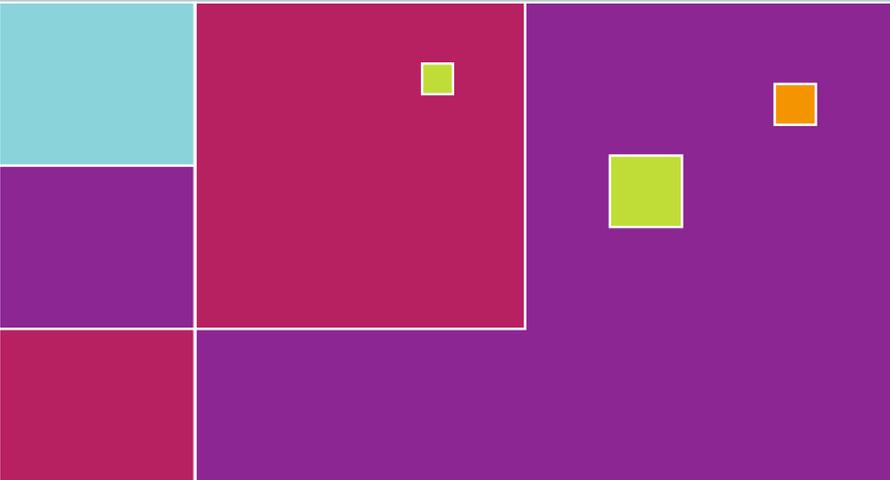


Chemie 13





Hybrides Schulbuch
enthält Mediacodes mit
digitalen Arbeitsblättern, Videos
und Lernanwendungen





Gymnasium
Bayern

Periodensystem der Elemente (atomartbezogen)

Periode	Hauptgruppen		Nebengruppen							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII	
1	1 H 2,2 Wasserstoff 1,008									
2	3 Li 1,0 Lithium 6,94	4 Be 1,6 Beryllium 9,012								
3	11 Na 0,9 Natrium 22,990	12 Mg 1,3 Magnesium 24,305								
4	19 K 0,8 Kalium 39,098	20 Ca 1,0 Calcium 40,078	21 Sc 1,4 Scandium 44,956	22 Ti 1,5 Titan 47,867	23 V 1,6 Vanadium 50,942	24 Cr 1,7 Chrom 51,996	25 Mn 1,6 Mangan 54,938	26 Fe 1,8 Eisen 55,845	27 Co 1,9 Cobalt 58,933	
5	37 Rb 0,8 Rubidium 85,468	38 Sr 0,9 Strontium 87,62	39 Y 1,2 Yttrium 88,906	40 Zr 1,3 Zirkonium 91,224	41 Nb 1,6 Niob 92,906	42 Mo 2,2 Molybdän 95,95	43 Tc 1,9 Technetium 97,907*	44 Ru 2,2 Ruthenium 101,07	45 Rh 2,3 Rhodium 102,905	
6	55 Cs 0,8 Caesium 132,905	56 Ba 0,9 Barium 137,327		72 Hf 1,3 Hafnium 178,49	73 Ta 1,5 Tantal 180,948	74 W 2,4 Wolfram 183,84	75 Re 1,9 Rhenium 186,207	76 Os 2,2 Osmium 190,23	77 Ir 2,2 Iridium 192,217	
7	87 Fr 0,7 Francium 223,020*	88 Ra 0,9 Radium 226,025*		104 Rf Rutherfordium 267*	105 Db Dubnium 270*	106 Sg Seaborgium 269*	107 Bh Bohrium 270*	108 Hs Hassium 270*	109 Mt Meitnerium 278*	

Ordnungszahl: **11**
 Atomartensymbol: **Na**
 mittlere relative Atommasse in u: **22,990**
 Elektronegativität (nach PAULING): **0,9**
 Elementname: **Natrium**

Lanthanoide 6. Periode

57 La 1,1 Lanthan 138,905	58 Ce 1,1 Cer 140,116	59 Pr 1,1 Praseodym 140,908	60 Nd 1,1 Neodym 144,242	61 Pm Promethium 146,915*	62 Sm 1,2 Samarium 150,36
89 Ac 1,1 Actinium 227,028*	90 Th 1,3 Thorium 232,038*	91 Pa 1,5 Protactinium 231,036*	92 U 1,7 Uran 238,051*	93 Np 1,3 Neptunium 237,048*	94 Pu 1,3 Plutonium 244,094*

Actinoide 7. Periode

* Atommasse für stabilstes Isotop bei radioaktiven Elementen

schwarz umrandete Kästchen: Halbmetall-Atome

			Hauptgruppen						
			III	IV	V	VI	VII	VIII	
									2 He Helium 4,003
			5 B Bor 10,811	6 C Kohlenstoff 12,011	7 N Stickstoff 14,007	8 O Sauerstoff 15,999	9 F Fluor 18,998	10 Ne Neon 20,180	
			13 Al Aluminium 26,982	14 Si Silicium 28,086	15 P Phosphor 30,974	16 S Schwefel 32,065	17 Cl Chlor 35,453	18 Ar Argon 39,948	
28 Ni Nickel 58,693	29 Cu Kupfer 63,546	30 Zn Zink 65,38	31 Ga Gallium 69,723	32 Ge Germanium 72,630	33 As Arsen 74,922	34 Se Selen 78,971	35 Br Brom 79,904	36 Kr Krypton 83,798	
46 Pd Palladium 106,42	47 Ag Silber 107,868	48 Cd Cadmium 112,414	49 In Indium 114,818	50 Sn Zinn 118,710	51 Sb Antimon 121,760	52 Te Tellur 127,60	53 I Jod 126,905	54 Xe Xenon 131,293	
78 Pt Platin 195,084	79 Au Gold 196,967	80 Hg Quecksilber 200,592	81 Tl Thallium 204,383	82 Pb Blei 207,2	83 Bi Bismut 208,980*	84 Po Polonium 209,983*	85 At Astat 209,987*	86 Rn Radon 222,018	
110 Ds Darmstadtium 281*	111 Rg Roentgenium 281*	112 Cn Copernicium 285*	113 Nh Nihonium 286*	114 Fl Flerovium 289*	115 Mc Moscovium 289*	116 Lv Livermorium 293*	117 Ts Tenness 294*	118 Og Oganesson 294*	

63 Eu Europium 151,964	64 Gd Gadolinium 157,25	65 Tb Terbium 158,925	66 Dy Dysprosium 162,500	67 Ho Holmium 164,930	68 Er Erbium 167,259	69 Tm Thulium 168,934	70 Yb Ytterbium 173,045	71 Lu Lutetium 174,967
95 Am Americium 243,061*	96 Cm Curium 247,070*	97 Bk Berkelium 247,070*	98 Cf Californium 251,080*	99 Es Einsteinium 252,083*	100 Fm Fermium 257,095*	101 Md Mendelevium 258,098*	102 No Nobelium 259,101*	103 Lr Lawrencium 262,110*

Übersicht: Laborgeräte



Chemie 13

Chemie für die Oberstufe in Bayern

Gymnasium Bayern

C.C.BUCHNER

Chemie Bayern – Sek II

Herausgegeben von Ernst Hollweck und Thomas Weingand

Chemie 13

Chemie für die Oberstufe in Bayern

Bearbeitet von Nadine Boele, Dominik Diekemper, Tobias Fröhlich, Simon Haselbauer, Alina Hermann, Ernst Hollweck, Simon Kleefeldt, Bernhard Lieske, Tina Müller, Jean Marc Orth, Lena Pfeifer, Kerstin Reichenberger, Harald Steinhofer, Timo Wachter, Sebastian Weidenthaler, Thomas Weingand, Philipp Weyer und Anna-Lena Wieland unter Verwendung von Beiträgen der Autorinnen und Autoren folgender Werke:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| - ISBN 978-3-661-06011-8 | - ISBN 978-3-661-06002-6 |
| - ISBN 978-3-661-06022-4 | - ISBN 978-3-661-06015-6 |
| - ISBN 978-3-661-06041-5 | - ISBN 978-3-661-06042-2 |

Zu diesem Lehrwerk ist erhältlich:

- Digitales Schulbuch **click & study**, Einzellizenz, WEB-Bestell-Nr. 060431
- Digitales Lehrermaterial **click & teach**, Einzellizenz, WEB-Bestell-Nr. 060461

Weitere Lizenzformen (Einzellizenz flex, Kollegiumslizenz) und Materialien unter www.ccbuchner.de.

Die enthaltenen Links verweisen auf digitale Inhalte, die der Verlag bei verlagsseitigen Angeboten in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt. Links auf Angebote Dritter wurden nach den gleichen Qualitätskriterien wie die verlagsseitigen Angebote ausgewählt und bei Erstellung des Lernmittels sorgfältig geprüft. Für spätere Änderungen der verknüpften Inhalte kann keine Verantwortung übernommen werden.

Dieses Lehrwerk folgt den aktuellen Regelungen für Rechtschreibung und Zeichensetzung. Ausnahmen bilden Texte, bei denen künstlerische, philologische oder lizenzrechtliche Gründe einer Änderung entgegenstehen. Teile des Lehrwerks wurden mithilfe gängiger Large Language Models erstellt oder bearbeitet. Sämtliche Inhalte wurden anschließend redaktionell geprüft, überarbeitet und verantwortet. Weitere Informationen finden Sie auf www.ccbuchner.de/ki-leitlinie.

An keiner Stelle im Schülerbuch dürfen Eintragungen vorgenommen werden.

Haftungshinweis: Die Versuchsvorschriften in diesem Buch wurden sorgfältig, auf praktischen Erfahrungen beruhend, entwickelt. Da Fehler aber nie ganz ausgeschlossen werden können, übernehmen der Verlag und die Autorinnen und Autoren keine Haftung für Folgen, die auf beschriebene Versuche zurückzuführen sind. Mitteilungen über eventuelle Fehler und Vorschläge zur Verbesserung werden dankbar angenommen.

1. Auflage, 1. Druck 2025

Alle Drucke dieser Auflage sind, weil untereinander unverändert, nebeneinander benutzbar.

© 2025 C.C. Buchner Verlag, Bamberg

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags. Hinweis zu §§ 60 a, 60 b UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und/oder in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische, digitale oder andere Wiedergabeverfahren sowie jede öffentliche Vorführung, Sendung oder sonstige gewerbliche Nutzung oder deren Duldung sowie Vervielfältigung (z. B. Kopie, Download oder Streaming), Verleih und Vermietung nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags.

Nutzungsvorbehalt: Die Nutzung für Text und Data Mining (§ 44 b UrhG) ist vorbehalten, insbesondere für die (Weiter-)Entwicklung und das Training jeglicher KI-Systeme. Dies betrifft nicht Text und Data Mining für Zwecke der wissenschaftlichen Forschung (§ 60 d UrhG).

produktsicherheit@ccbuchner.de

Redaktion: Thomas Juli, Verena Schiller

Layout und Umschlag: Petra Michel, Amberg

Satz: mgo360 GmbH & Co. KG, Bamberg

Illustrationen: Stefan Dangl, München; Helmut Holtermann, Dannenberg;

Stelzner Illustration & Grafikdesign, Frankfurt; Angelika Kramer, Stuttgart

Druck und Bindung: Firmengruppe Appl, aprinta Druck, Wemding

www.ccbuchner.de

ISBN 978-3-661-06043-9

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

dieses Buch rundet abschließend die Buchreihe Chemie des C. C. Buchner Verlags für das Gymnasium in Bayern ab. Einigen von Ihnen wird es ein treuer Begleiter auf dem Weg zum Chemie-Abitur sein.

Mit diesem Buch können Sie Ihr bisher erworbenes Grundlagenwissen der Chemie auffrischen, ausweiten und in neuen Bereichen wie u.a. der Nanotechnologie anwenden.

Sie werden sich Grundlagen zum Thema Farbigkeit und zu Farbstoffen in Alltagsprodukten aneignen. Sie werden Ihr Wissen und Können zur Säure-Base-Chemie wieder aufgreifen und im Zusammenspiel mit dem chemischen Gleichgewicht ausbauen.

Proteine und Kunststoffe – beides Stoffklassen aufgebaut aus Makromolekülen – werden ein weiterer Schwerpunkt in diesem Schuljahr sein. Über das Thema Enzyme wird eine Brücke zum Fach Biologie geschlagen. Auch dem Umgang mit Kunststoffabfällen ist im Sinne des Umweltschutzes ein eigenes Unterkapitel gewidmet.

Das abschließende Kapitel befasst sich mit Chemie und Nachhaltigkeit. Sie werden sich mit einem der wichtigsten biochemischen Prozesse für das Leben auf der Erde – der Fotosynthese – beschäftigen und damit, wie die Forschenden in der Chemie versuchen, diese Prozesse in anderen technischen Bereichen nachzubauen und nutzbar zu machen.

Mit dem neu erworbenen Wissen werden Sie Fragen wie z. B. die folgenden beantworten können:

Wie entsteht ein Farbeindruck?

Warum leitet destilliertes Wasser elektrischen Strom?

Wie lässt sich die Stärke von Säuren bestimmen?

Warum sind Puffersysteme lebensnotwendig?

Wie sind Proteine strukturell aufgebaut?

Beeinflusst ein Enzym eine chemische Reaktion?

Wie werden Kunststoffe hergestellt?

Was ist ein Biopolymer?

Wie funktioniert die Fotosynthese?

Warum rostet ein Fahrrad und was kann man dagegen tun?

Außerdem erarbeiten Sie sich grundlegende Techniken des modernen wissenschaftlichen Arbeitens in der Chemie wie z. B. den sinnvollen Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) sowie die digitale Messwerterfassung bei Experimenten.

Wir wünschen Ihnen aufs Neue Freude an der Beschäftigung mit dem Fach Chemie. Das hier erarbeitete Wissen und Können ist für viele Ausbildungsberufe und Studiengänge im Hinblick auf den späteren Beruf sehr hilfreich. Manchmal ist dies sofort ersichtlich wie beim Fach Medizin, manchmal liegt die Notwendigkeit im Verborgenen wie beim Fach Jura. Hier ist es von Vorteil, wenn man z. B. ein Gutachten einer bzw. eines Sachverständigen grundlegend nachvollziehen kann.

Bei all Ihren Vorhaben für Ihre Zukunft wünschen wir Ihnen viel Erfolg!

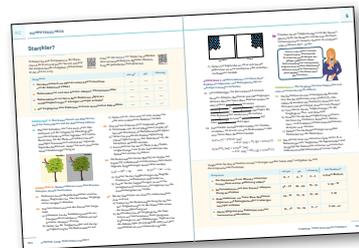
Die Herausgeber

So können Sie mit diesem Buch arbeiten ...

Ihr neues Chemiebuch enthält fünf Kapitel. Jedes Kapitel ist in mehrere Untereinheiten unterteilt und enthält eine Reihe verschiedener Seitentypen. Hier erfahren Sie, wie Sie mit diesen Seitentypen arbeiten können.

1. Los geht's

Um festzustellen, ob Sie fit für ein Kapitel sind, können Sie sich auf den Seiten **Startklar?** zunächst selbst einschätzen und anschließend Ihre Einschätzung anhand von Aufgaben überprüfen. Unter den jeweiligen QR- bzw. Mediacodes können Sie die passenden Arbeitsblätter sowie digitale Lernanwendungen zu den gefragten Kompetenzen abrufen (vgl. Info unten). Die Lösungen finden Sie im Anhang des Buches. Schneiden Sie in einem Bereich nicht so gut ab, bekommen Sie im Auswertungskasten Informationen, an welchen Stellen Sie noch einmal nachlesen sollten.



2. Die Untereinheiten

Die Seiten **Versuche und Material** sind der Ausgangspunkt für Ihren Erkenntnisgewinn. Wie alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler führen Sie Versuche durch, um neues Wissen zu erlangen. Kleinschrittige Auswertungsaufgaben helfen Ihnen dabei. Gefahrenpiktogramme sowie Entsorgungshinweise (vgl. S. 208 und 209) unterstützen Sie und Ihre Lehrkraft bei der sicheren Durchführung der Versuche.

V

Schülerversuch

LV

Lehrerversuch

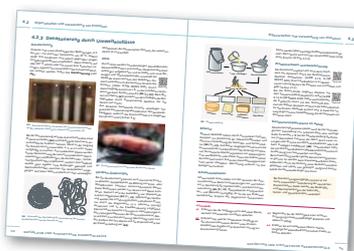
M

Arbeitsmaterialien



A1 anspruchsvolle Aufgabe

A2 Aufgabe zu prozessbezogenen Kompetenzen



INFO

Im Buch finden Sie **QR-Codes** und **Mediacodes**, die zu Videos, chemischen Programmen, Arbeitsblättern u. Ä. führen.

Die QR-Codes können Sie direkt mit Ihrem Smartphone einscannen. Alternativ können Sie den jeweils darunter stehenden Mediacode auf www.ccbuchner.de/medien eingeben.



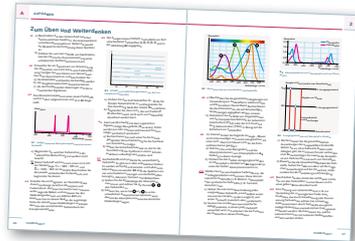
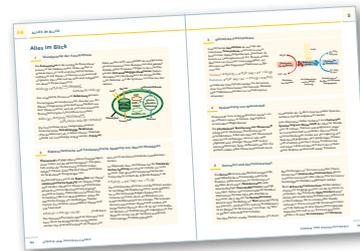
06043-001

Auf den **Textseiten** können Sie Neues in leicht verständlichen Texten nachlesen. Dort finden Sie auch Querverweise (z. B. V1) zu den Seiten **Versuche und Material**. Ausgehend von den Versuchen werden neue Inhalte aufgearbeitet und erklärt.

