



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. Biologielaoranten	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](http://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](http://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-**, **<sup>1</sup>H-NMR-** und **<sup>13</sup>C-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 Sachwortverzeichnisses** 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](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)) dankbar entgegengenommen.

<b>1</b>	<b>Stoffe und Stoffsysteme</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Stoffe</b>	<b>16</b>
1.1.1	Chemische Elemente	17
1.1.2	Chemische Verbindungen	20
<b>1.2</b>	<b>Reinstoffe</b>	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>Stoffgemische</b>	<b>21</b>
1.3.1	Homogene Gemische	21
1.3.2	Heterogene Gemische	22
<b>1.4</b>	<b>Aggregatzustände</b>	<b>23</b>
1.4.1	Gasförmiger Zustand	23
1.4.2	Flüssiger Zustand	24
1.4.3	Fester Zustand	24
1.4.4	Weitere Zustandsformen	25
<b>1.5</b>	<b>Physikalisch messbare Stoffgrößen</b>	<b>26</b>
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 $\rho$	41
1.5.8	Stoffmenge $n$	49
<b>1.6</b>	<b>Stoffeigenschaften</b>	<b>50</b>
1.6.1	Schmelztemperatur	50
1.6.2	Siedetemperatur	52
1.6.3	Löslichkeit $L^*$	53
1.6.4	Viskosität $\eta$	53
1.6.5	Oberflächenspannung $\sigma$	56
1.6.6	Werkstoffe im Labor	56
	<b>Aufgaben zu Kapitel 1</b>	<b>58</b>
<b>2</b>	<b>Stofftrennverfahren</b>	<b>59</b>
<b>2.1</b>	<b>Sortieren und Klassieren</b>	<b>61</b>
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
<b>2.2</b>	<b>Sedimentieren und Dekantieren</b>	<b>65</b>
<b>2.3</b>	<b>Zentrifugieren</b>	<b>66</b>
<b>2.4</b>	<b>Filtrieren</b>	<b>67</b>
<b>2.5</b>	<b>Extrahieren</b>	<b>69</b>
2.5.1	Fest-Flüssig-Extraktion	70
2.5.2	Flüssig-Flüssig-Extraktion	71
<b>2.6</b>	<b>Absorbieren, Adsorbieren, Desorbieren</b>	<b>75</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 2</b>	<b>76</b>
<b>3</b>	<b>Thermische Trennverfahren</b>	<b>77</b>
<b>3.1</b>	<b>Abdampfen und Eindampfen</b>	<b>77</b>
<b>3.2</b>	<b>Destillation</b>	<b>77</b>
<b>3.3</b>	<b>Aufbau einer Destillationsanlage</b>	<b>78</b>
3.3.1	Bauteile der Destillationsanlage	78

3.3.2	Vorrichtungen zum Heizen .....	79
3.3.3	Vorrichtungen zum Kühlen .....	79
<b>3.4</b>	<b>Fraktionierte Destillation .....</b>	<b>80</b>
3.4.1	Zeitlicher Temperaturverlauf .....	80
3.4.2	Aufbau einer Apparatur zur fraktionierten Destillation .....	81
<b>3.5</b>	<b>Siedediagramme .....</b>	<b>81</b>
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
<b>3.6</b>	<b>Rektifikation .....</b>	<b>93</b>
3.6.1	Kolonnetypen .....	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
<b>3.7</b>	<b>Spezielle thermische Trennverfahren .....</b>	<b>103</b>
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
<b>Aufgaben zu Kapitel 3 .....</b>		<b>111</b>
<b>4 Reinigen von Stoffen .....</b>		<b>113</b>
<b>4.1</b>	<b>Trocknen von Stoffen .....</b>	<b>113</b>
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
<b>4.2</b>	<b>Entsalzen und Enthärten .....</b>	<b>121</b>
4.2.1	Methoden zur Entsalzung .....	123
4.2.2	Methoden zur Enthärtung .....	127
<b>4.3</b>	<b>Umkristallisation und Umfällen .....</b>	<b>128</b>
4.3.1	Umkristallisation .....	128
4.3.2	Umfällen .....	130
<b>4.4</b>	<b>Sublimation .....</b>	<b>130</b>
<b>4.5</b>	<b>Reinheits- und Qualitätsangaben von Stoffen .....</b>	<b>133</b>
<b>Aufgaben zu Kapitel 4 .....</b>		<b>134</b>
<b>5 Atombau und Periodensystem .....</b>		<b>135</b>
<b>5.1</b>	<b>Wichtige Atommodelle .....</b>	<b>135</b>
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
<b>5.2</b>	<b>Quantenzahlen und Orbitale .....</b>	<b>141</b>
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
<b>5.3</b>	<b>Periodensystem der Elemente</b> .....	<b>145</b>
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
<b>Aufgaben zu Kapitel 5</b> .....		<b>160</b>

