



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Chemieberufe

# **Fachwissen Chemie**

**in Ausbildung, Studium und Beruf**

**3. 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. Biologiela borenten	Bremen
Dr. Linda Frintrop	M.Sc. Biologie, Univ.-Doz.	Rostock
Frank Kretschmer	OStR	Duisburg
Prof. Dr. Mark Steinmann	Dipl.-Chem.	Recklinghausen
Prof. Dr. Ingo Tausendfreund	Dipl.-Chem.	Witten

**Teamleitung und Lektorat:**

Peter Brackmann  
Prof. Dr. Ingo Tausendfreund

**Verlagslektorat:**

Dr. Astrid Grote-Wolff

**Bildbearbeitung:**

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

3. Auflage 2026

Druck 5 4 3 2 1

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

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an [produktsicherheit@europa-lehrmittel.de](mailto:produktsicherheit@europa-lehrmittel.de).

ISBN 978-3-7585-6952-4

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

© 2026 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:** braunwerbeagentur, Radevormwald

**Umschlagfoto:** © totojang1977 – shutterstock.com

**Druck:** mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

**Fachwissen Chemie** ist das zentrale Lehrwerk der Europa-Fachbuchreihe für Chemieberufe. Es besitzt eine fachsystematische Struktur mit engem Lernfeldbezug und kann parallel zu den Titeln **Fachwissen Chemie – Aufgaben zur Übung und Vertiefung** (Europa-Nr. 71132) und **Tabellen zur Chemie und Analytik** (Europa-Nr. 27016) im Unterricht sowie zur Vor- oder Nachbereitung der im Unterricht bzw. in der Vorlesung vermittelten Fachinhalte eingesetzt werden. Darüber hinaus stellt es eine wertvolle Unterstützung bei der Vorbereitung auf Klausuren und Prüfungen dar.

Zielgruppen des Lehrwerks sind **Auszubildende in Laborberufen**, insbesondere **Chemielaborantinnen und Chemielaboranten** sowie **Chemisch-technische Assistentinnen und Chemisch-technische Assistenten**. Darüber hinaus zählen **Studierende an Fachschulen für Technik – Fachrichtung Chemietechnik, Studierende an Hochschulen und Universitäten** mit Chemie als Haupt- oder Nebenfach sowie **Berufstätige im chemischen Labor**, die z. B. im Rahmen einer Weiterbildung ihre Kompetenzen auf den wesentlichen Teilgebieten der Chemie auffrischen und erweitern möchten, zu den Adressaten des Lehrwerks.

### Inhalte:

Das Lehrwerk ist auf den Rahmenlehrplan für die Ausbildung zur Chemielaborantin und zum Chemielaboranten sowie auf die Lehrpläne der Berufsfachschule Chemie abgestimmt. Zu den Inhalten:

- **Mechanische und thermische Trennverfahren** werden anhand von Beispielen aus der Laborpraxis dargestellt.
- Die Grundlagen der **Allgemeinen und Anorganischen Chemie** werden ausgehend vom Atom- und Molekülbau, dem Periodensystem der Elemente und den Bindungstypen schrittweise erläutert.
- Die Grundlagen der **Physikalischen Chemie** sowie das **stöchiometrische Rechnen** werden anhand zahlreicher Rechenbeispiele erklärt und eingeübt.
- Informationen zu **Sicherheitsstandards im Labor**, zum **Umgang mit Gefahrstoffen** und zu **Kennwerten des Arbeitsschutzes** bilden die Basis für eine fachgerechte Gefährdungsbeurteilung und eigenverantwortliches Handeln im Labor.
- Die **klassischen Methoden der quantitativen Analytik**, Volumetrie und Gravimetrie, werden inklusive der systematischen Auswertung der Analyseergebnisse erläutert.
- Ausgehend von der Systematik der **Organischen Chemie** werden die wesentlichen **Reaktionstypen** dargestellt und die ihnen zugrundeliegenden **Reaktionsmechanismen** erläutert.
- Einen weiteren Schwerpunkt des Lehrwerks bildet die moderne **Instrumentelle Analytik** mit **chromatografischen Trennverfahren, spektroskopischen und spektrometrischen Verfahren, der Massenspektrometrie und elektroanalytischen Methoden**.
- Ergänzt werden diese Inhalte durch Kapitel zu den Themen **elektrotechnisches Basiswissen, Qualitätsmanagement und statistische Verfahren** sowie **Mikrobiologie und Biotechnik**, die zusätzlich zu den Bildern und Tabellen des Lehrwerks zum kostenlosen Download zur Verfügung stehen (s. **Informationen zur EUROPATHEK** auf der vorderen Umschlaginnenseite).