Das Wichtigste finden Sie in gelb hinterlegten Merkkästen am Ende jeder Text-Doppelseite. Die wichtigsten Fachbegriffe sind auf diesen Seiten jeweils hervorgehoben. Kleine Infokästen bieten Zusatzinformationen zum Text. Zudem gibt es auf jeder Doppelseite passende Aufgaben.

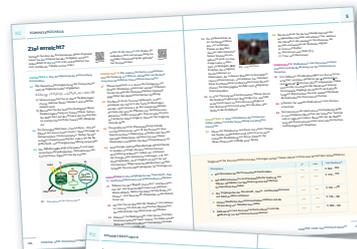
3. Am Ende des Kapitels

Die wichtigsten Inhalte aus jedem Kapitel werden auf den Seiten **Alles im Blick** kompakt zusammengefasst. Damit können Sie sich gut auf eine Prüfung vorbereiten.

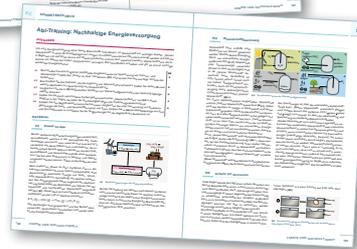


Zudem wartet am Kapitelende auf den Seiten **Zum Üben und Weiterdenken** eine große Anzahl bunt gemischter Aufgaben darauf, gelöst zu werden.

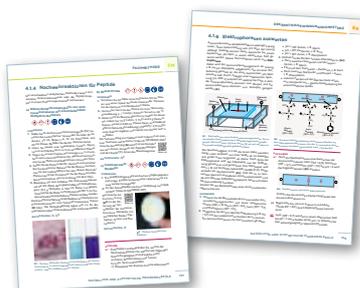
Mit den Seiten **Ziel erreicht?** können Sie überprüfen, ob Sie die neuen Inhalte des Kapitels verstanden haben. Das entsprechende Arbeitsblatt können Sie unter dem linken QR- bzw. Mediacode herunterladen und Ihre Antworten mit den Lösungen im Anhang abgleichen. Zudem finden Sie auch hier digitale Lernanwendungen sowie Seitenverweise zum Nachlesen im Buch.



Auf den Seiten **Abi-Training** finden Sie eine beispielhafte Abituraufgabe, welche ideal für die Vorbereitung auf die anstehende Abiturprüfung ist. Sie ermöglicht es Ihnen, sich mit dem Aufgabenformat und dem Anforderungsniveau der schriftlichen Abiturprüfung vertraut zu machen.



Sonderseiten



Fachmethoden der Chemie sind Werkzeuge, deren Handhabung gelernt sein will. Auf den Seiten **Fachmethode (FM)** wird Schritt für Schritt erklärt, wofür eine Methode gut ist und wie man sie anwendet. Zudem gibt es Seiten zu **Erkenntnisgewinnungskompetenzen (EK)**, **Kommunikationskompetenzen (KK)** und **Bewertungskompetenzen (BK)**. Auch hier werden Schritt für Schritt die entsprechenden Kompetenzen an konkreten Beispielen erläutert und veranschaulicht. Natürlich spielen digitale Medien dabei fast immer eine wichtige Rolle.

Keine Wissenschaft kommt heute noch ohne andere Wissenschaften aus. Auf den Seiten **Exkurs** können Sie „über den Tellerrand blicken“. Spannende Themen, z. B. aus Biologie, Physik, Medizin, Umwelt oder Geografie, werden wie in einer Zeitschrift vorgestellt.



INFO

Hier und da finden Sie kleine Fachmethoden- und Exkurs-Kästen in der entsprechenden Farbe auch auf anderen Seitentypen.

1 Grundlagen für die 13. Jahrgangsstufe 12

Alles im Blick: Grundlagen für die 13. Jahrgangsstufe	12
FACHMETHODE: Sicher arbeiten im Chemielabor	23
ERKENNTNISGEWINNUNGSKOMPETENZ: Den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg gehen	24
KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ: Mit einer Gefahrstoffdatenbank umgehen	25



2 Farbigkeit 26

■ Startklar?	28
2.1 Emission und Absorption von Licht	30
2.1.1 Versuche und Material	30
2.1.2 Licht und Farbe	32
2.1.3 Farbstoffe und Spektren	34
2.1.4 EXKURS: Messen mit einem Fotometer	36
2.1.5 EXKURS: Das menschliche Auge und der Farbsinn	37
2.1.6 MEDIENKOMPETENZ: Künstliche Intelligenz sinnvoll einsetzen	38
2.2 Farbstoffe in Alltagsprodukten	40
2.2.1 Versuche und Material	40
2.2.2 Natürliche Farbstoffe im Alltag	42
2.2.3 BEWERTUNGSKOMPETENZ: Den Einsatz von Lebensmittelfarbstoffen (Azofarbstoffen) bewerten	43
■ Alles im Blick	44
■ Zum Üben und Weiterdenken	46
■ Ziel erreicht?	48
■ Abi-Training: Naturfarbstoffe	50

3 Säure-Base-Gleichgewichte	52
■ Startklar?	54
3.1 Säure-Base-Konzept nach BRØNSTED	56
3.1.1 Versuche und Material	56
3.1.2 Säure-Base-Konzept nach BRØNSTED	58
3.2 Autoprotolyse, pH-Wert und pOH-Wert	60
3.2.1 Versuche und Material	60
3.2.2 Autoprotolyse des Wassers, pH-Wert und pOH-Wert	62
3.3 Stärke von Säuren und Basen	64
3.3.1 Versuche und Material	64
3.3.2 Säure- und Basenstärke	66
3.3.3 Berechnung von pH-Werten	68
FACHMETHODE: pH-Wert mit Näherung für starke Säuren und Basen berechnen	68
FACHMETHODE: pH-Wert mit Näherung für schwache Säuren und Basen berechnen	69
3.3.4 Besonderheiten korrespondierender Säure-Base-Paare	70
3.3.5 EXKURS: Protolyse von Salzen	71
3.4 Säure- und Basenstärke organischer Verbindungen	72
3.4.1 Versuche und Material	72
3.4.2 Stärke von organischen Säuren und Basen	74
3.5 Säure-Base-Titrationen	76
3.5.1 Versuche und Material	76
3.5.2 Prinzip der Säure-Base-Titration	78
3.5.3 FACHMETHODE: Eine Titrationskurve auswerten	80
3.5.4 ERKENNTNISGEWINNUNGSKOMPETENZ: Messwerte einer Titration digital erfassen	82
3.5.5 FACHMETHODE: Einen geeigneten Indikator für eine Titration auswählen	83



3.6 Puffersysteme	84
3.6.1 Versuche und Material	84
3.6.2 Wirkungsweise eines Puffersystems	86
FACHMETHODE: pH-Wert einer Pufferlösung berechnen	87
3.6.3 KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ: In Medien recherchieren und Quellen beurteilen	88
■ Alles im Blick	90
■ Zum Üben und Weiterdenken	92
■ Ziel erreicht?	94
■ Abi-Training: Da wird die Milch doch sauer ...	96



4 Natürliche und synthetische Makromoleküle	98
■ Startklar?	100
4.1 Von Aminocarbonsäuren zu Proteinen	102
4.1.1 Versuche und Material	102
4.1.2 Aminocarbonsäuren	104
4.1.3 Die Peptidbindung	106
4.1.4 FACHMETHODE: Nachweisreaktionen für Peptide	107
4.1.5 EXKURS: Systematische Benennung von einfachen 2-Aminocarbonsäuren	108
4.1.6 ERKENNTISGEWINNUNGSKOMPETENZ: Elektrophoresen auswerten	109
4.2 Eigenschaften und Verwendung von Proteinen	110
4.2.1 Versuche und Material	110
4.2.2 Einfach bis komplex – die Proteinstrukturen	112
4.2.3 Denaturierung durch Umwelteinflüsse	114
4.2.4 Biologische Bedeutung von Proteinen	116
4.2.5 EXKURS: Modelle für Eiweißstrukturen	117
4.2.6 BEWERTUNGSKOMPETENZ: Die Verwendung von verschiedenen Proteinquellen bewerten	118

4.3 Enzyme	120
4.3.1 Versuche und Material	120
4.3.2 Eigenschaften und Wirkmechanismus von Enzymen	122
4.4 Molekularer Bau und Eigenschaften von Kunststoffen	124
4.4.1 Versuche und Material	124
4.4.2 Eigenschaften von Kunststoffen	126
4.4.3 Klassifizierung von Kunststoffen	128
4.5 Synthese von Polymeren	130
4.5.1 Versuche und Material	130
4.5.2 Radikalische Polymerisation	132
4.5.3 Polykondensation	134
4.5.4 Multifunktionelle Monomere	136
4.6 Moderne Werkstoffe und Nanotechnologie	138
4.6.1 Versuche und Material	138
4.6.2 Polymere als moderne Werkstoffe in Alltag und Technik	140
4.6.3 Kunststoffe und Silikone in der Nanotechnologie	142
4.7 Verwertung und Recycling von Kunststoffabfällen	144
4.7.1 Versuche und Material	144
4.7.2 Verwertung und Recycling von Kunststoffen	146
4.7.3 Vermeidung von Kunststoffabfällen	148
4.7.4 EXKURS: Mikroplastik	149
4.8 Fossile und nachwachsende Rohstoffe für die Kunststoffherstellung	150
4.8.1 Versuche und Material	150
4.8.2 Fossile und nachwachsende Rohstoffe im Vergleich	152
■ Alles im Blick	154
■ Zum Üben und Weiterdenken	156
■ Ziel erreicht?	158
■ Abi-Training: Von der Schildlaus zum Werkstoff	160



5 Chemie und Nachhaltigkeit	162
■ Startklar?	164
5.1 Grundprinzipien der Fotosynthese	166
5.1.1 Versuche und Material	166
EXKURS: Dem Sauerstoff auf der Spur	167
5.1.2 Der zweigeteilte Prozess der Fotosynthese	168
5.2 Elektrochemische und fotokatalytische Spaltung von Wasser-Molekülen	170
5.2.1 Versuche und Material	170
5.2.2 Elektrochemische und fotokatalytische Spaltung von Wasser-Molekülen	172
5.2.3 Ökologische und ökonomische Betrachtung	174
5.3 Korrosion und Korrosionsschutz	176
5.3.1 Versuche und Material	176
5.3.2 Die Korrosion	178
5.3.3 Schutz vor Korrosion	180
■ Alles im Blick	182
■ Zum Üben und Weiterdenken	184
■ Ziel erreicht?	186
■ Abi-Training: Nachhaltige Energieversorgung	188

Anhang	190
Lösungen zu „Startklar?“ und „Ziel erreicht?“	190
GHS – Das international gültige System zur Kennzeichnung von Gefahrstoffen	208
Entsorgung von Gefahrstoffabfällen	209
H-Sätze, P-Sätze	210
Chemikalienliste zu den Versuchen	213
Glossar	219
Stichwortverzeichnis	229
Bildnachweis	231
Chemische Berufe	232
Umgang mit Operatoren	

INFO

Im Buch finden Sie **QR-Codes** und **Mediencodes**, die zu Videos, chemischen Programmen, Arbeitsblättern u. Ä. führen.

Die QR-Codes können Sie direkt mit Ihrem Smartphone einscannen. Alternativ können Sie den jeweils darunter stehenden Mediencode auf www.ccbuchner.de/medien eingeben.



06043-001



Hier finden Sie das digitale Zusatzmaterial zu den Inhalten für das erhöhte Anforderungsniveau.



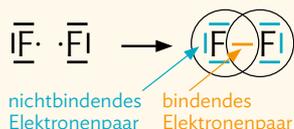
06043-100

1 Grundlagen für die 13. Jahrgangsstufe

1 Die Elektronenpaarbindung

Ein Valenzelektron ist durch einen Punkt und ein Valenzelektronenpaar ist durch einen Strich symbolisiert.

Elektronenpaare, die nicht an der Ausbildung der **Elektronenpaarbindung** beteiligt sind, werden als **nichtbindende Elektronenpaare** bezeichnet.



Rechnet man wechselweise das Bindungselektronenpaar den beiden Bindungspartnern zu, so ist deren **Edelgaskonfiguration** zu erkennen.

Die Edelgaskonfigurationen können Atome auch durch die Ausbildung von Mehrfachbindungen in Form von Doppel- und Dreifachbindungen erhalten. Dies gilt für Moleküle aus gleichen oder aus ungleichen Atomarten.



2 Der räumliche Bau von Molekülen

Die Grundlage zur Ermittlung des räumlichenbaus von Molekülen liefert das **Elektronenpaarabstoßungsmodell (EPA-Modell)**. Es geht davon aus, dass sich Atome räumlich um ein Zentralatom anordnen. Deren negativ geladene Elektronenpaare stoßen sich ab und werden daher den größtmöglichen Abstand zueinander einnehmen.

Dabei ergeben sich unterschiedliche Molekülgeometrien. Mehrfachbindungen werden formal wie Einfachbindungen behandelt. Nichtbindende Elektronenpaare am Zentralatom haben einen größeren Raumbedarf. Es kommt zu einer Verzerrung des geometrischen Grundkörpers, bei der die Bindungswinkel vom Tetraederwinkel mit $109,5^\circ$ abweichen.

Beispielmolekül	Methan	Methanal	Kohlenstoffdioxid	Ammoniak	Wasser
Valenzstrichformel					
Kugelstabmodell mit Bindungswinkel					
Strukturbezeichnung	tetraedrisch	trigonal-planar	linear	trigonal-pyramidal	gewinkelt

3 Formalladungen und Grenzformeln

Beim Erstellen einer Valenzstrichformel vergleicht man die Anzahl an Valenzelektronen eines ungeladenen Atoms mit der Anzahl an Valenzelektronen, die dem gleichen Atom formal in einer Valenzstrichformel zugeordnet sind. Die Differenz wird als **Formalladung** am Atomartensymbol angegeben. Die Summe der Formalladungen ergibt die tatsächlich vorhandene Ionenladung.

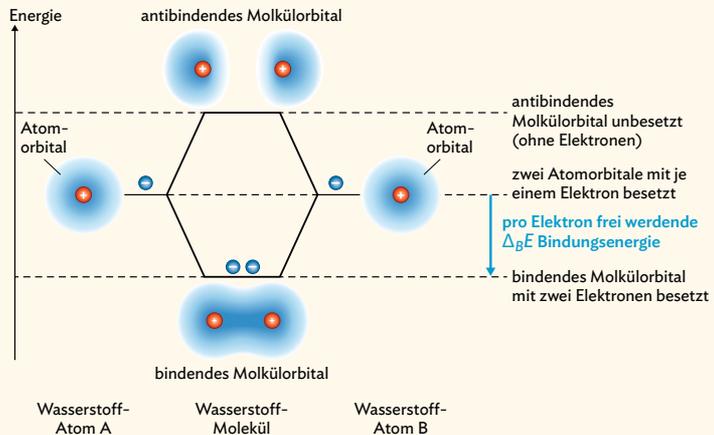
Kann die tatsächliche Elektronenverteilung im Molekül oder Molekül-Ion nur mithilfe mehrerer Valenzstrichformeln wiedergegeben werden, handelt es sich um **Mesomerie**. In solchen Fällen müssen mehrere **Grenzformeln** formuliert werden, um die tatsächliche Elektronenverteilung darzustellen.

4 Das Orbitalmodell und die Molekülorbital-Theorie

Orbitale sind Elektronenwolken, in denen sich maximal zwei Elektronen mit 90 %-iger Wahrscheinlichkeit aufhalten. Die Elektronenpaarbindung kommt nach dem **Orbitalmodell** dadurch zustande, dass zwei einfach (= mit je einem Elektron) besetzte **Atomorbitale (AOs)** zu einem doppelt (= mit zwei Elektronen) besetzten **Molekülorbital (MO)** verschmelzen. Hierfür müssen energetisch niedrig liegende, bindende MOs mit Elektronen besetzt werden.

Durch die größere Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Bindungselektronen zwischen den Atomkernen kommt es zu elektrostatischen Anziehungskräften, welche die Atome in Molekülen aneinanderbinden. Es wird **Bindungsenergie** freigesetzt.

Bei der **Molekülorbital-Theorie (MO-Theorie)** werden **Molekülorbitale** durch **Linearkombination von Atomorbitalen (LCAO)** gebildet. Dadurch werden die wahrscheinlichsten Aufenthaltsorte von Elektronen zwischen zwei Atomen bestimmt. Ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit gleich null, entsteht ein **antibindendes σ^* -Molekülorbital**, das bindungslockernd wirkt. Sind zwischen den beiden



Atomkernen Elektronen anzutreffen, bildet sich ein **bindendes σ -Molekülorbital**. Für jedes Molekül werden genau so viele Molekülorbitale gebildet, wie die beteiligten Atome insgesamt Atomorbitale besitzen (**Orbitalerhalt**). Bei der Besetzung der MOs mit Elektronen müssen die **Besetzungsregeln** beachtet werden.

Das energetisch am höchsten gelegene, besetzte MO eines Moleküls wird als **HOMO** (*highest occupied molecular orbital*) bezeichnet, das energetisch am niedrigsten gelegene, unbesetzte MO als **LUMO** (*lowest unoccupied molecular orbital*).