**6 Chemische Bindung** ..... **161**

<b>6.1</b>	<b>Ionenbindung</b> .....	<b>162</b>
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
<b>6.2</b>	<b>Atombindung</b> .....	<b>168</b>
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
<b>6.3</b>	<b>Zwischenmolekulare Kräfte</b> .....	<b>188</b>
6.3.1	Wasserstoffbrücken .....	190
6.3.2	Dipol-Kräfte .....	193
6.3.3	<i>Van-der-Waals</i> -Kräfte .....	198
<b>6.4</b>	<b>Metallbindung</b> .....	<b>201</b>
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
<b>6.5</b>	<b>Koordinative Verbindungen</b> .....	<b>210</b>
6.5.1	Metallkomplexe .....	210
6.5.2	Formeldarstellung und Nomenklatur komplexer Verbindungen .....	212
6.5.3	Chelatkomplexe .....	214
6.5.4	Ligandenaustausch .....	215
<b>Aufgaben zu Kapitel 6</b> .....		<b>216</b>

**7 Chemische Reaktionen** ..... **217**

<b>7.1</b>	<b>Reaktionsgleichungen</b> .....	<b>217</b>
7.1.1	Bedeutung von Reaktionsgleichungen .....	218
7.1.2	Reaktionsschema .....	219
<b>7.2</b>	<b>Aufstellen einer Reaktionsgleichung</b> .....	<b>220</b>
<b>7.3</b>	<b>Redox-Reaktion – Reduktion und Oxidation</b> .....	<b>222</b>
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
<b>Aufgaben zu Kapitel 7</b>		<b>230</b>

## **8 Quantitative Aussagen von Reaktionsgleichungen** ..... 231

<b>8.1</b>	<b>Chemische Grundgesetze</b>	<b>231</b>
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
<b>8.2</b>	<b>Stöchiometrische Größen</b>	<b>239</b>
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
<b>8.3</b>	<b>Stöchiometrische Berechnungen</b>	<b>257</b>
8.3.1	Umsatz	257
8.3.2	Ausbeute	259
8.3.3	Selektivität	261
<b>Aufgaben zu Kapitel 8</b>		<b>264</b>

## **9 Lösungen und Gehaltsangaben** ..... 265

<b>9.1</b>	<b>Lösungen</b>	<b>265</b>
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
<b>9.2</b>	<b>Eigenschaften von Lösungen</b>	<b>271</b>
9.2.1	Siedetemperaturerhöhung	271
9.2.2	Schmelztemperaturerniedrigung	272
<b>9.3</b>	<b>Gehaltsangaben</b>	<b>272</b>
9.3.1	Anteilsangaben	273
9.3.2	Konzentrationsangaben	276
9.3.3	Verhältnisangaben	280
9.3.4	Umrechnung von Gehaltsgrößen	281
<b>9.4</b>	<b>Lösungen bestimmter Konzentration</b>	<b>282</b>
9.4.1	Rechnen mit der Mischungsgleichung	282
9.4.2	Rechnen mit dem Mischungskreuz	284
9.4.3	Verdünnen von Lösungen	285
<b>Aufgaben zu Kapitel 9</b>		<b>288</b>