### Didaktische Besonderheiten:

Die **sachlogische Darstellung der Fachinhalte** ermöglicht einen systematischen Wissensaufbau. Eine reichhaltige Bebilderung mit engem Text-Bild-Bezug, übersichtliche Tabellen, Merksätze, ausführlich gelöste Rechenbeispiele sowie zahlreiche Aufgaben sichern den Lernerfolg.

In der **3. Auflage** wurden die Hinweise der Leser berücksichtigt und Text sowie Bilder weiter optimiert. Das Kapitel 23 zur **Probenahme, Probenbehandlung und Probenvorbereitung** ist fortan fester Bestandteil des Lehrwerks.

### Ihr Feedback ist uns wichtig!

Schreiben Sie uns unter [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de). Wir freuen uns auf Ihre Anregungen und Ihre Kritik, die zur Weiterentwicklung dieses Lehrwerks und der gesamten Europa-Lehrbuchreihe zur Chemie beitragen werden, und wünschen Ihnen viel Erfolg und Freude bei der Erarbeitung des Fachwissens zur Chemie.

<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	Kolonnentypen .....	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</b>	<b>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</b>	<b>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-Verbot</i> .....	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>
<b>6</b>	<b>Chemische Bindung .....</b>	<b>161</b>
<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</i> -Formeln .....	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>
<b>7</b>	<b>Chemische Reaktionen .....</b>	<b>217</b>
<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>
<b>8</b>	<b>Quantitative Aussagen von Reaktionsgleichungen .....</b>	<b>231</b>
<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>
<hr/>		
<b>9</b>	<b>Lösungen und Gehaltsangaben</b>	<b>265</b>
<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	Schmelztemperaturniedrigung	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>
<hr/>		
<b>10</b>	<b>Gefahrstoffe und Arbeitsschutz</b>	<b>289</b>
<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>Kennzeichnung, Transport, Lagerung von Gefahrstoffen</b> .....	<b>318</b>
10.4.1	Etikettierung eines Chemikaliengebindes .....	318
10.4.2	Kennzeichnung 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 Nichtsauerstoffsäuren .....	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 Lewis</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 Kohlenstoff-Atome	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>
<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>Flüssigkeitschromatografie 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>
<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-Gesetz</i>	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	Aerosolerzeugung 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 Singulettts in 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-breitbandenkoppelte <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>

## **22 Elektrochemie** **803**

<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>23</b>	<b>Probenahme, Probenbehandlung und Probenvorbereitung</b> .....	<b>843</b>
<b>23.1</b>	<b>Analyse von Proben</b> .....	<b>844</b>
<b>23.2</b>	<b>Probenahme</b> .....	<b>845</b>
23.2.1	Ort und Zeit der Probenahme, Festlegung der Grundgesamtheit .....	846
23.2.2	Probenahmeverfahren bei Ortsabhängigkeit der Parameter .....	847
23.2.3	Probenahmeverfahren bei Zeitabhängigkeit der Parameter .....	848
23.2.4	Probenahmegeräte für Feststoffe .....	849
23.2.5	Probenahmegeräte für Flüssigkeiten .....	850
23.2.6	Probenahmegeräte für Gase .....	851
23.2.7	Probenmenge .....	853
23.2.8	Probengefäße .....	855
<b>23.3</b>	<b>Messungen vor Ort</b> .....	<b>856</b>
<b>23.4</b>	<b>Probenkonservierung und -transport</b> .....	<b>857</b>
<b>23.5</b>	<b>Probenahmeprotokoll</b> .....	<b>858</b>
<b>23.6</b>	<b>Probenvorbereitung</b> .....	<b>859</b>
23.6.1	Homogenisierung, Probenverjüngung und Probenteilung .....	860
23.6.2	Lösen der festen Analysenprobe .....	863
<b>23.7</b>	<b>Externe Kalibrierung und Messung</b> .....	<b>865</b>
<b>23.8</b>	<b>Auswertung, Dokumentation und Qualitätssicherung</b> .....	<b>866</b>
<b>Aufgaben zu Kapitel 23</b> .....		<b>866</b>
<b>A</b>	<b>Liste ausgewählter Gefahrstoffe</b> .....	<b>867</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....		<b>870</b>
<b>Bildquellenverzeichnis</b> .....		<b>902</b>
<b>Periodensysteme</b> .....		<b>903, 904</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.