5 Das Hybridisierungsmodell

Die **Hybridisierung** ist eine mathematische Operation, bei der Atomorbitale miteinander vermischt werden, um die reale Struktur von Molekülen korrekt zu beschreiben. Sie ist nur dann einsetzbar, wenn die zu vermischenden Orbitale gut überlappen und wenn ihre Energien ähnlich groß sind.

Anzahl Bindungspartner	Hybridisierung	Anzahl p-Orbitale	räumliche Struktur (Bindungswinkel)
4	sp^3	0	tetraedrisch ($109,5^\circ$)
3	sp^2	1	trigonal-planar (120°)
2	sp	2	linear (180°)

Bei mehreren $C=C$ -Doppelbindungen in einem Molekül hat deren Position Einfluss auf die Bindungsverhältnisse. Liegen zwei oder mehr Einfachbindungen zwischen den Doppelbindungen von Kohlenstoff-Atomen, sind diese voneinander **isoliert** und ihre π -Orbitale wechselwirken nicht miteinander.

Sind zwei $C=C$ -Doppelbindungen nicht durch andere Bindungen unterbrochen, sind sie **kumuliert**. Die Kohlenstoff-Atome sind entlang der kumulierten Doppelbindungen linear angeordnet, die π -Orbitale sind ausgehend vom zentralen Kohlenstoff-Atom senkrecht zueinander.

Liegt genau eine Einfachbindung zwischen den Doppelbindungen, sind diese **konjugiert**. Es bildet sich ein π -Bindungssystem aus, das sich über die entsprechenden Kohlenstoff-Atome im Molekül erstreckt. Es handelt sich um **Mesomerie**.

Die Einfachbindung zwischen zwei C=C-Doppelbindungen wird kürzer und hat einen leichten Doppelbindungscharakter. Umgekehrt haben die Doppelbindungen bis zu einem gewissen Grad Eigenschaften von Einfachbindungen.

6 Kohlenwasserstoffe und Isomerie bei Kohlenwasserstoff-Molekülen

Alkane, Alkene und Alkine sind **Kohlenwasserstoffe**.

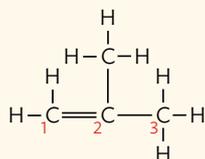
Die Moleküle von Alkanen enthalten ausschließlich Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen.

Sie haben die allgemeine Molekülformel C_nH_{2n+2} . Die Moleküle von Alkenen enthalten eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoff-Atomen.

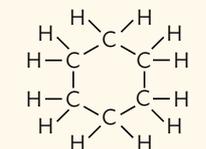
Sie haben die allgemeine Molekülformel C_nH_{2n} . In Alkin-Molekülen liegt eine Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoff-Atomen vor. Ihre allgemeine Molekülformel lautet C_nH_{2n-2} .

Mehrfachbindungen können mithilfe der **Bromwasserprobe** nachgewiesen werden. Bromwasser entfärbt sich, da die Brom-Moleküle mit den Mehrfachbindungen reagieren.

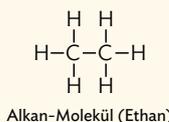
Es gibt **aliphatische** Kohlenwasserstoffe mit unverzweigten oder verzweigten kettenförmigen Molekülen sowie **cyclische** Kohlenwasserstoffe mit ringförmigen Molekülen.



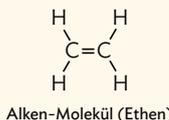
verzweigtes Alken-Molekül
(2-Methylpropen)



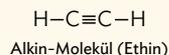
ringförmiges Alkan-Molekül
(Cyclohexan)



Alkan-Molekül (Ethan)



Alken-Molekül (Ethen)

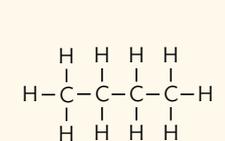


Alkin-Molekül (Ethin)

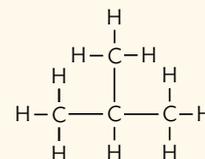
Das Auftreten mehrerer Moleküle mit gleicher Molekülformel, aber unterschiedlichem Molekülbau, wird als **Isomerie** bezeichnet. Es gibt verschiedene Isomeriearten, z. B.:

Konstitutionsisomerie: mehrere Moleküle mit gleicher Molekülformel, aber unterschiedlicher Verknüpfung der Atome im Molekülbau

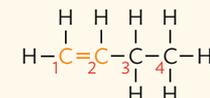
Beispiele für Konstitutionsisomerie:



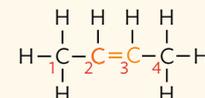
unverzweigt: n-Butan-Molekül



verzweigt: Isobutan- bzw.
2-Methylpropan-Molekül



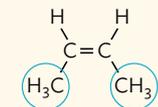
But-1-en-Molekül



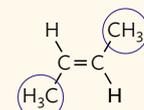
But-2-en-Molekül

E/Z-Isomerie: unterschiedliche räumliche Anordnung von Atomen in einem Molekül aufgrund der fehlenden Drehbarkeit um eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoff-Atomen

Beispiel für E/Z-Isomerie:



(Z)-But-2-en-Molekül

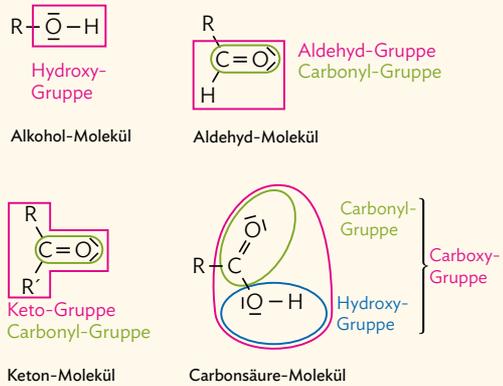


(E)-But-2-en-Molekül

7 Alkohole, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren

Die **funktionellen Gruppen** ihrer Moleküle verleihen Stoffen bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften. So enthalten **Alkohol-Moleküle Hydroxy-Gruppen**, **Aldehyd-Moleküle Aldehyd-Gruppen**, **Keton-Moleküle Keto-Gruppen** und **Carbonsäure-Moleküle Carboxy-Gruppen**.

Alkohole lassen sich mit Ammoniumcer(IV)-nitrat nachweisen, Aldehyde und Ketone mit 2,4-Dinitrophenylhydrazinlösung. Ein spezifischer Nachweis für Aldehyde ist die **SCHIFFSche Probe** (Farbumschlag von farblos nach rosa/violett). Lösungen von Carbonsäuren lassen sich mit Säure-Base-Indikatoren nachweisen.



8 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und ...

Die Eigenschaften von Stoffen werden maßgeblich von Wechselwirkungen (WW) zwischen den Teilchen bestimmt (**Struktur-Eigenschafts-Konzept**).

Wasserstoffbrücken sind besonders starke WW zwischen einem partiell positiv geladenen H-Atom (δ^+), das an ein O-, N- oder F-Atom gebunden ist, und einem nichtbindenden Elektronenpaar eines partiell stark negativ geladenen O-, N- oder F-Atoms (δ^-) eines anderen Moleküls.

Dipol-Dipol-Wechselwirkungen treten zwischen Molekülen mit permanenten Dipolen auf, die keine Wasserstoffbrücken bilden.

LONDON-Dispersionswechselwirkungen treten zwischen allen Teilchen auf. Sie beruhen auf der elektrostatischen Anziehung zwischen temporären Dipolen und sind die schwächsten WW.

Zwischen Ionen und den Partialladungen der Atome in Dipol-Molekülen kommt es zu sehr starken **Ion-Dipol-Wechselwirkungen**.

9 ... physikalische Eigenschaften

Starke WW zwischen gleichartigen Molekülen führen zu hohen **Schmelz-** und **Siedetemperaturen**. Bei schwachen WW sind die entsprechenden Werte bei ähnlicher Molekülgröße deutlich niedriger.

Die **Löslichkeit** eines Stoffes in einem Lösemittel hängt von den WW zwischen unterschiedlichen Molekülen ab. Je stärker sich die Moleküle in ihren Polaritäten ähneln, umso mehr WW sind untereinander möglich und umso besser sind die jeweiligen Stoffe ineinander löslich. **Hydrophile Stoffe** lösen sich besonders gut in Wasser, **lipophile Stoffe** in

Kohlenwasserstoffen, Fetten und Ölen. **Amphiphile Stoffe** enthalten Moleküle mit sowohl polaren als auch unpolaren Anteilen und sind daher mit beiden Lösemitteltypen mischbar.

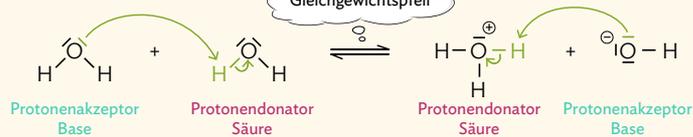


10 Saure und basische Lösungen: Stoff- und Teilchenebene

Stoffebene: (Säure-Base-)Indikatoren sind Farbstoffe, die den sauren, neutralen oder basischen Charakter einer Lösung durch entsprechende Farbänderung anzeigen. Der **pH-Wert** ist ein Maß für den Charakter einer Lösung. Saure Lösungen haben einen pH-Wert unter 7 und basische Lösungen einen pH-Wert über 7. Eine Lösung mit einem pH-Wert von 7 wird als **neutrale Lösung** bezeichnet. Ein pH-Wert-Unterschied von 1 entspricht einer 10-fachen Verdünnung oder 10-fachen Konzentrationserhöhung einer sauren bzw. basischen Lösung. Ein **Universalindikator** zeigt je nach pH-Wert unterschiedliche Farben:



Für jede Körperflüssigkeit eines Lebewesens existiert ein pH-Wert, bei dem Lebensvorgänge optimal verlaufen. Schwankungen des pH-Wertes können drastische Auswirkungen für Mensch und Umwelt haben.

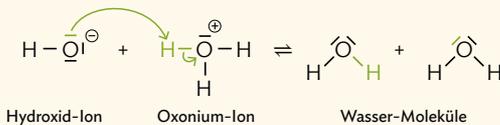


Teilchenebene: Säuren sind **Protonendonatoren**, also Teilchen, die Protonen abgeben. Basen sind **Protonenakzeptoren**, also Teilchen, die Protonen aufnehmen. Bei einer **Säure-Base-Reaktion** (= **Protolyse**reaktion) findet ein **Protonenübergang** von einer Säure auf eine Base statt. Säure-Base-Reaktionen sind reversibel. Die Hin- und Rückreaktion stellt man mithilfe eines **Gleichgewichtspfeils** dar.

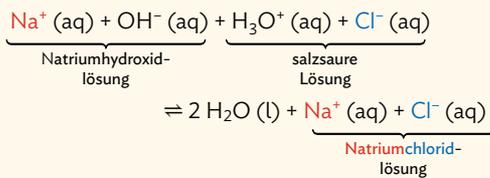
Bei der Reaktion einer Säure mit einem Wasser-Molekül entsteht ein **Oxonium-Ion H₃O⁺**. Bei der Reaktion einer Base mit einem Wasser-Molekül entsteht ein **Hydroxid-Ion OH⁻**. Dies sind die charakteristischen Teilchen saurer bzw. basischer Lösungen.

11 Neutralisation und Konzentrationsbestimmung durch Titration

Bei einer **Neutralisationsreaktion** reagieren gleiche Stoffmengen Hydroxid- und Oxonium-Ionen in einer stark exothermen Reaktion zu Wasser-Molekülen:



Dampft man die entstehende Lösung ein, erhält man ein Salz:



Die Neutralisation kann zur Bestimmung der **Stoffmengenkonzentration c** einer sauren oder basischen Lösung genutzt werden. Die Stoffmengenkonzentration ist der Quotient aus der Stoffmenge *n* des gelösten Stoffs *x* und dem Gesamtvolumen *V* der Lösung:

$$c(x) = \frac{n(x)}{V(\text{Lösung})}$$

Soll die Stoffmengenkonzentration z. B. einer sauren Probenlösung mittels **Titration** bestimmt werden, wird ein bestimmtes Volumen der Lösung (**Vorlage**) mit einem passenden Indikator versetzt. Anschließend wird so lange eine basische **Maßlösung** bekannter Stoffmengenkonzentration zugetropft, bis es zum vollständigen Farbumschlag des Indikators kommt. Dieser zeigt den **Äquivalenzpunkt** an, an dem gleiche Stoffmengen von Oxonium- und Hydroxid-Ionen miteinander reagiert haben. Aus dem verbrauchten Volumen der Maßlösung kann die Konzentration der Probenlösung berechnet werden.

12 Quantitative Aspekte chemischer Reaktionen

Messbare Größen (**Quantitätsgrößen**) können direkt im Experiment gemessen und mithilfe von **Umrechnungsgrößen** ineinander überführt werden. Mithilfe dieser Größen kann z. B. die Masse eines Produkts einer chemischen Reaktion ermittelt werden. Es gelten u. a. folgende Beziehungen:

$$N_A(\text{Stoff}) = \frac{N(\text{Stoff})}{n(\text{Stoff})} \quad (\text{Einheit: } \frac{1}{\text{mol}})$$

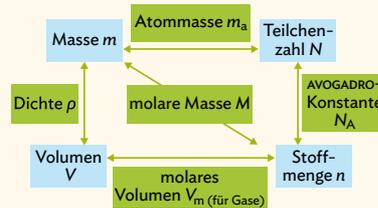
$$M(\text{Stoff}) = \frac{m(\text{Stoff})}{n(\text{Stoff})} \quad (\text{Einheit: } \frac{\text{g}}{\text{mol}})$$

$$V_m(\text{Gas}) = \frac{V(\text{Gas})}{n(\text{Gas})} \quad (\text{Einheit: } \frac{\text{L}}{\text{mol}})$$

$$\rho(\text{Stoff}) = \frac{m(\text{Stoff})}{V(\text{Stoff})} \quad (\text{Einheit: } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})$$

N_A ist die **AVOGADRO-Konstante**. Sie beträgt $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$. Das **molare Volumen** V_m

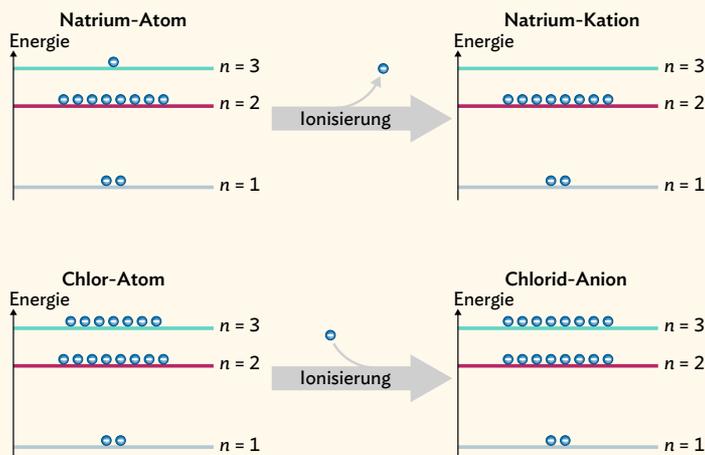
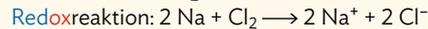
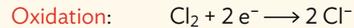
beträgt bei Standardbedingungen (298,15 K, 101,325 kPa) für (ideale) Gase $24,466 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. M bezeichnet die **molare Masse**. Sie besitzt für jeden Reinstoff einen charakteristischen Wert. Die **Stoffmenge** n wird in mol angegeben. Ein Mol ist die Stoffmenge, in der $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen enthalten sind.



13 Die Salzbildung

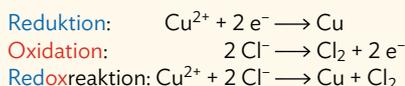
Bei der **Salzbildung** werden Atome zu Ionen. Dadurch erreichen sie eine **Edelgaskonfiguration**. Atome werden **ionisiert**, indem Valenzelektronen aufgenommen oder abgegeben werden. Die Ionisierung lässt sich gut mit Energiestufenmodellen zeigen.

Bei der Salzbildung läuft eine Redoxreaktion meist **freiwillig** ab. Metall-Atome geben Elektronen ab, die direkt von Nichtmetall-Atomen aufgenommen werden:

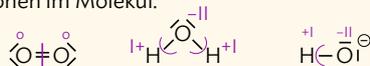


14 Redoxreaktionen und Oxidationszahlen

Eine **Redoxreaktion** besteht aus zwei Teilreaktionen: Bei der **Oxidation** gibt ein Elektronendonator (**Reduktionsmittel**) Elektronen ab und wird oxidiert. Bei der **Reduktion** nimmt ein Elektronenakzeptor (**Oxidationsmittel**) Elektronen auf und wird reduziert. Oxidation und Reduktion können als **Teilgleichungen** ausgedrückt und zu einer **Gesamtgleichung** zusammengefasst werden. Beispiel:



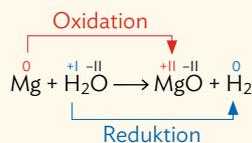
Um festzustellen, welche Atome eines Moleküls oder Molekül-Ions Elektronen aufnehmen bzw. abgeben, werden die **Oxidationszahlen (OZ)** der Atome aus den Valenzstrichformeln der Moleküle und Molekül-Ionen ermittelt. Die Bindungselektronen werden dafür formal aufgeteilt bzw. dem elektronegativeren Bindungspartner zugeordnet. Die Oxidationszahl ergibt sich aus der Differenz zwischen der Anzahl der Elektronen im ungebundenen Atom und der Anzahl der zugeordneten Elektronen im Molekül.



