6	Emissionsspektrometrie	671
19.6.1	Anregungsquellen in der Emissionsspektrometrie	672
19.6.2	Aerosolzerzeugung in der ICP-OES-Technik	676
19.6.3	Optiken der Emissionsspektrometrie	678
19.6.4	Plasmabetrachtung	680
19.6.5	Linienauswahl in der ICP-OES	682
19.6.6	Weitere Störungen in der ICP-OES-Technik und deren Beseitigung	683
19.6.7	Auswahl eines internen Standards für die ICP-OES	688
19.7	ICP-MS	689
19.7.1	Ionenbildung im Plasma	689
19.7.2	Ionentransfer vom Plasma in den Massenanalysator	690
19.7.3	Massenanalysator in der ICP-MS	690
19.7.4	Auswahl geeigneter Ionenmassen	692
19.7.5	Reduzierung polyatomarer Interferenzen bei ICP-MS	694
19.7.6	Problem von Salzfracht und Blindwerten bei ICP-MS	696
19.7.7	Interne Standards in der ICP-MS	697
19.8	Röntgenfluoreszenzanalyse	698
19.8.1	Erzeugung von Röntgenstrahlung	698
19.8.2	Röntgenlinien und deren vereinfachte Nomenklatur	699
19.8.3	Aufbau eines Röntgenfluoreszenzanalysators	700
19.8.4	Matrixeffekte bei der RFA	702
19.8.5	Probenvorbereitung	703
19.9	Refraktometrie	704
Aufgaben zu Kapitel 19		706
20	Strukturaufklärung	707
20.1	Historische Strukturaufklärung	707
20.2	Moderne Strukturaufklärung	708
20.3	Elementaranalyse zur Ermittlung der Verhältnisformel	709
20.3.1	Aufbau und Funktion moderner CHNS-O-Analysatoren	709
20.3.2	Bestimmung anderer Elemente mit der Elementaranalyse	710
20.3.3	Systematische Ermittlung der Verhältnisformel	710
20.3.4	Berechnung des Doppelbindungsäquivalents	713
20.4	Massenspektrometrie zur Strukturaufklärung	713
20.4.1	Ionenquelle	714
20.4.2	Massenanalysatoren	714
20.4.3	Detektoren in Massenspektrometern	718
20.4.4	Vakuum und mittlere freie Weglänge	718
20.4.5	Begriffe der Massenspektrometrie	719
20.4.6	Auflösung in der Massenspektrometrie	721
20.4.7	Bestimmung der Summenformel	722
20.4.8	Fragmentierungsregeln	729
20.5	Infrarot-Spektroskopie	736
20.5.1	Definition von Schwingungen	736
20.5.2	Harmonischer Oszillator	736
20.5.3	Anharmonischer Oszillator in der Quantenmechanik	737
20.5.4	Voraussetzung für die Absorption infraroter Strahlung	739

20.5.5	Aufbau und Funktion eines klassischen IR-Spektrometers	740
20.5.6	<i>Fourier</i> -Transformations-IR-Spektroskopie	740
20.5.7	Probenvorbereitung in der IR-Spektroskopie	742
20.5.8	Darstellung von IR-Spektren	743
20.5.9	Freiheitsgrade	743
20.5.10	Schwingungsarten	744
20.5.11	Charakteristische IR-Banden in der Strukturaufklärung	745
20.5.12	Interpretation von IR-Spektren	749
20.6	Raman-Spektroskopie	751
20.6.1	<i>Raman</i> -aktive Molekül-Schwingungen	751
20.6.2	Messung eines <i>Raman</i> -Spektrums	752
20.6.3	Physikalische Vorgänge bei der <i>Raman</i> -Streuung	753
20.7	Kernspinresonanzspektroskopie	754
20.7.1	Kernspin und magnetisches Moment	754
20.7.2	Orientierung im Magnetfeld	755
20.7.3	Besetzungsunterschied, Sättigung und Relaxation	755
20.7.4	NMR-Gerätetechnik	756
20.7.5	Lösemittel und Probenvorbereitung in der NMR-Spektroskopie	758
20.7.6	Abschirmung	758
20.7.7	Entschirmung	759
20.7.8	Nullpunkt der NMR-Skala	759
20.7.9	Definition der chemischen Verschiebung	759
20.7.10	¹ H-NMR-Spektrendarstellung	760
20.7.11	Chemische Verschiebung – induktive Effekte	760
20.7.12	Chemische Verschiebung – Anisotropie-Effekte	761
20.7.13	Absolute Signalintensität	763
20.7.14	Relative Signalintensität	763
20.7.15	Multiplizität	763
20.7.16	Spektren nullter, erster oder höherer Ordnung	766
20.7.17	Ableitung von Strukturinformationen mithilfe der Kopplungskonstanten	767
20.7.18	Kombination von Intensität, Verschiebung und Multiplizität	768
20.7.19	Breite Singulets in ¹ H-NMR-Spektren	769
20.7.20	H-D-Austauschexperiment	770
20.7.21	Vorgehen zur Interpretation eines ¹ H-NMR-Spektrums erster Ordnung	771
20.7.22	Klassische ¹³ C-NMR-Spektroskopie	772
20.7.23	¹ H-breitbandentkoppelte ¹³ C-NMR-Spektroskopie	773
20.7.24	Interpretation von ¹³ C-NMR-Spektren	773
20.7.25	DEPT-Spektren	775
20.7.26	2D-NMR-Technik	776
20.8	Kombinierte Strukturaufklärung	777
Aufgaben zu Kapitel 20		782