## **10 Gefahrstoffe und Arbeitsschutz** ..... 289

<b>10.1</b>	<b>Sicherheitsstandards im Labor</b>	<b>290</b>
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
<b>10.2</b>	<b>Umgang mit Gefahrstoffen</b>	<b>299</b>
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
<b>10.3</b>	<b>Gefährdungen durch Gefahrstoffe und Schutzmaßnahmen</b>	<b>306</b>
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
<b>10.4</b>	<b>Kenzeichnung, Transport, Lagerung von Gefahrstoffen</b>	<b>318</b>
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
<b>10.5</b>	<b>Entsorgung von Gefahrstoffen</b>	<b>324</b>
10.5.1	Umweltgefährliche Stoffe	324
10.5.2	Abfallkategorien	325
<b>10.6</b>	<b>Betriebsanweisungen nach § 14 Gefahrstoffverordnung</b>	<b>326</b>
10.6.1	Inhalte von Betriebsanweisungen	327
<b>10.7</b>	<b>Kenndaten des Arbeitsschutzes</b>	<b>330</b>
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
<b>Aufgaben zu Kapitel 10</b>		<b>336</b>

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

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



<b>13</b>	<b>Säuren und Basen</b>	<b>383</b>
<b>13.1</b>	<b>Die <i>Brønsted-Lowry</i>-Theorie der Säuren und Basen</b>	<b>383</b>
<b>13.2</b>	<b>Autoprotolyse des Wassers und pH-Wert</b>	<b>386</b>
<b>13.3</b>	<b>Säurestärke</b>	<b>390</b>
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
<b>13.4</b>	<b>Protolysen von Salzen in Wasser</b>	<b>397</b>
<b>13.5</b>	<b>Pufferlösungen</b>	<b>399</b>
<b>13.6</b>	<b>Säuren und Basen nach <i>Lewis</i></b>	<b>403</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 13</b>	<b>403</b>
<b>14</b>	<b>Volumetrische und gravimetrische Analyse</b>	<b>405</b>
<b>14.1</b>	<b>Volumetrische Analyse</b>	<b>405</b>
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
<b>14.2</b>	<b>Gravimetrische Analyse</b>	<b>447</b>
14.2.1	Gravimetrische Fällungsanalyse	447
14.2.2	Feuchtigkeits- und Trockengehalt, Glührückstand	450
14.2.3	Thermogravimetrie	451
14.2.4	Elektrogravimetrie	452
	<b>Aufgaben zu Kapitel 14</b>	<b>453</b>
<b>15</b>	<b>Energie und Entropie</b>	<b>455</b>
<b>15.1</b>	<b>Die Natur der Energie</b>	<b>455</b>
15.1.1	Kinetische Energie	455
15.1.2	Potentielle Energie	456
<b>15.2</b>	<b>Innere Energie und Enthalpie</b>	<b>457</b>
15.2.1	Innere Energie	458
15.2.2	Reaktionsenthalpie	458
15.2.3	Standardenthalpien	462
15.2.4	Enthalpien verschiedener Prozesse	464
<b>15.3</b>	<b>Entropie und freie Enthalpie</b>	<b>466</b>
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
	<b>Aufgaben zu Kapitel 15</b>	<b>476</b>

<b>16</b>	<b>Organische Chemie</b> .....	<b>477</b>
<b>16.1</b>	<b>Eigenschaften organischer Verbindungen</b> .....	<b>477</b>
<b>16.2</b>	<b>Formelschreibweise organischer Verbindungen</b> .....	<b>479</b>
<b>16.3</b>	<b>Struktur einer organischen Verbindung – Strukturisomerie</b> .....	<b>481</b>
<b>16.4</b>	<b>Derivate und funktionelle Gruppen</b> .....	<b>482</b>
<b>16.5</b>	<b>Alkane</b> .....	<b>482</b>
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
<b>16.6</b>	<b>Alkene und Alkine</b> .....	<b>489</b>
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
<b>16.7</b>	<b>Cyclische Kohlenwasserstoffe</b> .....	<b>495</b>
16.7.1	Alicyclische Kohlenwasserstoffe .....	495
<b>16.8</b>	<b>Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe</b> .....	<b>497</b>
16.8.1	Alkanole .....	497
16.8.2	Ether .....	498
16.8.3	Aldehyde und Ketone .....	498
16.8.4	Carbonsäuren .....	499
<b>16.9</b>	<b>Amine</b> .....	<b>501</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 16</b> .....	<b>502</b>
<b>17</b>	<b>Reaktionen organischer Präparate</b> .....	<b>503</b>
<b>17.1</b>	<b>Additionsreaktionen an C–C-Mehrfachbindungen</b> .....	<b>503</b>
17.1.1	Struktur der Alkene .....	503
17.1.2	Reaktionen der Alkene .....	503
17.1.3	Reaktionen der Alkine .....	512
<b>17.2</b>	<b>Reaktionen aromatischer Verbindungen</b> .....	<b>514</b>
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
<b>17.3</b>	<b>Substitution und Eliminierung</b> .....	<b>533</b>
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
<b>17.4</b>	<b>Carbonylverbindungen</b> .....	<b>549</b>
17.4.1	Reaktionen der Carbonsäuren und deren Derivate .....	549
17.4.2	Reaktionen der Aldehyde und Ketone .....	557