Alternativ können folgende Regeln genutzt werden. Widersprechen sich zwei Regeln, gilt die zuerst genannte:

Atome von Elementen	OZ = 0
Atom-Ionen	OZ = Ionenladungszahl
Moleküle	Summe aller OZ = 0
Molekül-Ionen	Summe aller OZ = Ladungszahl des Molekül-Ions
Atome in Verbindungen:	
1. Metall-Atome	positive OZ
2. Fluor-Atome	OZ = -I
3. Wasserstoff-Atome	meist OZ = +I
4. Sauerstoff-Atome	meist OZ = -II
5. Chlor-, Brom- und Iod-Atome	meist OZ = -I

Eine **Erhöhung der Oxidationszahl** entspricht einer **Oxidation** und eine **Erniedrigung der Oxidationszahl** einer **Reduktion**.



15 Säure-Base-Reaktionen und Redoxreaktionen im Vergleich

Sowohl Säure-Base-Reaktionen als auch Redoxreaktionen verlaufen nach dem **Donator-Akzeptor-Konzept**. Sie lassen sich mithilfe von Oxidationszahlen unterscheiden. Ändern sich die Oxidationszahlen, handelt es sich um eine Redoxreaktion. Bleiben alle Oxidationszahlen gleich, kann es sich um eine Säure-Base-Reaktion handeln.

Säure-Base-Reaktion: Protonenübertragung (H^+)



Redoxreaktion: Elektronenübertragung (e^-)



16 Redoxreaktionen in wässrigen Lösungen

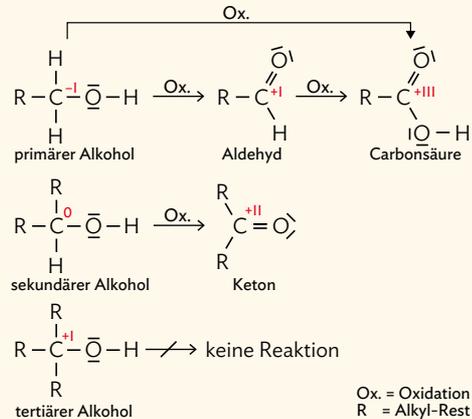
Redoxreaktionen können in sauren und basischen Lösungen unterschiedlich verlaufen. So entstehen bei der Reaktion von Kaliumpermanganat mit Natriumsulfid in saurer Lösung Mangan(II)-Ionen und in basischer Lösung Mangan(VI)-Ionen.

Beim Aufstellen der Teilgleichungen solcher Redoxreaktionen geht man wie folgt vor:

1. Oxidationszahlen ermitteln.
2. Änderung der Oxidationszahlen mit entsprechender Anzahl Elektronen ausgleichen.
3. Ladungen je nach saurem oder basischem Charakter der Lösung mit Oxonium- oder Hydroxid-Ionen ausgleichen.
4. Atombilanz mit Wasser-Molekülen ausgleichen.

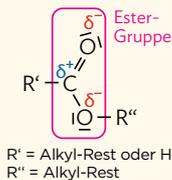
17 Redoxreaktionen von Alkoholen und Aldehyden

Je nach Stellung der Hydroxy-Gruppe im Molekül unterscheidet man **primäre, sekundäre** und **tertiäre Alkohole**. Die Moleküle primärer Alkohole können zu Aldehyd-Molekülen bzw. mit starken Oxidationsmitteln zu Carbonsäure-Molekülen oxidiert werden. Die Moleküle sekundärer Alkohole können zu Keton-Molekülen oxidiert werden. Die Moleküle tertiärer Alkohole können in wässrigen Lösungen nicht oxidiert werden.



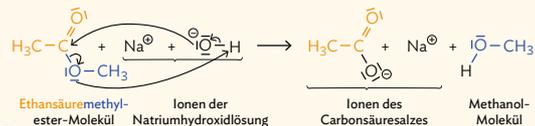
18 Carbonsäureester und Aminocarbonsäuren

Die Moleküle von **Carbonsäureestern** enthalten eine polare funktionelle Gruppe, die **Ester-Gruppe**, an die zwei unpolare Alkyl-Reste gebunden sind. Mit steigender Länge der Alkyl-Reste sinkt die Löslichkeit der Carbonsäureester in Wasser, da die polare Ester-Gruppe an Einfluss verliert. Aus diesem Grund sind die meisten Carbonsäureester lipophil. Aufgrund der geringen Polarität wirken zwischen Carbonsäureester-Molekülen hauptsächlich LONDON-Dispersionswechselwirkungen und schwache Dipol-Dipol-Wechselwirkungen. Somit ergeben sich niedrigere Siedetemperaturen als bei den entsprechenden Alkoholen.

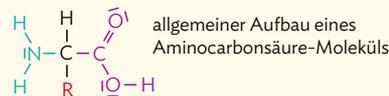


Die Esterkondensation ist **reversibel** (umkehrbar). Die Umkehrreaktion ist die säurekatalysierte **Esterhydrolyse**.

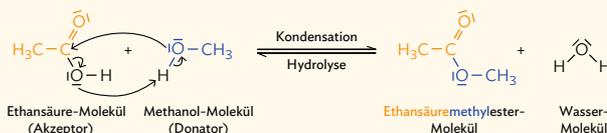
Auch in basischen Lösungen reagieren Ester zu Alkoholen und Carbonsäuren. Die baseninduzierte Esterhydrolyse ist **irreversibel** (nicht umkehrbar):



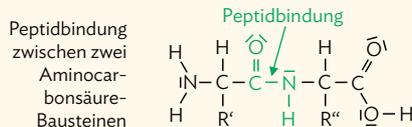
Die Moleküle von **Aminocarbonsäuren** besitzen eine **Carboxy-Gruppe**, eine benachbarte **Amino-Gruppe** sowie einen individuellen **Aminocarbonsäure-Rest R**.



Carbonsäureester kann man in einer säurekatalysierten **Esterkondensation** aus Alkoholen und Carbonsäuren herstellen. Die Reaktion verläuft nach dem **Donator-Akzeptor-Prinzip**. Dabei wird ein Elektronenpaar von einem **nukleophilen** Teilchen (Donator) zu einem **elektrophilen** Teilchen (Akzeptor) hin verschoben:



In einer **Kondensationsreaktion** können sich die Amino-Gruppe eines Aminocarbonsäure-Moleküls (Nukleophil) und die Carboxy-Gruppe eines zweiten Aminocarbonsäure-Moleküls (Elektrophil) unter Abspaltung von Wasser miteinander verbinden. Es entsteht eine **Peptidbindung**.

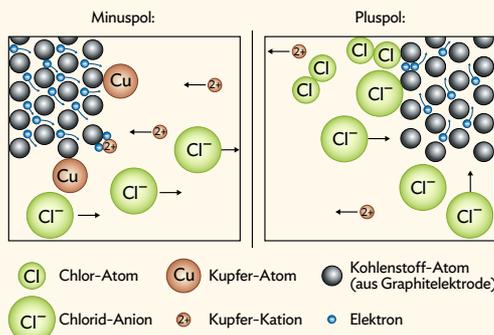


19 Elektrolyse

Die **Elektrolyse** ist eine Möglichkeit, eine chemische Verbindung zu zerlegen. Zwei Elektroden werden in eine elektrisch leitfähige Salzlösung oder Salzschnmelze getaucht und Gleichspannung angelegt. Dabei findet eine Elektronenübertragung statt. Am Minuspol nehmen die Metall-Kationen Elektronen auf und werden zu Metall-Atomen. Am

Pluspol geben die Nichtmetall-Anionen Elektronen ab und werden zu Nichtmetall-Atomen.

Wichtige industrielle Anwendungen der Elektrolyse sind die Herstellung von Metallen aus den Erzen sowie das Überziehen von Werkstücken mit einer Metallschicht als Korrosionsschutz oder zur Verzierung.



Für die Herstellung von Aluminium verwendet man eine **Schmelzflusselektrolyse**. Dabei wird ein Aluminiumsalz geschmolzen und die Salzschnmelze elektrolysiert. Dafür werden sehr große Mengen Energie benötigt und es fallen schädliche Stoffe an.

Um Metallüberzüge herzustellen, wird das Werkstück üblicherweise als Minuspol in einer Salzlösung verwendet, die das aufzubringende Metall als Metallsalz enthält. Auch bei diesem Prozess kann es zu schädlichen Abfallprodukten kommen. Diese können teilweise mittels Elektrolyse wiedergewonnen werden.

20 Elektrochemische Stromerzeugung

In der **Redoxreihe** sind die Metalle nach der Tendenz ihrer Atome angeordnet, Elektronen abzugeben. Je **unedler** ein Metall ist, desto leichter lassen sich seine Atome oxidieren. Je **edler** ein Metall ist, desto leichter lassen sich seine Kationen reduzieren.

gung genutzt werden. In einer **Batterie** wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Dabei läuft eine Redoxreaktion freiwillig ab. Zellen, die generell nicht wiederaufgeladen werden können, werden als **Primärzellen** bezeichnet.

Das unterschiedliche Reaktionsverhalten der Metalle kann zur **elektrochemischen Stromerzeugung**

Ein Beispiel für eine einfache Batterie ist das **DANIELL-Element**. Es besteht aus einer Zink- und einer Kupferhalbzelle, die durch eine Salzbrücke verbunden sind. Die Zinkhalbzelle enthält eine Zinksalzlösung und eine Zinkelektrode. Die Kupferhalbzelle enthält eine Kupfersalzlösung und eine Kupferelektrode. Die Elektroden sind über einen elektrischen Leiter mit einem Verbraucher verbunden.

unedle Metalle										edle Metalle		
Li	Ca	Mg	Al	Zn	Fe	Sn	Pb	Cu	Ag	Pt	Au	
leicht zu oxidieren										guter Elektronenakzeptor		
guter Elektronendonator										leicht zu reduzieren		
Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Ag ⁺	Pt ²⁺	Au ³⁺	

Oxidation und Reduktion finden räumlich getrennt jeweils in einer Halbzelle statt. Der Elektronenübergang vom Elektronendonator zum Elektronenakzeptor erfolgt über den elektrischen Leiter. Die Elektronen fließen von der Zinkelektrode (Minuspol) über den Verbraucher zur Kupferelektrode (Pluspol). Dieser Aufbau wird als **GALVANISCHE ZELLE** bezeichnet.

Akkumulatoren (Akkus) sind wiederaufladbare Energiespeicher, man spricht daher auch von **Sekundärzellen**. Beim Laden läuft eine erzwungene Redoxreaktion ab, beim Entladen läuft eine Redoxreaktion freiwillig ab. Ein Beispiel ist der Zink-Iod-Akku. Beim Laden wird Zink(II)-iodid elektrolysiert, beim Entladen reagieren Zink und Iod zu Zink(II)-iodid.

21 Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit

Die **Stoßtheorie** besagt, dass Edukt-Teilchen mit einer **Mindestenergie** E_{\min} bei einem Zusammenstoß zu Produkt-Teilchen umgesetzt werden. Die dafür nötige Mindestenergie entspricht der **Aktivierungsenergie** E_A der Reaktion.

Mit der Stoßtheorie können Einflüsse auf die Reaktionsgeschwindigkeit erklärt werden. Sie ist umso höher, je höher

- die Temperatur (**RGT-Regel**),
- die Konzentration eines Edukts,
- der Druck in Systemen mit mindestens einem gasförmigen Edukt,

- der Zerteilungsgrad eines festen Edukts ist.

Katalysatoren beschleunigen chemische Reaktionen, indem sie durch die Bildung eines **Zwischenprodukts** die Aktivierungsenergie der Reaktion herabsetzen.

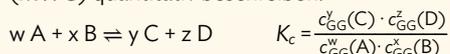
Bei der **homogenen Katalyse** liegen Katalysator und Edukte im selben Aggregatzustand bzw. in derselben Phase vor. Bei der **heterogenen Katalyse** befinden sich Katalysator und Edukte in unterschiedlichen Aggregatzuständen bzw. Phasen.

22 Das chemische Gleichgewicht und das Massenwirkungsgesetz

Chemische Reaktionen sind **umkehrbar** (reversibel). Bei Gleichgewichtsreaktionen laufen **Hin-** und **Rückreaktion** gleichzeitig ab, wodurch es zu einem **unvollständigen Umsatz** von Edukten und Produkten kommt. Im **Gleichgewichtszustand** laufen Hin- und Rückreaktion mit gleicher Geschwindigkeit ($v_{\text{Hin}} = v_{\text{Rück}}$) ab. So bleiben Edukt- und Produktkonzentrationen im Gleichgewichtszustand konstant. Das Gleichgewicht ist **dynamisch**.

Bei einer gegebenen Temperatur stellt sich für jede Gleichgewichtsreaktion ein charakteristisches Produkt-Edukt-Konzentrationsverhältnis ein.

Dieses lässt sich mittels der **Gleichgewichtskonstanten** K_c über das **Massenwirkungsgesetz (MWG)** quantitativ beschreiben:



Anhand von K_c lassen sich vereinfachte Aussagen über die Gleichgewichtslage formulieren:

	Die Konzentration der Produkte ...
$K_c < 1$	ist niedriger als die der Edukte.
$K_c = 1$	ist gleich der der Edukte.
$K_c > 1$	ist größer als die der Edukte.

Das MWG kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Reaktion aufgestellt werden, indem die Konzentrationen zu diesem Zeitpunkt in die Formel eingesetzt werden. Man erhält den **Massenwirkungsquotienten** Q :

$$Q = \frac{c^y(\text{C}) \cdot c^z(\text{D})}{c^w(\text{A}) \cdot c^x(\text{B})} \cdot \text{Es gilt:}$$

	Richtung der Gleichgewichtsreaktion
$Q < K_c$	Die Hinreaktion läuft verstärkt ab.
$Q = K_c$	Das chemische Gleichgewicht ist erreicht.
$Q > K_c$	Die Rückreaktion läuft verstärkt ab.

23 Das Prinzip von LE CHATELIER

Stört man ein System im chemischen Gleichgewicht durch Änderung der äußeren Bedingungen (c -, p -, T -Änderung), weicht das Gleichgewicht diesem äußeren Zwang aus. Dazu findet die Reaktion verstärkt statt, die der Änderung entgegenwirkt. Man bezeichnet dies als **Prinzip vom kleinsten Zwang**.

Die Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts durch Konzentrations- und Druckänderungen verursacht eine Veränderung der Gleichgewichtszusammensetzung. Der Wert von K_c bleibt unverändert, da sich das gleiche Produkt-Edukt-Konzentrationsverhältnis wiederinstellt.

Temperaturveränderungen verursachen eine Veränderung der Gleichgewichtszusammensetzung. Hierbei verändert sich jedoch auch der Wert der Gleichgewichtskonstante K_c , da sich ein neues Produkt-Edukt-Konzentrationsverhältnis einstellt.

Änderung ...	begünstigt die Reaktion, die ...
Konzentration \uparrow	den Stoff mit erhöhter Konzentration verbraucht.
Konzentration \downarrow	den Stoff mit verminderter Konzentration entstehen lässt.
Temperatur \uparrow	endotherm verläuft.
Temperatur \downarrow	exotherm verläuft.
Druck \uparrow	unter Volumenabnahme erfolgt.
Druck \downarrow	unter Volumenzunahme erfolgt.

Einflussfaktoren auf das chemische Gleichgewicht

Ein Katalysator beeinflusst das chemische Gleichgewicht nicht, da er nur die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Die Einstellung des Gleichgewichtszustandes wird beschleunigt, da die Hin- und Rückreaktion schneller verlaufen.

24 Fossile und nachwachsende Rohstoffe

Die fossilen Brennstoffe **Kohle**, **Erdöl** und **Erdgas** können zur Energiegewinnung und als Rohstoffe für zahlreiche Produkte eingesetzt werden. Bei ihrer Verbrennung entstehen **Treibhausgase**. Diese haben Einfluss auf den **Treibhauseffekt** und das Klima, denn sie absorbieren Wärmestrahlung. Fossile Brennstoffe sind zudem nur begrenzt verfügbar. Aus diesem Grund setzt man zunehmend auf **nachwachsende Rohstoffe**. Das sind organische Stoffe aus der Land- und Forstwirtschaft, die vom Menschen zielgerichtet für Anwendungszwecke außerhalb des Nahrungs- und Futterbereiches verwendet werden. Der vermehrte

Anbau nachwachsender Rohstoffe kann jedoch zu zahlreichen Problemen, wie z. B. Futter- und Nahrungsmittelknappheit führen.

Neben fossilen und nachwachsenden Energieträgern können auch die **erneuerbaren Energien** durch Wind-, Wasserkraft- und Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung genutzt werden. Überschüssig produzierter Strom kann mithilfe des **Power-to-Gas-Verfahrens** gespeichert werden. Dabei wird die elektrische Energie durch die Elektrolyse von Wasser in chemische Energie umgewandelt und im Brennstoff Wasserstoff gespeichert.

Sicher arbeiten im Chemielabor

Meldungen über Unfälle im Chemieunterricht gibt es zum Glück nur selten. Das ist bemerkenswert, denn in keinem anderen Schulfach werden so gefährliche Substanzen benutzt wie im Chemieunterricht. Der Grund für

diese funktionierende Sicherheit sind die **Sicherheitsvorkehrungen**, die für den Chemieunterricht gelten, um Unfälle zu vermeiden.

Die 10 „goldenen Regeln“ für die Sicherheit im Chemieunterricht

1 Chemielehrerinnen und -lehrer erkennen viele Gefahren, die von Gegenständen oder Stoffen im Chemieraum ausgehen. Darum:
Betreten Sie Chemieräume nur nach der Lehrkraft!