21 Grundchemikalien und Gebrauchsmetalle 783

21.1	Ammoniak	784
21.1.1	Eigenschaften von Ammoniakgas und Ammoniakwasser	784
21.1.2	Herstellung von Ammoniak nach dem <i>Haber-Bosch</i> -Verfahren	785
21.1.3	Ammoniumsalze	786
21.2	Salpetersäure	787
21.2.1	Eigenschaften von Salpetersäure	787
21.2.2	Herstellung von Salpetersäure nach dem <i>Ostwald</i> -Verfahren	788
21.3	Schwefelsäure	789
21.3.1	Eigenschaften von Schwefelsäure	789
21.3.2	Herstellung von Schwefelsäure nach dem Doppelkontakt-Verfahren	790

21.4	Salzsäure	792
21.4.1	Eigenschaften von Salzsäure	792
21.4.2	Herstellung von Salzsäure	793
21.5	Natronlauge	793
21.5.1	Eigenschaften von Natriumhydroxid und Natronlauge	794
21.6	Natriumcarbonat	795
21.7	Methanol	795
21.7.1	Eigenschaften des Methanols	795
21.7.2	Methanol-Synthese	796
21.8	Aluminium	797
21.8.1	Eigenschaften des Aluminiums	797
21.8.2	Herstellung von Aluminium	798
21.9	Eisen	798
21.9.1	Eigenschaften des Eisens	798
21.9.2	Herstellung und Umwandlung von Eisen	799
Aufgaben zu Kapitel 21		801
22	Elektrochemie	803
22.1	Elektrochemische Vorgänge	803
22.1.1	<i>Daniell</i> -Element	805
22.1.2	Elektrodenvorgänge	807
22.1.3	Standardpotentiale und Elektrochemische Spannungsreihe	808
22.1.4	Bezugselektroden	812
22.1.5	<i>Nernst</i> -Gleichung	814
22.2	Galvanische Elemente	817
22.2.1	Primärelemente	818
22.2.2	Sekundärelemente	819
22.2.3	Brennstoffzellen	820
22.3	Elektrolyse	821
22.3.1	Prinzipieller Ablauf	821
22.3.2	Abscheidungspotentiale und Zersetzungsspannung	822
22.3.3	<i>Faraday</i> -Gesetze	824
22.4	Großtechnische Anwendungen	827
22.4.1	Chlor-Alkali-Elektrolyse	827
22.4.2	Kupfer-Raffination	829
22.4.3	Aluminium-Darstellung	830
22.5	Korrosion	830
22.6	Elektrochemische Analyseverfahren	832
22.6.1	Konduktometrie	832
22.6.2	Potentiometrie	833
22.6.3	Amperometrie	836
22.6.4	Voltammetrie	838
22.6.5	Polarografie	840
22.6.6	Coulometrie	840
22.6.7	Elektrogravimetrie	841
Aufgaben zu Kapitel 22		842
A	Liste ausgewählter Gefahrstoffe	843
Sachwortverzeichnis		846
Bildquellenverzeichnis		878
Periodensysteme		879, 880

1 | STOFFE UND STOFFSYSTEME

Die Naturwissenschaften befassen sich mit dem systematischen Erforschen von Gesetzmäßigkeiten der Natur. Die Chemie gehört zu den Naturwissenschaften ebenso wie die Physik und die Biologie.