<b>17.5</b>	<b>Stereochemie organischer Stoffe</b> .....	<b>564</b>
17.5.1	Asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatome .....	565
17.5.2	Optische Aktivität .....	566
17.5.3	Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren .....	567
<b>17.6</b>	<b>Makromoleküle</b> .....	<b>569</b>
17.6.1	Natürliche Makromoleküle .....	570
17.6.2	Synthetische Makromoleküle .....	571
17.6.3	Synthetisch veränderte Naturstoffe .....	576
<b>Aufgaben zu Kapitel 17</b> .....		<b>578</b>
<hr/>		
<b>18</b>	<b>Chromatografie</b> .....	<b>579</b>
<b>18.1</b>	<b>Physikalisch-chemische Grundlagen</b> .....	<b>579</b>
<b>18.2</b>	<b>Flüssigchromatografie in Säulen</b> .....	<b>582</b>
<b>18.3</b>	<b>Dünnschichtchromatografie (DC)</b> .....	<b>593</b>
<b>18.4</b>	<b>Gaschromatografie GC</b> .....	<b>599</b>
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
<b>18.5</b>	<b>Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatografie HPLC</b> .....	<b>619</b>
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
<b>18.6</b>	<b>Spezielle chromatografische Methoden</b> .....	<b>629</b>
18.6.1	Ionenchromatografie .....	629
18.6.2	Elektrophorese .....	632
<b>Aufgaben zu Kapitel 18</b> .....		<b>634</b>
<hr/>		
<b>19</b>	<b>Spektroskopie und Spektrometrie</b> .....	<b>635</b>
<b>19.1</b>	<b>Definition von Spektroskopie und Spektrometrie</b> .....	<b>635</b>
<b>19.2</b>	<b>Elektromagnetische Strahlung</b> .....	<b>636</b>
19.2.1	Typische Eigenschaften elektromagnetischer Strahlen .....	636
19.2.2	Unterschiedliche Eigenschaften elektromagnetischer Strahlen .....	637
<b>19.3</b>	<b>Erzeugung elektromagnetischer Strahlung</b> .....	<b>639</b>
19.3.1	Kontinuierliche Spektren .....	639
19.3.2	Linienpektren von Atomen und Ionen .....	641
19.3.3	Bandenspektren von Molekülen .....	643
<b>19.4</b>	<b>Fotometrie</b> .....	<b>643</b>
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</i> -Gesetz .....	647
19.4.6	Fotometrische Analyse .....	649
<b>19.5</b>	<b>Atomabsorptionsspektrometrie</b> .....	<b>651</b>
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
<b>19.6</b>	<b>Emissionsspektrometrie .....</b>	<b>671</b>
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
<b>19.7</b>	<b>ICP-MS .....</b>	<b>689</b>
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
<b>19.8</b>	<b>Röntgenfluoreszenzanalyse .....</b>	<b>698</b>
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
<b>19.9</b>	<b>Refraktometrie .....</b>	<b>704</b>
<b>Aufgaben zu Kapitel 19 .....</b>		<b>706</b>
<b>20</b>	<b>Strukturaufklärung .....</b>	<b>707</b>
<b>20.1</b>	<b>Historische Strukturaufklärung .....</b>	<b>707</b>
<b>20.2</b>	<b>Moderne Strukturaufklärung .....</b>	<b>708</b>
<b>20.3</b>	<b>Elementaranalyse zur Ermittlung der Verhältnisformel .....</b>	<b>709</b>
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
<b>20.4</b>	<b>Massenspektrometrie zur Strukturaufklärung .....</b>	<b>713</b>
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
<b>20.5</b>	<b>Infrarot-Spektroskopie .....</b>	<b>736</b>
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
<b>20.6</b>	<b>Raman-Spektroskopie</b>	<b>751</b>
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
<b>20.7</b>	<b>Kernspinresonanzspektroskopie</b>	<b>754</b>
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	<sup>1</sup> 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 <sup>1</sup> H-NMR-Spektren	769
20.7.20	H-D-Austauschexperiment	770
20.7.21	Vorgehen zur Interpretation eines <sup>1</sup> H-NMR-Spektrums erster Ordnung	771
20.7.22	Klassische <sup>13</sup> C-NMR-Spektroskopie	772
20.7.23	<sup>1</sup> H-breitbandentkoppelte <sup>13</sup> C-NMR-Spektroskopie	773
20.7.24	Interpretation von <sup>13</sup> C-NMR-Spektren	773
20.7.25	DEPT-Spektren	775
20.7.26	2D-NMR-Technik	776
<b>20.8</b>	<b>Kombinierte Strukturaufklärung</b>	<b>777</b>
<b>Aufgaben zu Kapitel 20</b>		<b>782</b>