2 Essen und trinken Sie nicht im Chemieraum! Um einen Kontakt mit den giftigen Chemikalien auch nach der Chemiestunde zu verhindern:
Waschen Sie sich nach dem praktischen Arbeiten die Hände!

3 Tragen Sie im Chemielabor immer eine Schutzbrille!
Augenverletzungen können bereits beim Holen der Chemikalien und auch beim Aufräumen entstehen, darum setzen Sie die Schutzbrille als erstes auf und als letztes ab!

4 Richten Sie Reagenzglasöffnungen niemals auf Personen!
Sollte trotzdem einmal etwas ins Auge gehen, spülen Sie das Auge sofort gründlich mit der Augendusche. So können Sie größere Augenschäden vermeiden.

5 Berühren Sie niemals Chemikalien mit den Händen, außer Sie haben die Erlaubnis von der Lehrkraft!

6 Lassen Sie nichts Unnötiges auf dem Tisch liegen, wenn Sie mit Feuer (offenen Flammen) umgehen!
Binden Sie lange Haare zu einem Zopf zusammen!
Ziehen Sie lange Kleidung an, die aus Baumwolle besteht und nicht zu weit ist!

7 Halten Sie sich genau an die Versuchsvorschriften und Anweisungen der Lehrkraft!
Wenn einmal etwas unklar ist, fragen Sie nach. Wenn Sie ein Experiment selbst geplant haben, lassen Sie sich von der Lehrkraft die Erlaubnis geben, dieses auch so durchführen zu dürfen.

8 Chemikalien dürfen nicht verunreinigt werden:
Entnehmen Sie Chemikalien immer nur in kleinen Mengen mit einem sauberen Spatel oder einer Pipette!
Haben Sie einmal zu viel entnommen, geben Sie den Rest nicht zurück in die Vorratsflasche!

9 Informieren Sie die Lehrkraft, wenn Sie etwas verschüttet haben oder wenn sich jemand verletzt hat!

10 Reinigen Sie nach dem praktischen Arbeiten die Arbeitsflächen und entsorgen Sie die Chemikalien vorschriftsmäßig (vgl. Entsorgungshinweise auf S. 209)!

INFO

Bei der Planung eines Versuchs kann das sogenannte **STOP-Prinzip** hilfreich sein. Die Buchstaben stehen für Schutzmaßnahmen, die der Reihenfolge nach zu prüfen und anzuwenden sind:

Substitution (Ersatz eines Gefahrstoffs durch einen Stoff mit geringerer Gefährdung)

Technische Schutzmaßnahmen (z. B. Abzug, Schutzscheiben)

Organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. kleinerer Maßstab, Verdünnung)

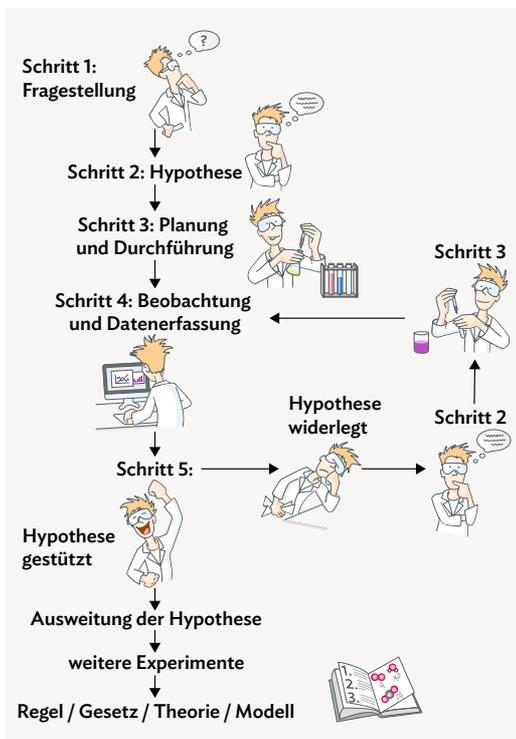
Persönliche Schutzmaßnahmen (z. B. Schutzbrille, Handschuhe, Atemschutz)

Den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg gehen

Forschende versuchen, bekannte Sachverhalte zu erklären und Vermutungen zur Vorhersage noch unbekannter Phänomene aufzustellen. Ihre Erkenntnisse sowie die entsprechenden Regeln und Gesetzmäßigkeiten können sie auf einem bestimmten Weg, dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg (B1), gewinnen.

VORGEHEN

- 1. Fragestellung:** Leiten Sie aus einem Alltagsphänomen eine Problemstellung ab, die mithilfe von Versuchsergebnissen beantwortet werden kann.
- 2. Hypothese (= überprüfbare Vermutung):** Stellen Sie aus Ihren Kenntnissen und Erfahrungen eine experimentell überprüfbare Vermutung auf. Diese Hypothese soll aufgrund der Versuchsergebnisse gestützt werden oder sie stellt sich als falsch heraus und wird somit widerlegt.
- 3. Planung (mit Material) und Durchführung:** Überlegen Sie sich ein Experiment, mit dem Sie die Hypothese überprüfen können. Planen Sie das Experiment möglichst genau. Notieren Sie die Durchführung so, dass jemand anderes das Experiment wiederholen und die Ergebnisse überprüfen kann. Recherchieren Sie die Gefahrstoffkennzeichnung aller Edukte und Produkte (vgl. S. 208). Achten Sie auf den sicherheitsgerechten Umgang und entsorgen Sie die Stoffe umweltgerecht (vgl. S. 209).
- 4. Beobachtungen und Datenerfassung:** Sie können direkt mit Ihren Sinnen (z. B. Sehsinn) beobachten oder Daten mit Messgeräten (z. B. Waage) erfassen. Formulieren Sie hier noch keine Erklärungen.
- 5. Interpretation mit Hypothesenprüfung:** Werten Sie Ihre Beobachtungen bzw. Daten geeignet aus (z. B. Tabelle, Diagramm). Interpretieren Sie unter Einbezug der Blindproben die Beobachtungen und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung. Entscheiden Sie, ob Ihre Hypothese gestützt oder widerlegt wird.
 - a) Hypothese widerlegt:** Stellen Sie eine neue Hypothese auf und überprüfen Sie diese durch Experimente.
 - b) Hypothese gestützt:** Führen Sie weitere Experimente durch, um die Hypothese weiter zu stützen, zu konkretisieren oder auszuweiten. Wenn die Hypothese ausreichend gestützt wird, können Sie eine allgemeingültige Regel oder ein Gesetz ableiten. Das Gesetz sollte wiederum mit Experimenten überprüft werden.



B1 Der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg

Mit einer Gefahrstoffdatenbank umgehen

Das Wissen über Gefahrstoffe ist die Grundlage, die Unfallgefahr im Labor niedrig halten zu können. Wichtige Informationen zu Gefahrstoffen findet man beispielsweise in Stoffdatenbanken.

Die Gefahrstoffdatenbank GESTIS

Die frei zugängliche GESTIS-Stoffdatenbank wird von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) online zur Verfügung gestellt. Sie enthält Informationen zu über 8.700 Stoffen (B1).

Die sicherheitstechnische Einstufung von Chemikalien ist einer ständigen Entwicklung ausgesetzt. Das Gefahrenpotenzial eines Stoffes sollte vor jedem Versuch erneut überprüft werden.

VORGEHEN

1. Rufen Sie die Website <https://gestis.dguv.de/> auf.
2. Informieren Sie sich unter „Home“ → „Inhalte“ kurz über die Arbeit mit der Datenbank (B1).

- IDENTIFIKATION
- CHARAKTERISIERUNG
- FORMEL
- PHYSIKALISCH CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN
- TOXIKOLOGIE / ÖKOTOXIKOLOGIE
- ARBEITSMEDIZIN UND ERSTE HILFE
- SICHERER UMGANG
- VORSCHRIFTEN
- LINKS
- LITERATURVERZEICHNIS

B1 Übersicht über die Daten eines Stoffdatenblattes

3. Die Suchfunktion bietet die Möglichkeiten, nach Stoffname, (Identifikations-)Nummern oder Summenformel (Molekül- bzw. Verhältnisformel) zu suchen. Optional ist auch eine Volltextsuche verfügbar, um noch mehr über eine(n) Stoff-(gruppe) zu erfahren.

The screenshot shows the search interface of the GESTIS database. It has a navigation bar with 'Home', 'Liste A-Z', 'Suche', and 'Datenblatt'. Below it are three search input fields: 'Stoffname', 'Nummern', and 'Formel'. There are also buttons for 'Suchen' and 'Exakte Suche'.

Tippen Sie bei „Stoffname“ den gewünschten Suchbegriff ein. Die Funktion „Suchen“ liefert alle Stoffe, in deren (systematischen) Namen der Begriff enthalten ist. Die „Exakte Suche“ liefert in der Regel ausschließlich den gesuchten Stoff.

4. Klicken Sie auf den Namen, um zum Stoffdatenblatt zu gelangen.
5. Zur Offline-Nutzung können Sie sich das gesamte Stoffdatenblatt oder Teile davon ausdrucken oder als PDF-Datei herunterladen.

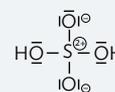
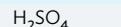
Tipps und Tricks bei der Recherche

Nicht immer sind in Gefahrstoffdatenbanken die IUPAC-Namen hinterlegt. Der Gefahrstoff Wasserstoffchlorid wird beispielsweise auch als Chlorwasserstoff, Salzsäuregas oder Hydrogenchlorid bezeichnet. Auch Chemikerinnen und Chemiker benennen im Labor nicht immer jeden Stoff systematisch. Mit „Ammoniak“ ist beispielsweise häufig eine Ammoniaklösung gemeint. Unterschiedliche Bezeichnungen können die Suche in einer Gefahrstoffdatenbank erschweren. Mit ein paar Kniffen kann man vielen Problemen bei der Recherche nach Gefahrstoffen vorbeugen.

VORGEHEN

1. Nehmen Sie sich ausreichend Zeit für die Recherche und arbeiten Sie gewissenhaft. Eine fehlerhafte Recherche kann fatale Folgen haben.
2. Kennen Sie mehrere Bezeichnungen eines Stoffes, so probieren Sie alle aus, bis die Suche erfolgreich ist oder geben Sie die Identifikationsnummer des Stoffes ein.
3. Die Eingabe der Molekül- bzw. Verhältnisformel (in GESTIS „Summenformel“) erfolgt teilweise entgegen der Gewohnheit alphabetisch nach Atomartsymbol.
Hinweis: Molekül-Ionen, z. B. das Sulfat-Ion SO_4^{2-} , werden gebunden in Molekülen meist als Einheit angegeben: H_2SO_4 statt $\text{H}_2\text{O}_4\text{S}$ (B2). Es können auch Klammern verwendet werden, z. B. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.
4. Überprüfen Sie anhand der (Halbstruktur-) Formeln der im Stoff enthaltenen Teilchen im Datenblatt, ob Sie auch wirklich den gesuchten Stoff recherchiert haben (B2).

FORMEL



Molmasse: 98,08 g/mol

B2 Kapitel „Formel“ des Datenblattes von Schwefelsäure

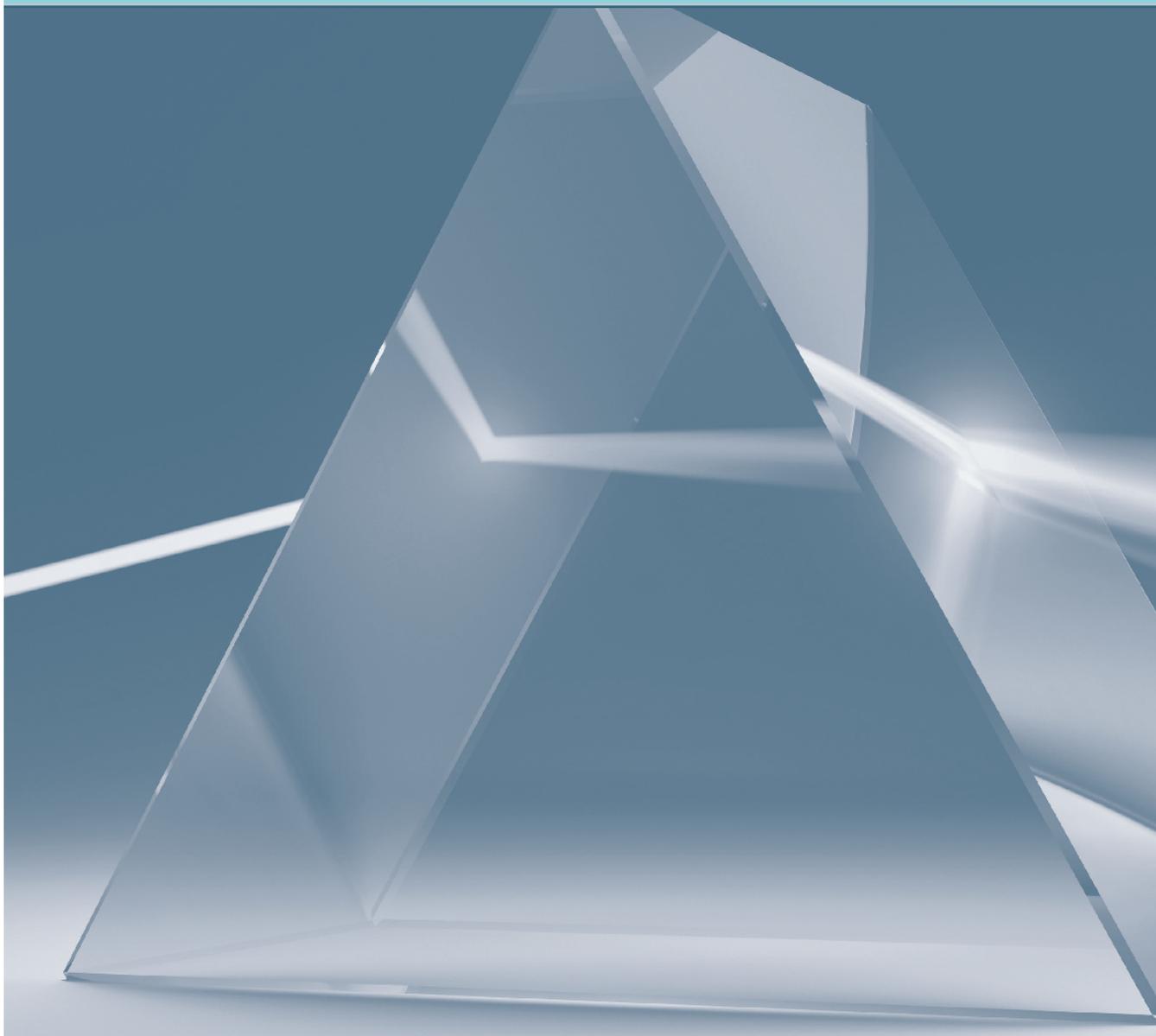
INFO

Bei der Planung eines Experimentes kann das sogenannte STOP-Prinzip hilfreich sein (➔ QR 06043-003).



06043-003

2 Farbigkeit





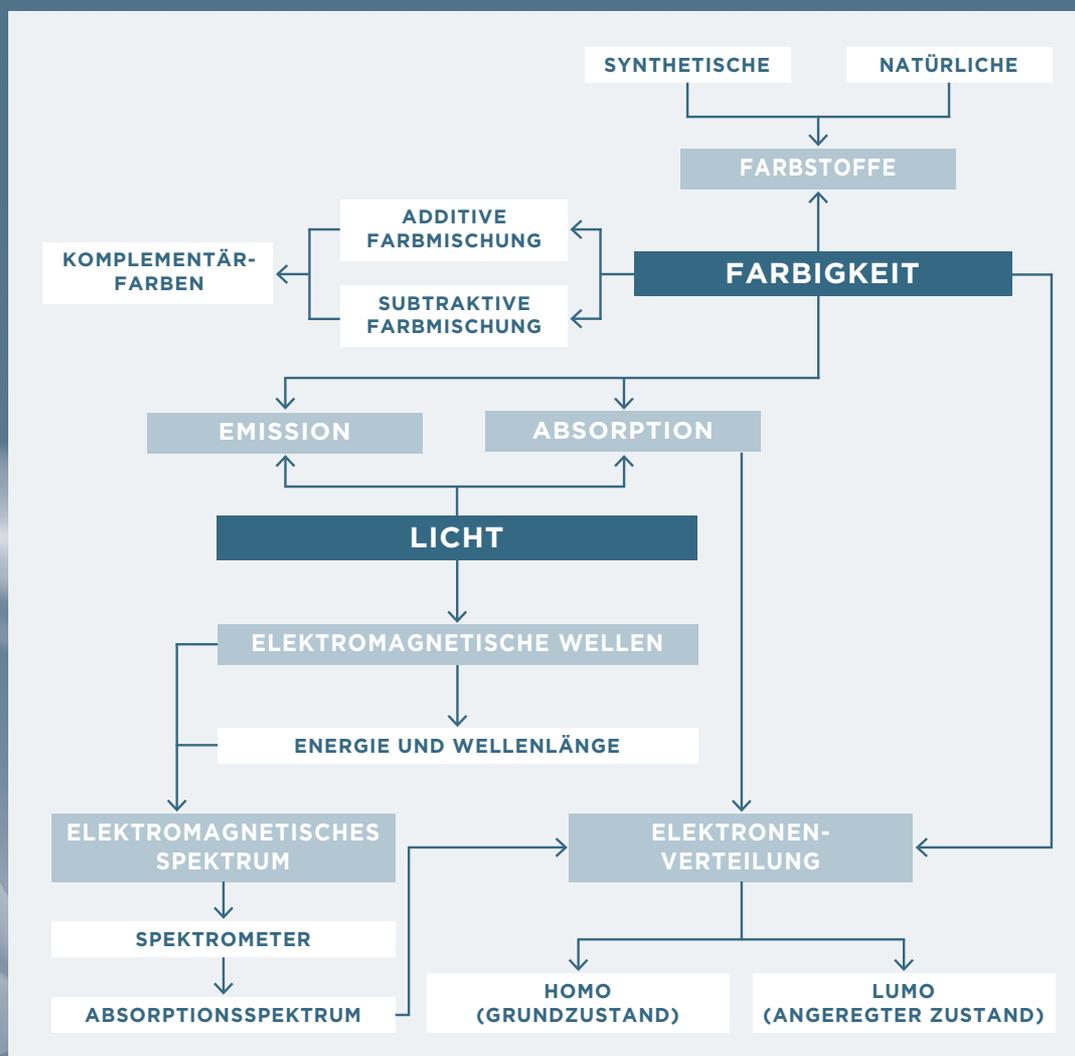
06043-100

eA Hier finden Sie das digitale Zusatzmaterial zu den Inhalten für das erhöhte Anforderungsniveau.