Biologie: Die Biologie ist die Wissenschaft vom Leben des Menschen, der Tiere, der Pflanzen und der Mikroorganismen.

Physik: Die Physik ist die Wissenschaft, die sich mit den grundlegenden Gesetzen der unbelebten Natur, ihren elementaren Bausteinen und deren Eigenschaften befasst. Physikalische Vorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass sich der Zustand eines Stoffes verändert, jedoch nicht seine Zusammensetzung.

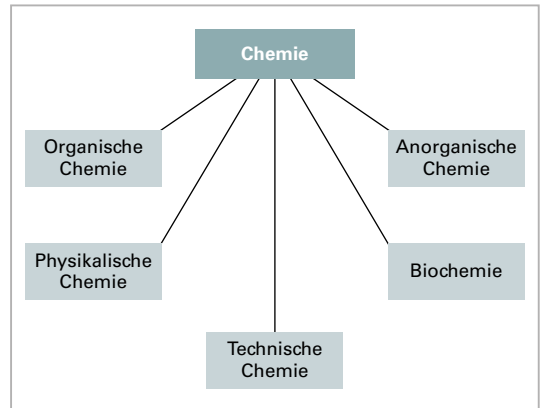


Bild 1: Gebiete der Chemie

Chemie: Die Chemie ist die Wissenschaft von den Stoffen. Chemische Vorgänge gehen immer mit einer Stoffumwandlung (chemische Reaktion) und damit einer Änderung der Zusammensetzung und der Eigenschaften eines Stoffes einher.

Im Besonderen geht es dabei um:

- ihre Eigenschaften,
- ihren Aufbau,
- ihre Umwandlung,
- ihre Zusammensetzung,
- ihre Herstellung,
- ihre Wechselwirkung mit anderen Stoffen.

Die Chemie lässt sich zur groben Differenzierung in folgende Hauptgebiete gliedern (Bild 1):

- Die **Organische Chemie** befasst sich mit der Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Durch die Kombinationsmöglichkeit des Kohlenstoffs mit fast allen Elementen ist die Anzahl der möglichen Verbindungen nahezu unbegrenzt.
- Die **Anorganische Chemie** befasst sich mit den chemischen Elementen und deren Verbindungen, ausgenommen ist dabei die Chemie der organischen Kohlenstoffverbindungen. Zu den anorganischen Kohlenstoffverbindungen zählen z. B. die Oxide des Kohlenstoffs Kohlenstoffmonoxid CO und Kohlenstoffdioxid CO₂, die Kohlensäure H₂CO₃ sowie ihre Salze, z. B. Natriumcarbonat Na₂CO₃.
- Die **Physikalische Chemie** befasst sich mit dem Grenzgebiet zwischen Chemie und Physik. Von Interesse sind hierbei z. B. die bei chemischen Reaktionen auftretenden physikalischen Erscheinungen sowie die Möglichkeiten, diese durch physikalische Methoden zu beeinflussen. Hierbei geht es beispielsweise um die Fragestellung, unter welchen Bedingungen und mit welcher Geschwindigkeit eine Reaktion abläuft.
- Die **Technische Chemie** befasst sich mit chemischen Prozessen im großtechnischen Maßstab. Sie hat zum Ziel, bestehende Produktionsverfahren zu verbessern und neue zu entwickeln. Chemische Reaktionen werden hier aus dem Labormaßstab in großtechnische Verfahren umgesetzt.
- Die **Biochemie** ist ein Grenzgebiet zwischen Chemie, Biologie und Medizin. Sie befasst sich mit den am Stoffwechsel und am Aufbau von Lebewesen beteiligten chemischen Verbindungen.

Chemie ist die Lehre von den Stoffen und deren Eigenschaften, Aufbau, Umwandlung, Zusammensetzung, Herstellung und Wechselwirkung mit anderen Stoffen.