## 21 Grundchemikalien und Gebrauchsmetalle 783

<b>21.1</b>	<b>Ammoniak</b>	<b>784</b>
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
<b>21.2</b>	<b>Salpetersäure</b>	<b>787</b>
21.2.1	Eigenschaften von Salpetersäure	787
21.2.2	Herstellung von Salpetersäure nach dem <i>Ostwald</i> -Verfahren	788
<b>21.3</b>	<b>Schwefelsäure</b>	<b>789</b>
21.3.1	Eigenschaften von Schwefelsäure	789
21.3.2	Herstellung von Schwefelsäure nach dem Doppelkontakt-Verfahren	790

<b>21.4</b>	<b>Salzsäure</b> .....	<b>792</b>
21.4.1	Eigenschaften von Salzsäure .....	792
21.4.2	Herstellung von Salzsäure .....	793
<b>21.5</b>	<b>Natronlauge</b> .....	<b>793</b>
21.5.1	Eigenschaften von Natriumhydroxid und Natronlauge .....	794
<b>21.6</b>	<b>Natriumcarbonat</b> .....	<b>795</b>
<b>21.7</b>	<b>Methanol</b> .....	<b>795</b>
21.7.1	Eigenschaften des Methanols .....	795
21.7.2	Methanol-Synthese .....	796
<b>21.8</b>	<b>Aluminium</b> .....	<b>797</b>
21.8.1	Eigenschaften des Aluminiums .....	797
21.8.2	Herstellung von Aluminium .....	798
<b>21.9</b>	<b>Eisen</b> .....	<b>798</b>
21.9.1	Eigenschaften des Eisens .....	798
21.9.2	Herstellung und Umwandlung von Eisen .....	799
<b>Aufgaben zu Kapitel 21</b> .....		<b>801</b>
<b>22</b>	<b>Elektrochemie</b> .....	<b>803</b>
<b>22.1</b>	<b>Elektrochemische Vorgänge</b> .....	<b>803</b>
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
<b>22.2</b>	<b>Galvanische Elemente</b> .....	<b>817</b>
22.2.1	Primärelemente .....	818
22.2.2	Sekundärelemente .....	819
22.2.3	Brennstoffzellen .....	820
<b>22.3</b>	<b>Elektrolyse</b> .....	<b>821</b>
22.3.1	Prinzipieller Ablauf .....	821
22.3.2	Abscheidungspotentiale und Zersetzungsspannung .....	822
22.3.3	<i>Faraday</i> -Gesetze .....	824
<b>22.4</b>	<b>Großtechnische Anwendungen</b> .....	<b>827</b>
22.4.1	Chlor-Alkali-Elektrolyse .....	827
22.4.2	Kupfer-Raffination .....	829
22.4.3	Aluminium-Darstellung .....	830
<b>22.5</b>	<b>Korrosion</b> .....	<b>830</b>
<b>22.6</b>	<b>Elektrochemische Analyseverfahren</b> .....	<b>832</b>
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
<b>Aufgaben zu Kapitel 22</b> .....		<b>842</b>
<b>A</b>	<b>Liste ausgewählter Gefahrstoffe</b> .....	<b>843</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....		<b>846</b>
<b>Bildquellenverzeichnis</b> .....		<b>878</b>
<b>Periodensysteme</b> .....		<b>879, 880</b>