06043-004

Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06043-004



Startklar?

Schätzen Sie Ihre Kompetenz in den Bereichen A bis D ein und prüfen Sie sich anhand der entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt ➔ QR 06043-005).



06043-005

Unter ➔ QR 06043-006 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.



06043-006

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig
A Atombau und Energiestufen beschreiben	---	---	---
B Flammenfärbung durch Elektronenanregung charakterisieren	---	---	---
C Zusammenhang zwischen Absorption und Emission erklären	---	---	---
D Farbstoffe im Alltag ermitteln	---	---	---

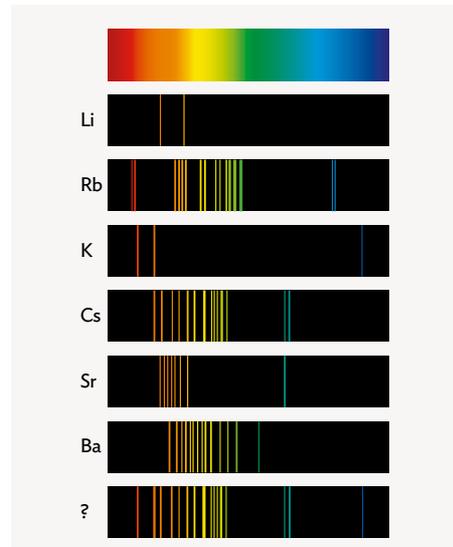
KOMPETENZ A: Atombau und Energiestufen beschreiben

- A1** Übernehmen Sie von den folgenden Aussagen diejenigen in Ihre Unterlagen, die auf das Energiestufenmodell zutreffen.
- Das Atom besteht aus einem Kern und einer Hülle.
 - 99 % der Atommasse sind in der Hülle zu finden.
 - Die Atomhülle ist aus mehreren Energieniveaus aufgebaut.
 - Auf jedem Energieniveau sind maximal acht Elektronen unterzubringen.
 - Elektronen in der Atomhülle besitzen nur ganz diskrete Energiebeiträge.
- A2** Stellen Sie das Energiestufenschema eines Chlor-Atoms und eines Chlorid-Ions auf.

KOMPETENZ B: Flammenfärbung durch Elektronenanregung charakterisieren

- B1** Beschreiben Sie die Nachweismethode der Flammenfärbung und geben Sie an, welche Substanzen damit nachgewiesen werden können.
- B2** Stellen Sie in einem Energiestufenschema eines Lithium-Kations schematisch dar, welche Vorgänge bei der Flammenfärbung in der Atomhülle stattfinden.
- B3** Erklären Sie wie die charakteristischen Lichtfarben bei Atomen bzw. Ionen zustandekommen.

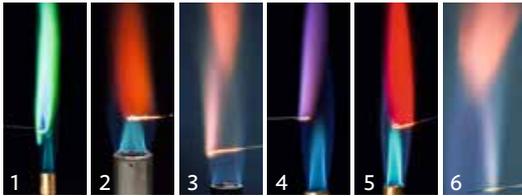
- B4** B1 zeigt die charakteristischen Linienspektren bestimmter Elemente sowie das Linienspektrum einer unbekanntem Stoffprobe (unten).
- a) Beschreiben Sie den Unterschied zwischen den Linienspektren der Elemente und des Gesamtspektrums (oberste Zeile), sowie die Unterschiede zwischen den Linienspektren der Elemente.
 - b) Leiten Sie ab, welche Elemente in der unbekanntem Stoffprobe enthalten sind.



B1 Linienspektren

- c) Formulieren Sie eine Vermutung über die Flammenfarben, die von Metallsalzen der Elemente aus **B1** erzeugt werden und ordnen Sie die Flammenfarben aus **B2** den Linienspektren aus **B1** zu.

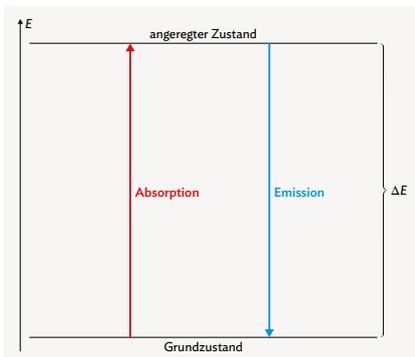
Hinweis: Keine der Flammenfarben wurde durch die unbekannte Stoffprobe erzeugt.



B2 Flammenfärbungen einiger Salze

KOMPETENZ C: Zusammenhang zwischen Absorption und Emission erklären

- C1** Erklären Sie anhand von **B3** wie Linienspektren zustande kommen.



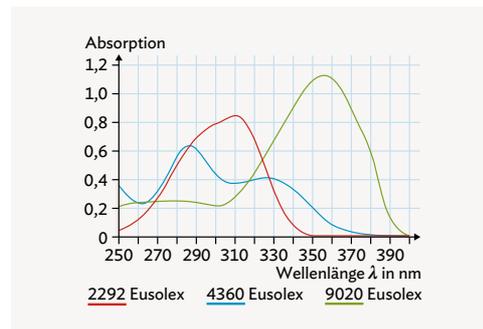
B3 Anregung von Elektronen

- C2** Übernehmen Sie **B3** in Ihre Unterlagen und erweitern Sie die Abbildung um vier weitere angeregte Zustände. Erklären Sie damit den Zusammenhang zwischen Elektronenübergängen und den Wellenlängen des emittierten Lichts.

- C3** Erläutern Sie den Unterschied zwischen der Farbigkeit durch Lichtabsorption und der Farbigkeit durch Lichtemission in Bezug auf die wahrgenommene Farbe eines Gegenstands und das Farbspektrum des Lichts, mit dem der Gegenstand angestrahlt wird.

KOMPETENZ D: Farbstoffe im Alltag ermitteln

- D1** **B4** zeigt drei Spektren im ultravioletten Bereich des Lichts. Begründen Sie anhand der Spektren, welche der in der Abbildung genannten Proben für einen UV-Breitbandfilter in einer Sonnencreme geeignet sind.



B4 Absorptionsverhalten von Sonnenschutzprodukten

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf den Seiten 190 f. und geben Sie sich die entsprechende Punktzahl.

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig	zum Nachlesen
A Atombau und Energiestufen beschreiben	10 – 8	7 – 5	4 – 2	S. 12 – 13 und in Ihrem Sek I-Buch
B Flammenfärbung durch Elektronenanregung charakterisieren	20 – 16	15 – 12	11 – 8	S. 13 und in Ihrem Sek I-Buch
C Zusammenhang zwischen Absorption und Emission erklären	12 – 10	9 – 7	6 – 4	in Ihrem Sek I-Buch
D Farbstoffe im Alltag ermitteln	3	2	1	in Ihrem Sek I-Buch



2.1 Emission und Absorption von Licht

Betrachtet man alte Bilder, so erscheinen sie wie aus einer anderen Welt. Die fehlende Farbe verleiht Ihnen eine ganz besondere Aussagekraft. Da es schwer ist, sich Farben nachträglich vorzustellen, sieht man die damalige Welt oft schwarz-weiß. Das Phänomen von Farbigkeit begegnet uns jedoch eigentlich immer. Wie entsteht Farbigkeit?

2.1.1 Versuche und Material

V Die Zusammensetzung von weißem Licht

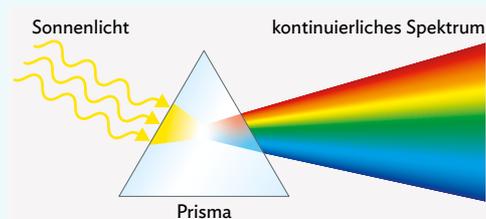


Schon 1671 wurde der Charakter von farblosem Licht untersucht. Die damaligen Versuche von ISAAC NEWTON können im Labor nachvollzogen werden.

V1 Legen Sie an einem sonnigen Tag ein geschliffenes Prisma auf ein weißes Blatt Papier. Orientieren Sie das Prisma so, dass auf dem Blatt die einzelnen Farbkomponenten des Lichts zu sehen sind (**B1**).

LV2 Es werden drei Lichtquellen mit den Farben Rot, Grün und Blau auf eine weiße Wand gerichtet. Anschließend werden die drei Lichtkegel überlappend angeordnet und die entstehenden Farbtöne beobachtet.

V3 Mischen Sie mit einem Pinsel die drei Farben Rot, Grün und Blau eines Wasserfarbkastens in verschiedenen Anteilen miteinander. Beobachten Sie die entstehenden Farbtöne.



B1 Versuchsaufbau zu V1

AUSWERTUNG

- Notieren Sie den in **V1** zu beobachtenden Farbverlauf. Prüfen Sie, ob sich die Reihenfolge der Farben auch verändern lässt.
- Notieren Sie die Möglichkeiten die Farben Rot, Grün und Blau in **LV2** zu mischen.
- Stellen Sie die entstehenden Farbtöne aus **V3** in einer Tabelle dar. Prüfen Sie, ob sich auch der Farbton Weiß mischen lässt.

ENTSORGUNG: A, R

M Additive und subtraktive Farbmischung

Farbeindrücke können durch additive oder subtraktive Farbmischung entstehen (B2). Beide Prozesse sind über den Farbkreis eng miteinander verwandt. Worin unterscheiden sie sich?

M4 Folgen Sie dem Link ➔ QR 06043-007 und wählen Sie das Experiment „RGB-Lichter“ aus. Steuern Sie die Lampen so, dass für den Betrachter der Farbeindruck Gelb, Hellblau und Pink entsteht.



06043-007

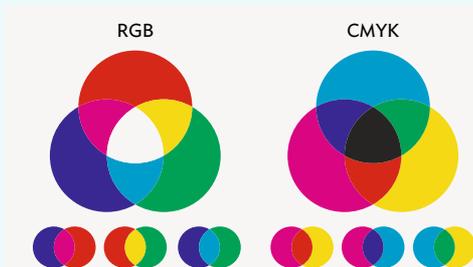
M5 Folgen Sie dem Link ➔ QR 06043-008 zum interaktiven Element. Dieses simuliert den Blick in eine farblose (= weiße) Lichtquelle. Blenden Sie mit den drei Reglern nun rotes, grünes und blaues Licht aus und beobachten Sie die wahrnehmbaren Farbtöne. Mischen Sie die Farbtöne Rot, Grün und Blau.



06043-008

AUSWERTUNG

a) Vergleichen Sie die entstehenden Farbeindrücke aus **M4** und **M5** mit **B2**. Ordnen Sie den beiden Experimenten die passende Farbmischung zu.



B2 Additive (links) und subtraktive Farbmischung (rechts)

- b) Mit einer gelben Taschenlampe wird ein, in weißem Licht, blauer Farbfilter beleuchtet. Begründen Sie den Farbeindruck nach dem Filter und stellen Sie an diesem Beispiel den Zusammenhang von additiver und subtraktiver Farbmischung dar.

V/M Farbigkeit von Stoffen und Absorptionsspektren



Durch die Aufnahme eines Absorptionsspektrums kann die Funktion eines Farbstoffes näher betrachtet werden. Absorptionsspektren dienen darüber hinaus auch zur Analyse unbekannter Substanzen. Wie lässt sich ein solches Spektrum aufzeichnen?

V6 Lösen Sie etwas Wasserfarbe in Wasser, sodass eine intensive Färbung eintritt. Geben Sie das gefärbte Wasser in ein Reagenzglas und durchleuchten Sie dieses mit einer handelsüblichen Glühlampe. Analysieren Sie das durchdringende Licht mit einem Handspektrometer (**B3**).

V7 Nutzen Sie ein digitales Spektrometer, um von der in **V6** hergestellten Farbstofflösung ein digitales Absorptionsspektrum aufzunehmen.

M8 Folgen Sie dem Link ➔ QR 06043-009 zur Simulation der „Rosa Brille“. Schalten Sie den Lichtverlauf ein und stellen Sie die Beleuchtungsfarbe auf gelb. Untersuchen Sie die auftretenden Farbeindrücke bei wechselnden Autofarben und Brillengläsern.



06043-009

AUSWERTUNG

- a) Zeichnen Sie das in **V6** beobachtbare Spektrum ab.
- b) Vergleichen Sie das in **V7** erhaltene digitale Absorptionsspektrum mit Ihrem gezeichneten Spektrum aus a).
- c) Wählen Sie die Beleuchtungsfarbe und die Autofarbe in **M8** so aus, dass ein grünes Auto hinter einer gelben Brille trotzdem grün erscheint. Erklären Sie, wie der Farbeindruck zustande kommt. Gehen Sie dabei auf die ausgesendeten, absorbierten und gestreuten Lichtanteile ein.



B3 Handspektrometer

ENTSORGUNG: A

2.1.2 Licht und Farbe

Was sehen wir da eigentlich?

Farben beschäftigen die Menschheit seit ihrer Existenz. Schon bei den alten steinzeitlichen Höhlenmalereien wurden ganz bewusst verschiedene Farbtöne wie Rot und Braun verwendet. Die Menschen damals verstanden natürlich noch nicht, wie diese Farbigkeit zustande kommt. Auf diese Erkenntnisse musste die Menschheit noch einige Jahrhunderte warten.



B1 Untersuchung der Zerlegung des Lichts durch NEWTON

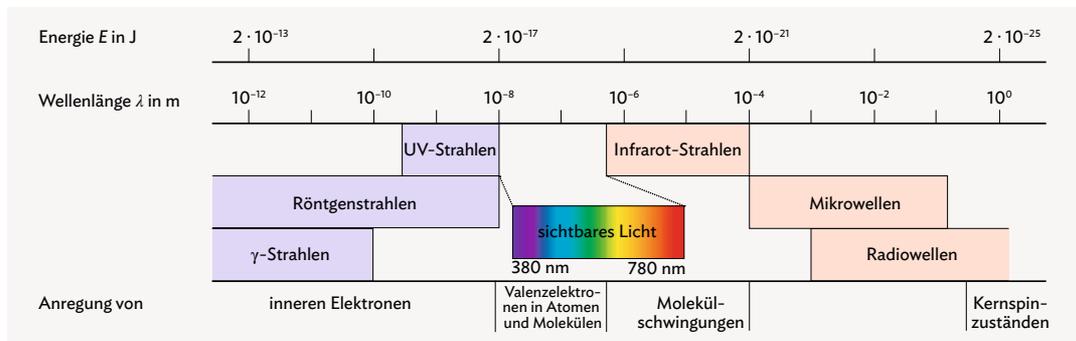
Im Jahr 1671 untersuchte ISAAC NEWTON die Zusammensetzung weißen Lichts indem er dieses durch einen geschliffenen Glaskörper fallen ließ und so eine spektrale Aufspaltung in alle Farbkomponenten erreichte (B1, V1). In seinem Werk „Opticks“ beschrieb er diese Entdeckung. Der Versuch NEWTONS lässt sich regelmäßig in der Natur in Form eines Regenbogens beobachten. Wird der Versuch von NEWTON heute in einem Labor durchgeführt, kann das beobachtbare Spektrum genauer untersucht werden. Wird das Spektrum von Rot nach Blau mit einem Thermofühler analysiert, lässt sich im Bereich des roten Lichts eine Temperaturerhöhung er-

mitteln. Bei längeren Wellenlängen als denen des roten Lichts ist dieselbe Beobachtung zu machen, auch wenn mit dem bloßen Auge keine Strahlung mehr zu sehen ist. Nimmt man ein weißes, frisch gewaschenes Stück Stoff und führt damit denselben Versuch durch, lässt sich beobachten, dass der Stoff im blauen Farbbereich und bei kürzeren Wellenlängen zu leuchten beginnt. Daraus lässt sich ableiten, dass auch jenseits des **sichtbaren Lichts** und dessen Farben Strahlung existieren muss.

Bei Strahlung handelt es sich um **elektromagnetische Wellen**, die sich durch den Raum bewegen. Wie energiereich Strahlung ist, hängt von ihrer Wellenlänge ab. Anhand dieser werden die verschiedenen Arten von Strahlung im **elektromagnetischen Spektrum** geordnet (B2). Da Wellenlänge und Energie der Strahlung umgekehrt proportional zueinander sind, sinkt die Energie von links nach rechts im elektromagnetischem Spektrum. Niedrigenergetische Strahlung wie **Infrarotstrahlung** wird beispielsweise zum Heizen verwendet. Demgegenüber setzt man hochenergetische Strahlung wie **ultraviolette (UV) Strahlung** zur Stromerzeugung ein. Aufgrund der hohen Energie kann UV-Strahlung aber auch schädlich für Zellen sein. Kontrolliert benutzt man sie daher zur Desinfektion, während sie unkontrolliert Krebs verursachen kann.