Bei näherer Betrachtung begegnet uns Chemie überall. Viele der bekannten alltäglichen Erscheinungen beruhen auf einer chemischen Reaktion, z. B. Verbrennungsreaktionen oder das Rosten von Eisen. Aber auch unzählige für uns selbstverständliche Gegenstände und Verbrauchsstoffe, wie Kunststoffe oder Pharmazeutika, sind Produkte der chemischen Industrie. In der Industrie und in Hochschulen macht man sich dabei insbesondere die Erkenntnisse des 20. und 21. Jahrhunderts zunutze, um Stoffe mit neuen gewünschten Eigenschaften zu entwickeln und zu produzieren. Dabei finden ausgebildete Fachkräfte der Chemie zahlreiche Einsatzmöglichkeiten. Diese erstrecken sich über die Planung und Entwicklung neuer Stoffe, die Qualitätskontrolle im Waren-Eingang und -Ausgang, die Überwachung von Produktionsprozessen, die Umweltanalytik und vieles mehr.

Um in einem Labor der chemischen Industrie oder in einem Forschungslabor sicher arbeiten zu können, ist es notwendig, sich mit Stoffen und Stoffsystemen auszukennen. Detaillierte Kenntnisse werden benötigt über die Methoden, mit denen Stoffe umgesetzt (**Synthese**) und nach **Qualität** (Art) und **Quantität** (Menge) untersucht werden können (**Analyse**), einschließlich der dazu unter Umständen notwendigen Trennverfahren.

Was unter den Begriffen Stoff und Stoffsystem zu verstehen ist, soll dieses Kapitel klären. Weiterhin geht es um Stoffcharakteristika, die Eigenschaften von Stoffen.

1.1 Stoffe

Wir leben in einer materiellen Welt, d. h. wir selbst bestehen aus **Materie** und sind von ihr umgeben. Materie, im chemischen Zusammenhang als **Stoff** oder **Substanz** bezeichnet, ist auch vorhanden, wenn diese nicht direkt erfahrbar ist, z. B. als Gas oder im mikroskopisch kleinen Bereich. Ein abgegrenzter Bereich eines oder mehrerer Stoffe wird als **Stoffportion** bezeichnet (z. B. ein Löffel Kochsalz). Stoffe können in unterschiedlichen Aggregatzuständen auftreten, d. h. in Abhängigkeit von Temperatur und Druck sind sie fest, flüssig oder gasförmig. Stoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie:

- eine bestimmte Masse besitzen,
- einen bestimmten Raum einnehmen.

Jeder Stoff hat außerdem bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften, die wir zum Teil mit unseren Sinnen wahrnehmen können.

Physikalische Eigenschaften sind z. B. Masse, Volumen, Dichte, Schmelz- und Siedetemperatur (**Bild 1**). Diese Eigenschaften von Stoffen ermöglichen es, ein durch Mischen von zwei oder mehreren Stoffen entstandenes **Stoffgemisch** bzw. **Stoffsystem** durch einen **physikalischen Vorgang** voneinander zu trennen. Die jeweiligen Stoffeigenschaften der einzelnen Stoffe bleiben erhalten. Durch einen physikalischen Vorgang lassen sich nur die äußere Form eines Stoffes oder sein Aggregatzustand verändern.

Beispiele für physikalische Vorgänge sind:

- Zerkleinern: Mahlen eines Feststoffes, Zerstäuben einer Flüssigkeit usw.,
- Mischen: Verrühren von Feststoffen oder Flüssigkeiten,
- Destillieren: Auftrennung von Stoffen aufgrund ihrer unterschiedlichen Siedetemperatur.

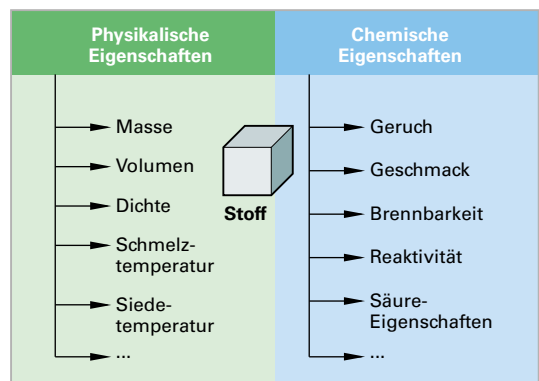


Bild 1: Physikalische und chemische Eigenschaften

Die **chemischen Eigenschaften** beschreiben die Zusammensetzung und Umwandlungsfähigkeit eines Stoffes, d. h. das Reaktionsverhalten gegenüber anderen Stoffen. Chemische Eigenschaften sind z. B. Geruch, Geschmack, Brennbarkeit, Korrosionsbeständigkeit oder Säure-Eigenschaft (Acidität).