# 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.

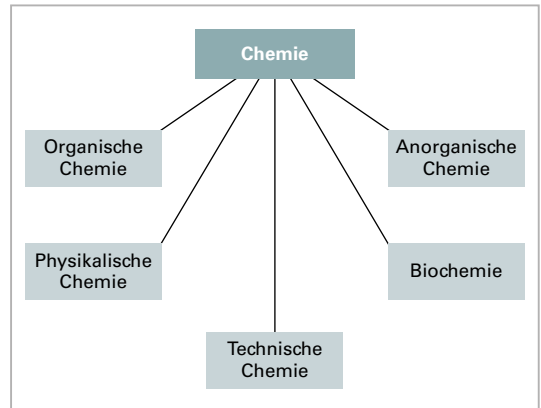


Bild 1: Gebiete der Chemie

**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 CO<sub>2</sub>, die Kohlensäure H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sowie ihre Salze, z. B. Natriumcarbonat Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.
- 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.

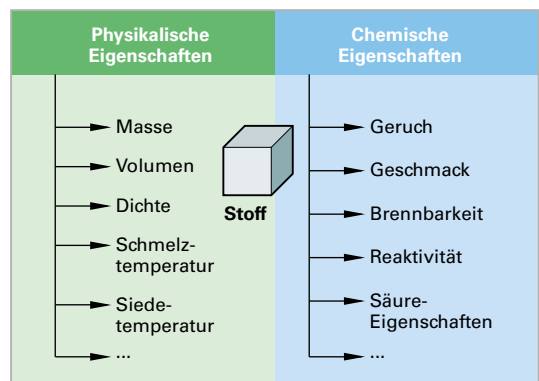


Bild 1: Physikalische und chemische Eigenschaften



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.

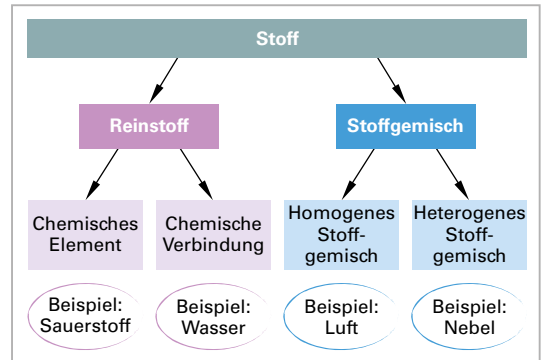


Bild 1: Unterteilung von Stoffen

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	$1,675 \cdot 10^{-27}$	$\pm 0$
Elektron	$e^-$	Hülle	$9,109 \cdot 10^{-31}$	- 1

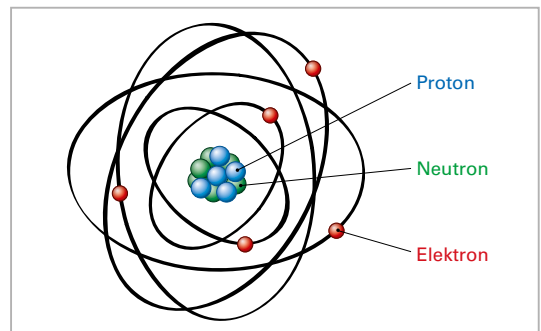


Bild 2: Schematisch dargestelltes Atom

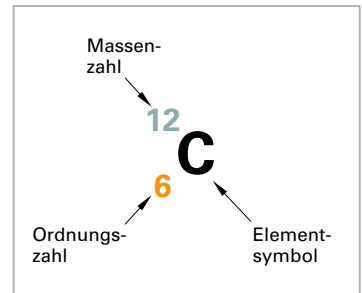
**Chemische Elemente** sind Stoffe, die durch chemische Verfahren nicht weiter zerlegbar sind.

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.

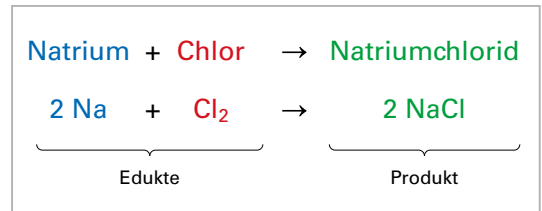
Unterscheiden lassen sich chemische Verbindungen in:

- **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).