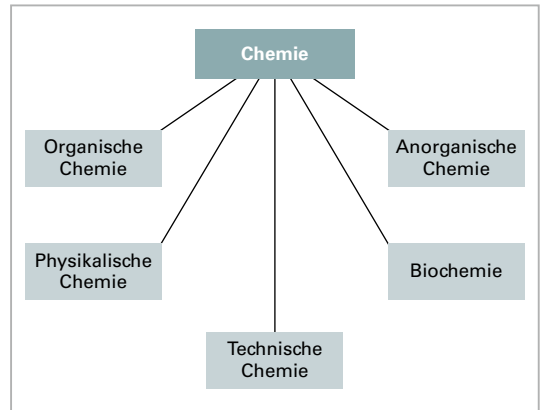


Bild 1: Gebiete der Chemie

**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 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 an Hochschulen werden dabei insbesondere die Erkenntnisse des 20. und 21. Jahrhunderts genutzt, um Stoffe mit neuen, gewünschten Eigenschaften zu entwickeln und herzustellen. 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.

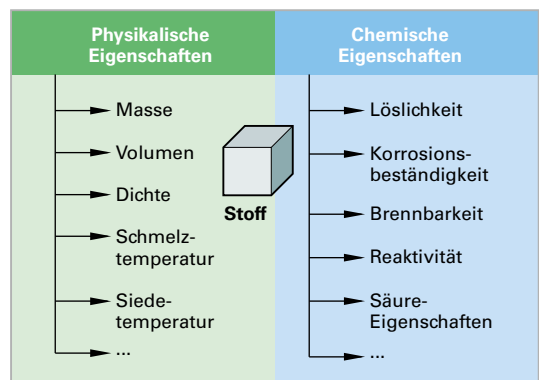


Bild 1: Physikalische und chemische Eigenschaften

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).

Ein **Stoff** ist jede Art von Materie mit gleichbleibenden charakteristischen physikalischen und chemischen Eigenschaften – unabhängig von ihrer äußeren Gestalt.

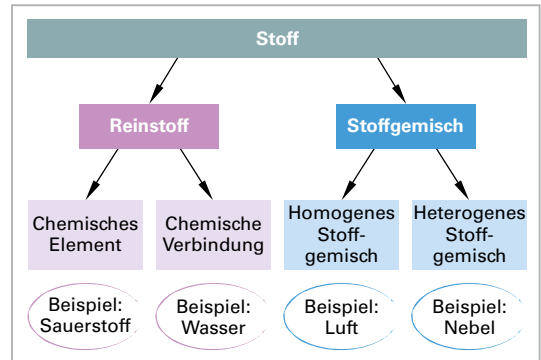


Bild 1: Unterteilung von Stoffen

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

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 an Protonen, gehören zu einem Element.

Tabelle 1: Elementarteilchen

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

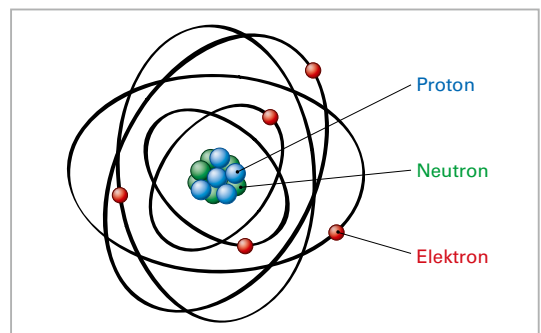


Bild 2: Schematisch dargestelltes Atom

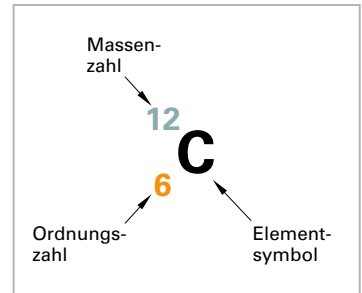
**Chemische Elemente** sind Stoffe, die durch chemische Verfahren nicht weiter zerlegbar sind.

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  $Z$**  eines Elements bezeichnet. Die **Massenzahl  $A$**  ist definiert als die Summe der Anzahl der Protonen und der Anzahl der Neutronen im Atomkern. Sie wird auch als **Nukleonenzahl  $A$**  bezeichnet. Die Anzahl der Neutronen im Atomkern kann variieren, so dass die Massenzahl der Atome eines Elements unterschiedlich sein kann. Die Atome eines Elements mit unterschiedlicher Massenzahl werden als **Isotope** dieses Elements bezeichnet.