Unter einem **Stoff** versteht man jede Art von Materie, die gekennzeichnet ist durch gleich bleibende charakteristische physikalische und chemische Eigenschaften, unabhängig von ihrer äußeren Gestalt.

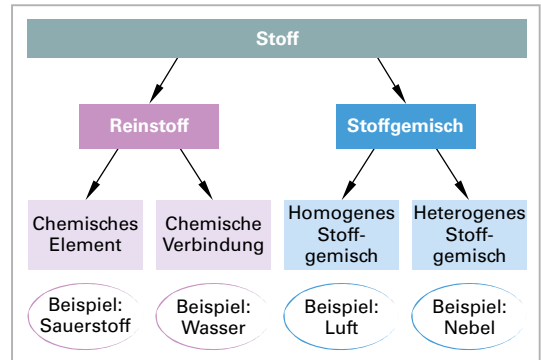


Bild 1: Unterteilung von Stoffen

Anhand der Darstellung in **Bild 1** wird die Unterteilung von Stoffen im Folgenden erläutert.

1.1.1 Chemische Elemente

Alle Stoffe bestehen aus chemischen Grundstoffen, den **chemischen Elementen**. Chemische Elemente zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch chemische Verfahren nicht weiter aufzutrennen sind. Die kleinsten Teilchen der Elemente sind die **Atome**. Alle Atome der verschiedenen Elemente wiederum bestehen aus den in **Tabelle 1** aufgeführten **Elementarteilchen** in unterschiedlicher Anzahl:

- **Protonen** (positiv geladen, Symbol p^+),
- **Neutronen** (neutral, Symbol n^0),
- **Elektronen** (negativ geladen, Symbol e^-).

Während sich die **Nukleonen** (Protonen und Neutronen) im Kern des Atoms befinden, sind die Elektronen in ständiger Bewegung und bilden eine Hülle um den Atomkern (**Bild 2**).

Atome mit der gleichen **Kernladungszahl**, d. h. mit der gleichen Anzahl Protonen, gehören zu einem Element.

Tabelle 1: Elementarteilchen

Teilchen	Symbol	Ort im Atom	Masse in kg	Ladung
Proton	p^+	Kern	$1,673 \cdot 10^{-27}$	+ 1
Neutron	n^0	Kern	$1,675 \cdot 10^{-27}$	± 0
Elektron	e^-	Hülle	$9,109 \cdot 10^{-31}$	- 1

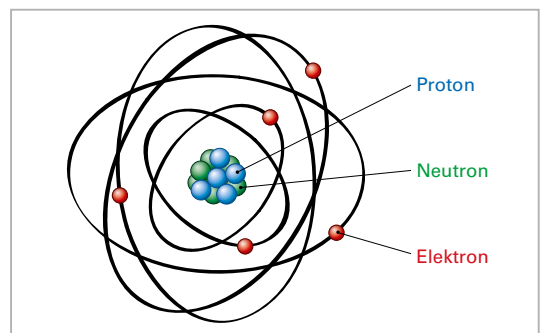


Bild 2: Schematisch dargestelltes Atom

Chemische Elemente sind Stoffe, die durch chemische Verfahren nicht weiter zerlegbar sind.

Die Atome eines Elements besitzen im Atomkern die gleiche Anzahl an Protonen. Sie haben die **gleiche Kernladungszahl**.

Die Anzahl der **Protonen** in einem Atomkern wird auch als die **Ordnungszahl OZ** eines Elements bezeichnet. Zusammen mit den **Neutronen** ergeben die Protonen die Masse eines Atoms, die **Massenzahl A** bzw. **Nukleonenzahl**. Die Masse der Elektronen ist vergleichsweise gering, so dass diese bei der Masse des Atoms zu vernachlässigen ist. Die Anzahl der Neutronen im Atomkern kann variieren, so dass die Masse der Atome eines Elements unterschiedlich sein kann. Die Atome eines Elements mit unterschiedlicher Massenzahl werden als **Isotope** eines Elements bezeichnet.

Massenzahl und Ordnungszahl können direkt am Symbol eines Elements angegeben werden. Beispielsweise ist das Symbol des Elements Kohlenstoff das C. Die Ordnungszahl wird meist unten links und die Massenzahl oben links angefügt (**Bild 1**). Ein Kohlenstoffatom mit der Massenzahl 12 und der Ordnungszahl 6 hat folgende Schreibweise: $^{12}_6\text{C}$. Es gibt noch zwei weitere Kohlenstoffisotope. Das Kohlenstoffisotop mit einem zusätzlichen Neutron ist das $^{13}_6\text{C}$, mit zwei zusätzlichen Neutronen das $^{14}_6\text{C}$.