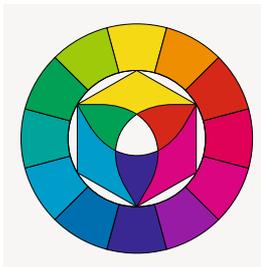
Licht mischen – additive Farbmischung

Auch der umgekehrte Aufbau von V1 ist möglich: Werden drei Taschenlampen, die Licht der Farben Rot, Grün und Blau aussenden, d. h. **emittieren**, auf eine gemeinsame Stelle an einer weißen Wand gerichtet, so erscheint ein farbloser Lichtfleck (LV2). Die einzelnen Farben des Lichts summieren sich also zu „farblos“. Dies wird als **additive Farbmischung** bezeichnet. Nach der Farbenlehre existieren die aus V1 bekannten drei Grundfarben: **Rot, Grün und Blau**. Diese Grundlage wird als **RGB**-Farbraum



B2 Das elektromagnetische Spektrum

bezeichnet. Aus diesen drei Farben lassen sich alle für uns wahrnehmbaren Farbtöne additiv mischen. Bei einem Blick auf einen beliebigen Bildschirm kann dies erlebt werden, denn jeder Bildschirm besitzt Leuchtelemente dieser drei Farbtöne. Die einzelnen daraus mischbaren Farbtöne lassen sie sich im sogenannten Farbkreis darstellen (**B3**). Alle drei Farben ergeben zusammen farbloses Licht. Die additive Farbmischung ist demnach bei **Lichtemission** (Ausendung) selbstleuchtender Körper zu beobachten.



B3 Farbkreis der Farbenlehre, der den Zusammenhang zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung aufzeigt.

Farbstoffe mischen – subtraktive Farbmischung

Bei der Verwendung von Farbstoffen, z. B. in der Kunst, werden dagegen andere Farben als Grundfarben genannt: **Cyan**, **Magenta** und **Gelb (Yellow)**. Diese sind zusammen mit Schwarz (**Key**) auch in jeder Druckerpatrone zu finden. Sie bilden den **CMYK**-Farbraum. In diesem lässt sich die zuvor als Grundfarbe kennengelernte Farbe Grün durch Mischen der Farben Cyan und Gelb herstellen. Mischt man greifbare Farbstoffe statt Licht, lässt sich die Farbe Weiß jedoch nicht ermischen. Stattdessen erhält man beim Mischen der Farben Rot, Grün und Blau eher den gegenteiligen Farbeindruck: Die Mischung erscheint schwarz. Alles auftreffende Licht wird verschluckt, d. h. **absorbiert (V3)**. Man spricht hier von einer **subtraktiven Farbmischung**. Diese tritt bei nicht selbst leuchtenden, sondern beleuchteten Körpern durch **Lichtabsorption** auf.

Die beiden Prozesse der additiven und subtraktiven Farbmischung scheinen gegensätzlich zueinander abzuablaufen und damit eng miteinander verknüpft zu sein.

Der Zusammenhang im Farbkreis

Der Zusammenhang beider Prozesse wird deutlich, wenn man die Entstehung anderer Farbeindrücke betrachtet. Nimmt der Mensch mit dem Auge den Sinneseindruck Gelb wahr, so kann dies auf drei verschiedenen Wegen erfolgen:

Der gelbe Farbeindruck kann zum einen dadurch entstehen, dass Licht mit der Farbe Grün und Licht mit der Farbe Rot gleichzeitig ins Auge fallen (**M4**). Der Farbkreis zeigt ebenfalls die daraus resultierende Farbe an. Der Sinneseindruck Gelb kann jedoch auch dadurch zustande kommen, dass ein FarbfILTER, durch den weißes Licht fällt, den Farbton blau herausfiltert (**M5**).

Im ersten Fall kommt der Farbeindruck durch additive, im zweiten Fall durch subtraktive Farbmischung zustande. Im dritten Fall ist es möglich, dass nur Licht der Wellenlänge, die der Farbe Gelb zugeordnet ist, in das Auge gelangt. In diesem Fall entsteht der Farbton direkt und ohne Farbmischung.

Der Zusammenhang zwischen den Farben Gelb und Blau ist im Farbkreis erkennbar (**B3**). Die beiden Farbtöne liegen sich direkt gegenüber, sie sind sogenannte **Komplementärfarben**. Auch der Zusammenhang zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung ist erkennbar. Die Komplementärfarbe einer Grundfarbe der additiven Farbmischung (Blau) ist eine Grundfarbe der subtraktiven Farbmischung (Gelb).

Farben können auf verschiedenen Wegen entstehen. Man unterscheidet dabei die additive und die subtraktive Farbmischung. Die Farben der einen Farbmischung bilden die Komplementärfarben der anderen. Die Zusammenhänge sind im Farbkreis veranschaulicht.

AUFGABEN

- A1** Übertragen Sie folgende Schemata zur additiven Farbmischung in Ihre Unterlagen und vervollständigen Sie diese.
- Rot + Blau → ?
 - Grün + Blau → ?
 - Rot + Grün → ?
 - Rot + Grün + Blau → ?
- A2** Weißes Licht enthält alle Spektralfarben, die im elektromagnetischen Spektrum nach der jeweiligen Wellenlänge geordnet sind (**B4**).



B4 Das elektromagnetische Spektrum

- Es soll der Farbeindruck Grün erzeugt werden. Begründen Sie, welche Filter Sie nach der subtraktiven Farbmischung verwenden müssten, um diesen Farbeindruck zu erhalten.
- Weißes Licht wird durch einen Filter der Farbe Cyan und anschließend durch einen Filter der Farbe Gelb gestrahlt. Erklären Sie den zu erwartenden Farbeindruck.

2.1.3 Farbstoffe und Spektren

Farbigkeit von Stoffen

Die Funktionsweise von Farbstoffen lässt sich relativ einfach untersuchen. Wird etwas gelbe Wasserfarbe in Wasser gelöst und diese Lösung in einem Reagenzglas von hinten von einer farblosen Lichtquelle durchleuchtet, kann das transmittierte Licht auf der Vorderseite einfach mit einem Spektrometer untersucht werden (V6). Mithilfe des Spektrometers wird erkennbar, welche Wellenlängen den Stoff ungehindert passieren, d. h. **transmittieren**, und welche vom Stoff absorbiert werden. In diesem Fall wird der Farbton Blau (Komplementärfarbe, B5) vom Farbstoff absorbiert. Der Farbeindruck entsteht dementsprechend aufgrund von Absorptionsvorgängen bestimmter Wellenlängen durch den Farbstoff. Je nachdem, welche Wellenlängen einen (transparenten) Stoff durchdringen oder von einem farbigen Gegenstand zurückgeworfen, d. h. **reflektiert**, werden, entsteht ein individueller Farbeindruck. Für den einfachsten Fall eines Farbstoffes, der nur in einem Farbbereich absorbiert, sind die zu beobachtenden Farbeindrücke in B5 dargestellt. Ebenso hängt die Farbigkeit jedoch auch von den Farben des bereits einfallenden Lichtes ab. Damit lässt sich eine Vielzahl an Kombinationen untersuchen (V7).

absorbiertes Licht Wellenlänge λ in nm	Farbe	Komplementärfarbe Farbe der Verbindung
380 – 440	Violett	Gelbgrün
440 – 480	Blau	Gelb
480 – 490	Grünblau	Orange
490 – 500	Blaugrün	Rot
500 – 560	Grün	Purpur
560 – 580	Gelbgrün	Violett
580 – 595	Gelb	Blau
595 – 605	Orange	Grünblau
605 – 780	Rot	Blaugrün

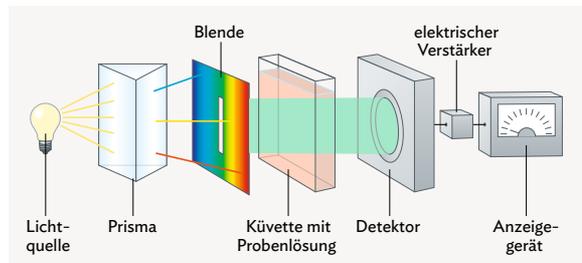
B5 Zusammenhang zwischen absorbierter Wellenlänge und Farbeindruck eines Farbstoffes

Absorptionsspektren

Die im Farbstoff ablaufenden Absorptionsvorgänge lassen sich auf die **Elektronenverteilungen** innerhalb der Farbstoff-Moleküle zurückführen und geben dadurch Aufschluss über ihren Aufbau. Sie sind für jeden Stoff spezifisch und charakterisieren diesen. Durch Aufnahme eines **Absorptionsspektrums** kann dadurch auch ein unbekannter Stoff qualitativ nachgewiesen werden

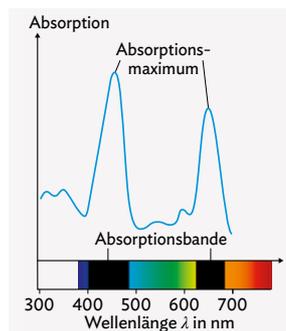
(M8). Die Spektroskopie stellt deshalb eine wichtige Analyse-methode dar.

Ein Absorptionsspektrum wird mit einem **Spektrometer** aufgezeichnet. Dabei wird weißes Licht mithilfe eines Monochromators in seine Bestandteile zerlegt. Häufig geschieht dies durch ein verbautes Prisma. Die sich anschließende Blende definiert den analysierbaren Wellenlängenbereich. Dieser kann stationär oder dynamisch sein. Anschließend wird das Licht durch eine Materialprobe gesandt. Die Abfolge von Probe und Prisma kann auch umgekehrt sein. Am Ende des Strahlengangs werden die verbliebenen Farbanteile des transmittierten Lichts entweder mit dem Auge, auf einem Schirm oder digital durch einen Fotochip erfasst und ausgewertet (B6).



B6 Aufbau eines Prismenspektrometers

Im **Absorptionsspektrum** sind alle von der Lichtquelle emittierten Farben als kontinuierlicher Farbverlauf zu sehen. Dieser wird von Bereichen unterbrochen, in denen kein Licht zu detektieren ist, da diese spezifischen Wellenlängen durch den Stoff absorbiert werden. Diese Bereiche werden **Absorptionsbanden** genannt.



B7 Analoges (unten) und digitales Absorptionsspektrum einer Probe

Maxima eines Graphen dargestellt (B7 oben). Die Maxima geben an, wie groß der Anteil (in Prozent) des absorbierten Lichts ist.

HOMO und LUMO

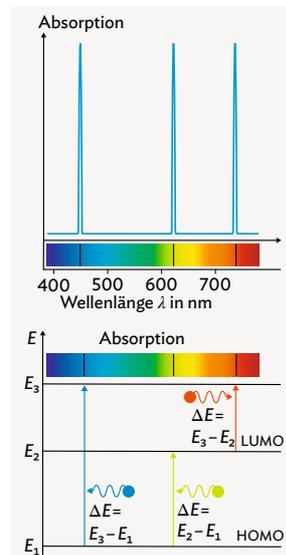
Im Absorptionsspektrum besitzen die Absorptionsbanden einen klar erkennbaren, definierten Rand. Daran ist erkennbar, dass alleine die Wellenlänge des eingestrahlten Lichts ausschlaggebend dafür ist, ob das entsprechende Licht absorbiert, reflektiert oder transmittiert wird. Diese Tatsache bestätigt eine der fundamentalsten Annahmen in der Chemie und Atomphysik: die beschränkte Aufenthaltserlaubnis von Elektronen auf bestimmten Energieniveaus mit exakt fest gelegten (diskreten) Energiewerten. Für den Ablauf des Absorptionsvorgangs ist dabei das im Molekül höchste, mit (mindestens) einem Elektron besetzte Energieniveau E_1 (**HOMO** = *highest occupied molecular orbital*) von besonderer Bedeutung. Über diesem existieren noch weitere, nicht besetzte Energieniveaus E_2, E_3 etc. Das unterste dieser Niveaus wird dabei als **LUMO** (*lowest unoccupied molecular orbital*) bezeichnet (→ Kap. 1). HOMO und LUMO besitzen einen exakten energetischen Abstand $\Delta E = E_2 - E_1 = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}$ zueinander. Zwischen diesen beiden Energieniveaus finden bei der Absorption Elektronenanregungen statt.

Der Vorgang der Absorption

Fällt Licht auf einen schwarzen Gegenstand, so erwärmt sich dieser. Da er schwarz erscheint lässt sich schlussfolgern, dass er keinen Teil der Strahlung reflektiert oder bestimmte Farbbereiche emittiert. Die Energie des einfallenden Lichts wird vollständig vom schwarzen Objekt aufgenommen und in Wärme umgewandelt. Die Energie des einfallenden Lichts wird dabei von im Molekül vorhandenen, delokalisierten Elektronen aufgenommen. Diese Elektronen befinden sich ursprünglich im HOMO (**Grundzustand**). Durch Energieaufnahme werden sie in das LUMO (oder darüber hinaus) angehoben (angeregt). Das Molekül befindet sich dann in einem **angeregten Zustand**.

Die für die Anregung benötigte Energie muss dabei exakt der Energiedifferenz ΔE entsprechen: $E_{\text{Licht}} = \Delta E$. Ist die Energiemenge größer oder kleiner, findet keine Anregung statt. In **B8** sind drei schematische Anregungen und die dafür notwendige Energie dargestellt. Beim Rückfall der Elektronen auf das HOMO geben sie ihre Energie in Form von Wärme wieder ab.

Da Energie, Wellenlänge und „Farbe“ des Lichts direkt miteinander zusammenhängen, ergeben sich klar abgegrenzte Absorptionslinien im Spektrum. Je nach Anordnung der Energiestufen im Molekül, können andere Wellenlängen vom Molekül absorbiert werden, wodurch sich verschiedene Farbeindrücke ergeben.

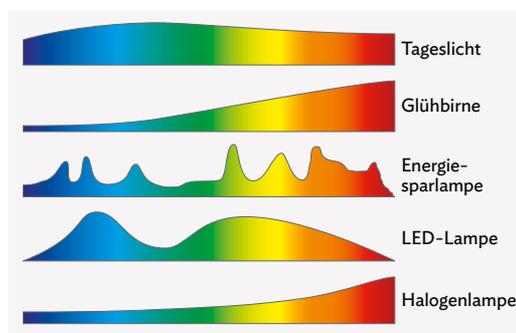


B8 Vorgang der Absorption und Zusammenhang mit dem Energiestufenmodell

Der Vorgang der Absorption und Emission findet auf atomarer Ebene in Form von Elektronenanregungen zwischen verschiedenen Energieniveaus statt. Mit einem Spektrometer kann ein Farbstoff exakt auf diese Vorgänge hin untersucht werden.

AUFGABEN

- A1** Tageslicht (spektrale Zusammensetzung in **B9**) fällt durch eine rote Fensterscheibe. Ermitteln Sie die Farbe des Lichts, die auf weißem Papier hinter der Scheibe zu sehen ist.
- A2** Ein digitales Spektrometer wird mit einer Halogenlampe betrieben. Skizzieren Sie ein mögliches Absorptionsspektrum der Aufnahme eines blauen Farbstoffes.
- A3** Für ein menschliches Auge soll eine LED-Lampe als Leuchtmittel verwendet werden. Begründen Sie, dass das menschliche Auge für Farbstoffe im Farbbereich gelb-purpur nur schlecht einsetzbar ist. *Hinweis:* Der Farbeindruck Purpur ist in **B9** nicht dargestellt.



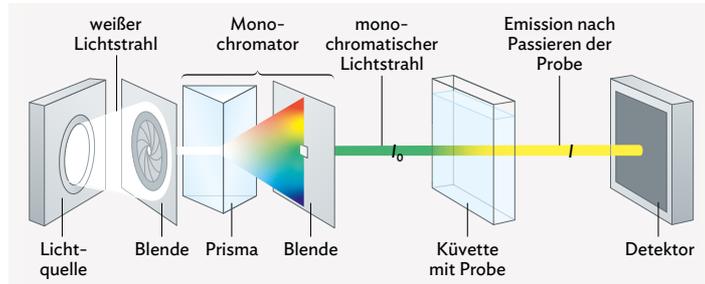
B9 Spektrale Zusammensetzung verschiedener Lichtquellen

2.1.4 Messen mit einem Fotometer

Besonders aus der Lebensmittelchemie und der Wasseranalytik sind moderne Fotometer nicht wegzudenken. So hat die Limonade die richtige Farbe und das Abwasser kommt sauber aus der Kläranlage. Dabei dienen digital vernetzte Fotometer mit automatisierter Probenentnahme in vielen Bereichen zur Kontrolle und zur Qualitätssicherung. Sogar das von fernen Sternen und Galaxien emittierte Licht wird in astronomischen Fotometern analysiert. Wie läuft eine Messung mit einem Fotometer ab?

Ein Spektrometer ist eine spezielle Variante eines Fotometers. Ein Spektrometer misst über das Spektrum des sichtbaren Lichts die reflektierten Werte einer Probe bei verschiedenen Wellenlängen. Ein **Fotometer** ist ein Gerät zur Messung der Lichtintensität. Meistens sind beide in einem Gerät vereint. Bei einem Fotometer wird zunächst ein monochromatischer Lichtstrahl des sichtbaren Bereiches bzw. UV-Licht erzeugt. Dies geschieht mithilfe eines Prismas und einer Blende (**B1**). Die Wellenlänge des Lichtstrahls kann variiert werden, sodass auch ein ganzes Spektrum aufgenommen werden kann.