Massenzahl  $A$  und Ordnungszahl  $Z$  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 Kohlenstoff-Atom mit der Massenzahl 12 und der Ordnungszahl 6 hat folgende Schreibweise:  $^{12}_6C$ . Es gibt noch zwei weitere Kohlenstoffisotope. Das Kohlenstoffisotop mit einem zusätzlichen Neutron ist das  $^{13}_6C$ , mit zwei zusätzlichen Neutronen das  $^{14}_6C$ .

Atomarten, die dieselbe Massenzahl und Ordnungszahl besitzen, heißen **Nuklide**. Beispielsweise ist das Nuklid  $^{12}_6C$  ein Isotop des Kohlenstoffs. Der Aufbau von Atomen wird im Kapitel 5 erläutert.



**Bild 1:** Das häufigste Kohlenstoffisotop  $^{12}_6C$

Die **Ordnungszahl  $Z$**  bzw. die **Kernladungszahl** eines Elements entspricht der Anzahl der Protonen im Kern.

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

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

Atomarten mit der gleichen Ordnungszahl  $Z$  und der gleichen Massenzahl  $A$  werden **Nuklide** genannt.

Die Masse eines Atoms kann als absolute Masse oder als relative Masse angegeben werden kann. Die tatsächliche Masse einzelner Atome eines Nuklids wird als **absolute Atommasse  $A$**  in Kilogramm  $kg$  oder in **atomaren Masseneinheiten  $u$**  angegeben. Eine atomare Masseneinheit ( $1u$ ) ist definiert als der zwölfte Teil der Masse eines Atoms des Nuklids  $^{12}_6C$  und entspricht einer Masse von  $1,6605402 \cdot 10^{-27} kg$ .

Die **relative Atommasse  $A_r$**  mit dem Formelzeichen  $A_r$  (früher **Atomgewicht**) ist eine Vergleichsgröße und gibt das Verhältnis der Masse eines Nuklids im Vergleich zum Kohlenstoffisotop  $^{12}_6C$  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  $^{12}_6C$  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 handelt es sich um **Mischelemente**.

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. 903, S. 904 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  $Z$ . Die Erläuterung zum Aufbau des PSE erfolgt in Kapitel 5, S. 135.

Die chemischen Elemente werden in Abhängigkeit von ihren Eigenschaften in drei Kategorien unterteilt:

- **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 der Normtemperatur  $T_n$  von 273,15 K (0 °C) und dem Normdruck  $p_n$  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**, der Normtemperatur  $T_n$  von 273,15 K (0 °C) und dem Normdruck  $p_n$  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

Werden die Elemente nach ihrem Massenanteil  $w$  an der Gesamtmasse ihres Vorkommens in der Erdkruste (Schichtdicke 16 km), den Weltmeeren und der Atmosphäre betrachtet, so entfallen auf die fünf häufigsten Elemente etwa 91 % und auf die zwölf häufigsten nahezu 99,5 % der Gesamtmasse aller Elemente und Verbindungen (**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<sub>2</sub> bzw. drei Sauerstoff-Atome zu einem Sauerstoff-Molekül O<sub>3</sub> (Ozon) verbinden. Gleiches gilt beispielsweise für Fluor F<sub>2</sub>, Stickstoff N<sub>2</sub> und Phosphor P<sub>4</sub>. 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.

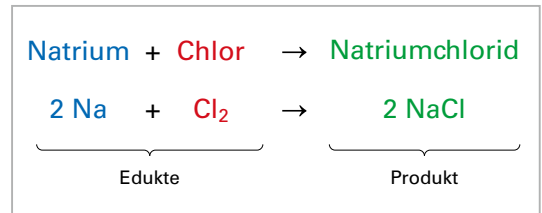
Unterscheiden lassen sich chemische Verbindungen in:

- **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<sub>2</sub> 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 relativen Atommassen  $A_r$  der an einer chemischen Verbindung beteiligten Atome. 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<sub>2</sub>. An diesem Beispiel wird deutlich, dass in Verbindungen die gleichen Atome in unterschiedlichen **stöchiometrischen Verhältnissen** vorkommen können. **Stöchiometrie** ist die Lehre von der Zusammensetzung chemischer Verbindungen sowie den Stoffverhältnissen bei chemischen Reaktionen (s. Kap. 8, S. 231).