Atomarten, die dieselbe Massenzahl und Ordnungszahl besitzen, bezeichnet man als **Nuklide**. Beispielsweise ist das Nuklid $^{12}_6\text{C}$ ein Isotop des Kohlenstoffs. Der Aufbau von Atomen wird im Kapitel 5 erläutert.

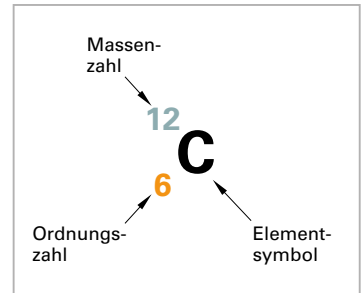


Bild 1: Das häufigste Kohlenstoffisotop $^{12}_6\text{C}$

Die **Ordnungszahl OZ** bzw. **Kernladungszahl** entspricht der Anzahl der Protonen im Kern.

Die **Massenzahl A** entspricht der Anzahl der **Protonen** und **Neutronen (Nukleonen)** im Kern.

Atome eines Elements mit der gleichen Ordnungszahl OZ und unterschiedlicher Massenzahl A werden als **Isotope** bezeichnet.

Atomarten mit der gleichen Ordnungszahl OZ und der gleichen Massenzahl A werden als **Nuklide** bezeichnet.

Jedes Atom besitzt eine Masse, die als absolute Masse oder als relative Masse angegeben werden kann. Die tatsächliche Masse einzelner Atome eines Nuklids wird als **absolute Atommasse** (Formelzeichen A) in Kilogramm oder **atomaren Masseneinheiten** (Einheit u) angegeben. Eine atomare Masseneinheit (1u) ist definiert als der zwölfte Teil der Masse eines Atoms des Nuklids $^{12}_6\text{C}$ und entspricht einer Masse von $1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg.

Die **relative Atommasse RAM**, mit dem Formelzeichen A_r (früher **Atomgewicht**), ist eine Vergleichsgröße und gibt das Verhältnis der Masse eines Nuklids im Vergleich zum Kohlenstoffisotop $^{12}_6\text{C}$ an, dessen relative Masse mit 12,000000 festgelegt wurde. Die relative Atommasse A_r ist ein Verhältniswert und besitzt deshalb keine Einheit. Da die absolute Atommasse A und die relative Atommasse A_r das Kohlenstoffnuklid als $^{12}_6\text{C}$ Bezugswert haben, sind beide Angaben in ihrem Wert gleich (s. Kap. 5.3.2, S. 147).

Elemente, bei denen keine Atome mit unterschiedlicher Anzahl von Neutronen im Kern vorkommen (Isotope), sind **Reinelemente**. Bestehen Elemente aus verschiedenen Isotopen, so spricht man von **Mischelementen**.

Derzeit sind mehr als 116 Elemente bekannt, von denen 92 natürlich vorkommen. Durch neu gefundene, künstlich erzeugte Elemente erhöht sich die Anzahl von Zeit zu Zeit. Alle künstlichen Elemente sind instabil und zerfallen unterschiedlich schnell in andere Elemente, manchmal in Bruchteilen einer Sekunde.

1869 wurden die damals bekannten chemischen Elemente von *Dmitri Iwanowitsch Mendelejew* (russischer Chemiker, 1834–1907) und *Julius Lothar Meyer* (deutscher Chemiker, 1830–1895) unabhängig voneinander im **Periodensystem der Elemente PSE** zusammengefasst (s. S. 879, S. 880 und im Umschlag hinten). Dabei sortierten sie die Elemente zeilenweise nach periodisch wiederkehrenden Eigenschaften, den **Perioden**, wobei die Elemente mit ähnlichen Eigenschaften untereinander in einer Spalte, den **Gruppen**, stehen. Die Anordnung der Elemente erfolgt jedoch heute nicht nur nach den Eigenschaften, sondern nach der Anzahl der Protonen, der Ordnungszahl OZ. Die Erläuterung zum Aufbau des PSE erfolgt in Kapitel 5, S. 135.

Die chemischen Elemente unterscheidet man ihren Eigenschaften nach in:

- **Nichtmetalle:** wie die Edelgase Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon, Radon, die Halogene Fluor, Chlor, Brom, Iod und die Elemente Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Phosphor, Kohlenstoff, Wasserstoff.
- **Halbmetalle:** Bor, Silicium, Germanium, Arsen, Antimon, Selen, Tellur.
- **Metalle:** alle anderen Elemente.

Unter **Normbedingungen**, d. h. bei einer Temperatur von 273,15 K (0 °C) und einem Druck von 1013,25 hPa, sind:

- 11 Elemente Gase (z. B. Chlor, Fluor, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Edelgase),
- 2 Elemente Flüssigkeiten (Brom, Quecksilber),
- alle anderen Elemente Feststoffe.

Die **chemischen Elemente** werden nach ihren Eigenschaften eingeteilt in **Nichtmetalle, Halbmetalle** und **Metalle**.

Bei **Normbedingungen**, einer Temperatur von 273,15 K (0 °C) und einem Druck von 1013 hPa, sind 11 Elemente Gase, 2 Elemente Flüssigkeiten und alle anderen Elemente Feststoffe.

Tabelle 1: Häufigkeit der Elemente in der Erdkruste

Elementname	Symbol	w in %
Sauerstoff	O	49,2
Silicium	Si	25,7
Aluminium	Al	7,5
Eisen	Fe	4,7
Calcium	Ca	3,4
Natrium	Na	2,6
Kalium	K	2,4
Magnesium	Mg	1,9
Wasserstoff	H	0,9
Titan	Ti	0,6
Chlor	Cl	0,2
Phosphor	P	0,1
Mangan	Mn	0,1
Kohlenstoff	C	0,09
Rest		0,61

Betrachtet man die Elemente nach dem Anteil ihrer Masse an der Gesamtmasse w ihres Vorkommens in der Erdkruste (Schichtdicke 16 km), den Weltmeeren und der Atmosphäre, so sind die fünf häufigsten Elemente an etwa 91 %, die zwölf häufigsten sogar an fast 99,5 % der Gesamtmasse der Elemente und Verbindungen beteiligt (**Tabelle 1**).

Nachdem die ersten Elemente entdeckt und beschrieben wurden, war es notwendig, diese sinnvoll zu benennen. Anfangs geschah dies willkürlich. So haben viele Namen einen mythologischen Ursprung, z. B. Cer, Niob, Tantal. Andere wiederum wurden nach dem Entdeckungsland benannt, z. B. Gallium und Germanium. Meistens jedoch haben die Namen ihren Ursprung in einem griechischen oder lateinischen Wort, das eine wesentliche Eigenschaft des Stoffes beschreibt, z. B. Brom von griech. *bromos*: der Gestank. Viele dieser Namen sind durch landessprachliche Begriffe ersetzt worden, z. B. Kohlenstoff für *Carboneum* (lat.: Kohle), Silicium für *silex* (lat.: Kieselstein) oder Phosphor für *phosphorus* (griech.: Lichtträger).

1813 wurde vom schwedischen Chemiker *Jöns Jacob Berzelius* (1779–1848) eine **einheitliche Symbolik zur Kennzeichnung der Elemente** vorgeschlagen. Dazu wurden alle Elemente mit ihrem Anfangsbuchstaben gekennzeichnet. Bei gleichen Anfangsbuchstaben kommt ein zweiter Buchstabe des Namens dazu, der nicht immer der zweite Buchstabe des Wortes sein muss. Durch die Variationen der ursprünglichen Namen mit landessprachlichen Begriffen entsprechen diese Abkürzungen nicht immer den Anfangsbuchstaben der deutschen Begriffe. So hat Sauerstoff das Symbol O (Oxygenium) und Stickstoff das Symbol N (Nitrogenium). Natrium hingegen ist mit Na abgekürzt und Neon mit Ne.

Werden heutzutage neue Elemente entdeckt, erfolgen die Festlegung der Symbole sowie die Bestätigung der Benennung, die oft nach den Namen bekannter Wissenschaftler erfolgt, durch die **Internationale Vereinigung für Reine und Angewandte Chemie IUPAC** (*International Union of Pure and Applied Chemistry*).

Die allermeisten Elemente liegen in der Natur jedoch nicht in elementarer Form vor, sondern in Verbindung mit anderen Elementen, den chemischen Verbindungen.

1.1.2 Chemische Verbindungen

Nur die wenigsten Atomarten sind reaktionsträge und bleiben dauerhaft unverändert. Die Atome der meisten Elemente haben die Eigenschaft, sich mit anderen Atomen zu verbinden.

Chemische Verbindungen entstehen, wenn sich zwei oder mehrere ungleichartige Elemente miteinander verbinden. Stoffe aus Atomen gleicher Elemente gelten nicht als chemische Verbindungen, sondern als chemisches Element. Dazu zählt z. B. Sauerstoff, bei dem sich zwei Sauerstoff-Atome O zu einem Sauerstoff-Molekül O_2 bzw. drei Sauerstoff-Atome zu einem Sauerstoff-Molekül O_3 (Ozon) verbinden. Gleiches gilt beispielsweise für Fluor F_2 , Stickstoff N_2 und Phosphor P_4 . Für solche Moleküle aus gleichartigen Atomen wird der Begriff des **Elementmoleküls** verwendet. Die geschätzte Anzahl aller bekannten chemischen Verbindungen liegt insgesamt bei über 100 Millionen.

Chemische Verbindungen sind aus mindestens zwei unterschiedlichen Atomsorten zusammengesetzt.

Unterscheiden lassen sich chemische Verbindungen in:

- **Molekulare Verbindungen** (Moleküle). Sie sind meist elektrische Nichtleiter und häufig flüchtig.
- **Salzartige Verbindungen**. Sie sind spröde sowie in Lösung oder Schmelze elektrisch leitend.
- **Intermetallische Verbindungen**. Sie sind glänzend, elektrische Leiter und verformbar.

Eine **chemische Reaktion** ist ein Vorgang, bei dem neue Stoffe entstehen. Dabei kann eine chemische Verbindung gebildet oder zerlegt werden. Bei der Reaktion gehen die Eigenschaften der eingesetzten Stoffe verloren und es entstehen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften.

Ein Beispiel ist die Reaktion von Natrium Na mit Chlor Cl_2 zu Natriumchlorid NaCl (Kochsalz). Bei dieser Reaktion entsteht aus den Stoffen Natrium und Chlor der neue Stoff Natriumchlorid (**Bild 1**).

Außerdem finden bei chemischen Reaktionen immer physikalische Vorgänge statt, d. h. Energie wird in Form von Wärme abgegeben oder aufgenommen. Auch die Aggregatzustände (gasförmig, flüssig oder fest) der an der Reaktion beteiligten Stoffe können sich ändern. Ausgangsstoffe werden **Edukte** bzw. **Reaktanden** genannt, der neue Stoff ist das **Produkt** bzw. **Reaktionsprodukt**.

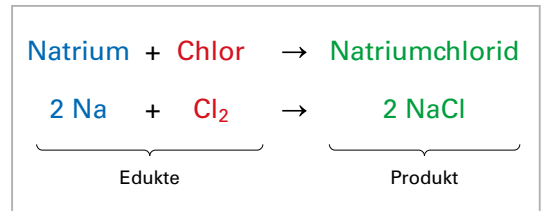


Bild 1: Beispiel für eine chemische Reaktion

Bei einer **chemischen Reaktion** verlieren einzelne beteiligte Stoffe ihre Eigenschaften. Es entstehen andere Stoffe mit anderen Eigenschaften.

Entsprechend zu den auf S. 18 erläuterten relativen Atommassen A_r ergibt sich die **relative Molekülmasse** M_r durch Addition der an einer chemischen Verbindung beteiligten Atome in entsprechender Anzahl. Beispielsweise ist die relative Molekülmasse von Natriumchlorid NaCl gleich der Summe der relativen Atommassen von Natrium $A_r(\text{Na}) = 22,990$ und Chlor $A_r(\text{Cl}) = 35,453$, also 58,443.

Die Reaktion von Kohlenstoff und Sauerstoff kann zu unterschiedlichen Verbindungen führen, zu Kohlenstoffmonoxid CO oder Kohlenstoffdioxid CO_2 . An diesem Beispiel wird deutlich, dass in Verbindungen die gleichen Atome in unterschiedlichen **stöchiometrischen Verhältnissen** vorkommen können. Unter **Stöchiometrie** versteht man die Lehre von der Zusammensetzung chemischer Verbindungen sowie den Stoffverhältnissen bei chemischen Reaktionen (s. Kap. 8, S. 231).