Das monochromatische Licht wird durch die Küvette mit der Probelösung gestrahlt. Ein Teil des einfallenden Lichts wird von Molekülen der Probe absorbiert, der andere Teil geht durch die Lösung hindurch und wird mit einer lichtempfindlichen



B1 Funktionsweise eines Fotometers

Zelle im Detektor gemessen (**B1**). Dieser Teil wird als **Transmission** bezeichnet. Alle Farbstoffe haben ein Absorptionsmaximum, was der Komplementärfarbe entspricht (→ Kap. 2.1.3). Diese Wellenlänge wird dann am Fotometer eingestellt. Zudem ist die Absorption von der Konzentration der Probelösung und der Schichtdicke der Küvette abhängig. Diese Gesetzmäßigkeit wird durch das **LAMBERT-BEERSche Gesetz** ausgedrückt. Die **Extinktion** (Auslöschung) ist ein Maß für die Abschwächung der Strahlung durch die Absorption der in der Probe vorhandenen Moleküle. Auch ist sie abhängig von der Wellenlänge λ der Strahlung und wird deshalb als E_λ bezeichnet (**B2**).

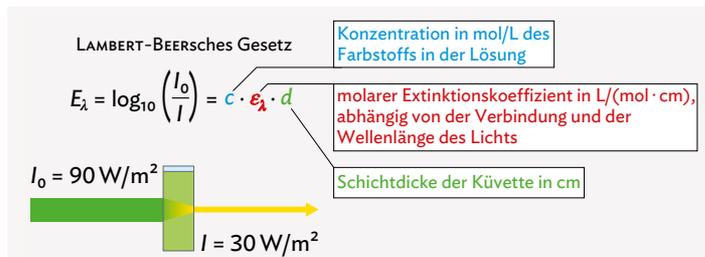
Die Extinktion ergibt sich aus dem Quotienten von eingestrahelter Lichtintensität I_0 und der transmittierten Intensität I , welcher logarithmiert wird. Die Extinktion ist wiederum proportional zur Konzentration der Farblösung und zur Schichtdicke d

der Küvette. Zusätzlich ist der Extinktionskoeffizient ϵ_λ eine für jeden Farbstoff spezifische Größe, die unter anderem auch vom pH-Wert oder dem Lösemittel abhängt und tabelliert ist. Ein modernes Fotometer erledigt diese Rechnung digital.

Geeignete Farbstofflösungen für die Fotometrie im Chemieunterricht sind Bromthymolblau (bei pH = 4, 7 oder 10) sowie die Aufzeichnung des Spektrums von Blattfarbstoffen.

AUFGABEN

- A1** Geben Sie je eine Definition für die Begriffe Absorption, Extinktion und Transmission an.
- A2** Berechnen Sie die Konzentration einer Farbstofflösung in einer 1 cm breiten Küvette, wenn die Hälfte der einfallenden Lichtintensität durch eine Lösung transmittiert. Hinweis: $\epsilon_\lambda = 0,31 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$.
- A3** Nennen Sie mehrere Parameter, die man fotometrisch in wässrigen Lösungen bestimmen kann.
- A4** Recherchieren Sie die Bedingungen, die eine Probe erfüllen muss, damit das LAMBERT-BEERSche Gesetz gilt.
- A5** Recherchieren Sie über das Grundprinzip der Computertomografie und ihre Anwendung.

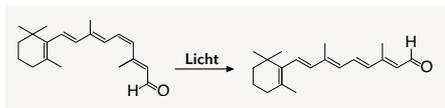


B2 Das LAMBERT-BEERSche Gesetz

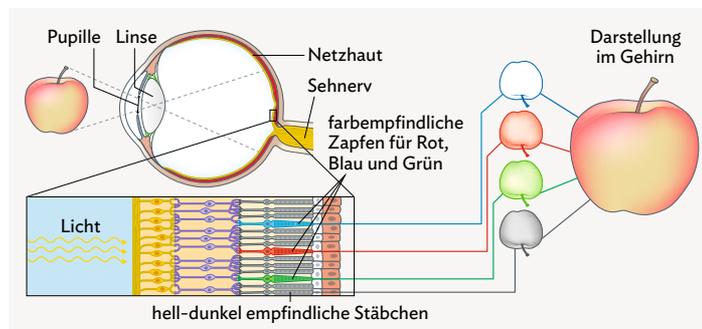
2.1.5 Das menschliche Auge und der Farbsinn

Im Gegensatz zu vielen anderen Säugetieren können wir Menschen Farben sehr gut wahrnehmen. Dies geschieht durch etwa 120 Millionen Stäbchen und etwa 6 Millionen Zapfen in unserer Netzhaut (B1). Mithilfe der elektrischen Signale dieser Fotorezeptoren können wir bis zu 2 Millionen Farbnuancen unterscheiden. Das hilft uns nicht nur beim Aufspüren von roten, reifen Früchten, sondern schützt uns auch durch Warnfarben vor giftigen Tieren bzw. vor Gefahren im Verkehr.

Die Netzhaut (**Retina**) enthält zwei verschiedene Arten von **Fotorezeptoren**, welche nach ihrer Form benannt sind. Dabei dienen die sogenannten **Stäbchen** dem Schwarzweißsehen und die sogenannten **Zapfen** dem Farbsehen. Zapfen haben eine niedrigere Lichtempfindlichkeit als Stäbchen, d. h. sie benötigen eine bessere Ausleuchtung. Beim Menschen findet man in der optischen Achse beim gelben Fleck (*Fovea centralis*) fast nur Zapfen. Zum Rand nimmt die Zapfendichte stark ab und man findet nur noch Stäbchen in der Retina. Beide Zelltypen sind langgestreckt und zweiteilig. Sie sind über eine schmale Plasmabrücke miteinander verbunden. Während im Innensegment alle Organellen angeordnet sind, befinden sich die lichtempfindlichen Moleküle im Außensegment (**B1**). Diese Fotopigmente werden in der Membran des Außensegments eingebaut. Bei den Stäbchen ist dies das **Rhodopsin** bei den Zapfen das **Iodopsin**. Diese Fotopigmente bestehen aus einem Aldehyd, dem **Re-**



B2 Strukturänderung vom 11-cis-Retinal- zum all-trans-Retinal-Molekül



B1 Bildentstehung von der Netzhaut (Retina) bis zum Gehirn

tinal, und einem Protein namens Opsin. Bei den Zapfen unterscheidet man das rot (L)-, grün (M)- und blau (S)-Opsin. Diese drei Zapfentypen haben jeweils ihr Absorptionsmaximum im kurz-, mittel- und langwelligen Bereich des Lichtspektrums. Strahlt nun Licht mit der entsprechenden Wellenlänge auf die Fotopigmente, so kommt es zu einer Strukturänderung des Retinals. Das gewinkelte 11-cis-Retinal reagiert zum gestreckten all-trans-Retinal (**B2**). Diese Strukturänderung dauert nur $2 \cdot 10^{-14}$ Sekunden. Durch die fotochemisch induzierte Strukturänderung passt das all-trans-Retinal nicht mehr auf das Opsin und das Fotopigment wird gespalten. Dadurch verändert sich die Permeabilität der Membran der Stäbchen sowie Zapfen und somit kommt es zu einer Änderung der Signale, welche über den Sehnerv zum optischen Zentrum des Gehirns geleitet werden. Schon in der Netzhaut werden diese Impulse auf Ganglienzellen verschaltet. Aus der Summe der Signale der Zapfen und auch der Stäbchen wird dann im optischen Zentrum der jeweilige Farbeindruck ermittelt. Damit kann ein Mensch bis zu sieben Millionen verschiedene Farben und Helligkeitsabstufungen erkennen, die sich durch unterschiedli-

che Mischverhältnisse der Grundfarben (\rightarrow Kap. 2.1.2) ergeben. Die Zapfen dienen dabei nicht nur der Farberkennung, sondern auch der Hervorhebung von Kanten. Hier wird die Differenz von Rot- und Grünsignalen mit der Summe beider verglichen. Völlige Farbblindheit tritt selten auf, weil fast alle Menschen funktionierende Blauzapfen besitzen. Von der Farbenfehlsichtigkeit sind 8% der Männer und 0,5% der Frauen betroffen. Dafür sind fehlerhafte oder fehlende Grün- oder Rotzapfen verantwortlich. Diese Personen verwechseln Gelb, Braun und Grün miteinander, außerdem Violett mit Blau. Dies bezeichnet man als Rot-Grün-Schwäche.

AUFGABEN

- A1** Beschreiben Sie anhand von **B2** die räumliche Änderung der Fotopigment-Moleküle in der Netzhaut.
- A2** Interpretieren Sie die Metapher „Nachts sind alle Katzen grau“ vor naturwissenschaftlichem Hintergrund.
- A3** Erstellen Sie eine Animation zum Farbsehen vom Objekt, z. B. einem Apfel, bis zum Farbeindruck im Gehirn (Programme \rightarrow QR 06043-010).



06043-010

2.1.6 Künstliche Intelligenz sinnvoll einsetzen

So arbeitet künstliche Intelligenz

Als Teilgebiet der Informatik erkennt bzw. sortiert **Künstliche Intelligenz (KI)** Informationen aus Umgebungs- und Eingabedaten sowie Datenbanken und imitiert so menschliche Geistesfähigkeiten. Dabei greift KI auf **programmierte Abläufe** zurück oder wird durch maschinelles Lernen erzeugt. Gerade hinsichtlich des **maschinellen Lernens** wurden in den letzten Jahren aufgrund von immer größeren Datenmengen und der hohen Rechenleistung moderner Computersysteme große Fortschritte erzielt. Maschinelles Lernen basiert darauf, dass ein Algorithmus selbstständig Aufgaben erfüllt, indem er sie wiederholt ausführt und mit vorgegebenen Gütekriterien abgleicht. Somit sind Computer oder Roboter, die auf maschinelle Lernprozesse zurückgreifen, nicht mehr auf vorgegebene Algorithmen angewiesen, sondern entwickeln eigenständig Lösungsstrategien bzw. optimieren diese. Eine planmäßige Vorgehensweise ähnlich einer „echten“ Intelligenz, wie man sie bei höheren Lebewesen finden kann, liegt bei maschinellem Lernen nicht vor. Dennoch modellieren die Vorgänge Lernprozesse, wie sie auch im Nervensystem des Menschen stattfinden. Man spricht daher auch von **neuronalen Netzen**.

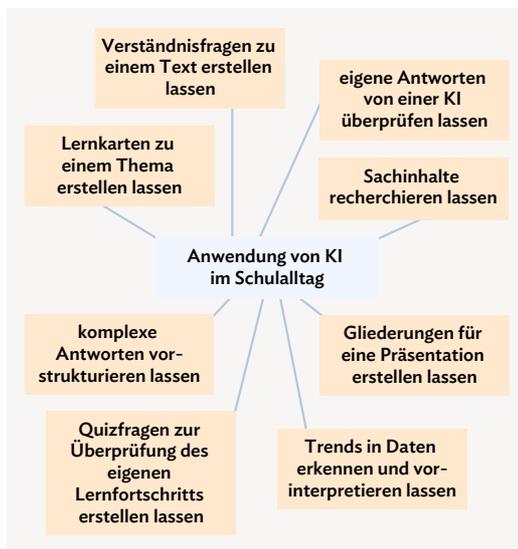
Anwendungsgebiete im Schulalltag

KI hat bereits viele Anwendungsfelder im Alltag gefunden: von Empfehlungsalgorithmen beim Online-Shopping oder in Streaming-Portalen über Gesichtserkennungssoftware auf Smartphones bis hin zu medizinischen Anwendungen zur Diagnose von Erkrankungen. Künstliche Intelligenz verarbeitet große Datenmengen in kurzer Zeit, sodass KI-Systeme bei der **Erhebung und Auswertung von Daten** eine immer größere Bedeutung gewinnen. Auch im schulischen Umfeld bietet künstliche Intelligenz viele Anwendungsmöglichkeiten. Durch zunehmend leistungsfähigere KIs ist es möglich, Texte und andere Darstellungsformen (z. B. Diagramme oder Bilder) automatisch erstellen oder Daten für wissenschaftliche Arbeiten recherchieren zu lassen.

KI kann auch beim Üben oder Erlernen von Unterrichtsinhalten behilflich sein (**B1**).

Prompts schreiben

Um KI-Tools sinnvoll zu nutzen, ist es wichtig, der verwendeten Software die richtigen Anweisungen – sogenannte Prompts – zu geben, um möglichst das zu erhalten, was man auch anstrebt. Dabei sollten vier inhaltlich verschiedene Anweisungen enthalten sein. Diese werden als PADS-Regeln bezeichnet:



B1 Bereits mögliche sowie in Zukunft denkbare Anwendungen für KI in der Schule

- **P:** Position
- **A:** Aufgabe
- **D:** Details
- **S:** Stil

VORGEHEN

1. Geben Sie die **Position** bzw. Rolle an, die die KI übernehmen soll.
Beispiel: Sie sind Schülerin oder Schüler der Jahrgangsstufe 13 am bayerischen Gymnasium.
2. Formulieren Sie die **Aufgabe** bzw. Zielsetzung in einem Satz.
Beispiel: Nennen Sie eine Voraussetzung, die ein Molekül erfüllen muss, um im sichtbaren Bereich des Lichts zu absorbieren.
3. Ergänzen Sie diese um ausreichend **Details**, wie das Ergebnis aussehen soll.
Beispiel: Beschreiben Sie, was dabei mit den Elektronen geschieht. Gehen Sie insbesondere auf die Orbitale ein.
4. Geben Sie den sprachlichen **Stil** an, in dem das Ergebnis ausgegeben werden soll.
Beispiel: Beschreiben Sie sowohl die Orbitale als auch die Vorgänge rund um die Veränderung der Elektronenbesetzung der Orbitale knapp und auf das Wesentliche fokussiert.

Daten auf ihre Verlässlichkeit prüfen

Gerade zur Recherche von Quellen für Referate oder Seminararbeiten kann KI in kürzester Zeit eine Auswahl relevanter Daten zusammenfassen und diese präsentieren. Da derart erhobene Informationen keine Überprüfung aus zweiter Hand erfahren, wie es bei veröffentlichten wissenschaftlichen Quellen normalerweise der Fall ist, gilt auch und vor allem bei der Nutzung von KI, dass die **Verlässlichkeit der Daten** kritisch hinterfragt werden muss.

VORGEHEN

1. Überprüfen Sie, ob Autorinnen und Autoren, Plattformen oder Verlage korrekt angegeben sind.
2. Überprüfen Sie die inhaltliche und sprachliche Qualität der Daten. Sind Logikfehler oder ungewöhnliche sprachliche Strukturen erkennbar?
3. Führen Sie eine Kontrollrecherche durch. Werden ähnliche Daten auch von anderen (vertrauenswürdigen) Quellen angegeben oder zitiert?

KI als Quelle angeben

Um auch anderen Nutzerinnen und Nutzern den Ursprung KI-erzeugter Inhalte verlässlich wiederzugeben und die Verwendung der Software nachvollziehbar zu machen, muss der Einsatz von KI bei der Erstellung von Präsentationen oder Seminararbeiten **als Quelle angegeben werden**.

VORGEHEN

1. Geben Sie das verwendete KI-Tool an.
2. Beschreiben Sie den genauen Einsatz der Software, einschließlich der verwendeten Prompts.

3. Prüfen Sie Quellenangaben, die in KI-generierten Texten enthalten sind. Diese können **frei erfunden** sein.

Gefahren von KI - Datenproblematik

Maschinelles Lernen basiert auf großen Datenmengen und greift auf Datenbanken zurück, die über das Internet zur Verfügung gestellt werden. Von diesen ist die Verlässlichkeit KI-generierter Inhalte abhängig. Da die Datenbanken in vielen der Öffentlichkeit zugänglichen Fällen – je nach System bzw. der genutzten Software-Version – auf älteren Datensätzen basieren, sind KI-erhobene Daten meist (noch) nicht tagesaktuell und entsprechen nicht dem aktuellen Wissensstand. Zudem kommt es vor, dass die KI zu einem Thema Daten (v. a. Zahlenwerte) erfindet, wenn sie selbst keine Informationen hat.

Beim digitalen Arbeiten gilt die wichtige Handlungsempfehlung, **sensible Daten nicht unreflektiert preiszugeben**. Dies gilt natürlich auch bzw. insbesondere beim Einsatz von KI-Tools. Gerade die Möglichkeiten von KI, aus wenigen Informationen Bilder, Videos und Audio-Dateien zu generieren, macht den **umsichtigen Umgang beim Upload** von Bild- und Tonmaterial notwendiger denn je. Bedenken Sie zudem, dass auch die Nutzung von Daten aus sozialen Medien durch KI nicht ausgeschlossen werden kann. Daraus sollte ein umso sorgfältigerer Umgang mit eigenen und fremden persönlichen Daten resultieren.

AUFGABEN

- A1** Erstellen Sie mithilfe der PADS-Regeln einen Prompt, der eine KI dazu auffordert, Lernkarten zu den Vorgängen bei der Lichtabsorption und -emission zu erstellen.
- A2** Entwickeln Sie eine Quellenangabe, die die mithilfe des Prompts aus **A1** erstellten Übersichten ausreichend kennzeichnet.
- A3** Der folgende Textausschnitt zu Farbigkeit wurde von einer KI generiert und mit Fehlinformationen versehen. Gleichen Sie den Text mit einer eigenen Recherche ab und identifizieren Sie falsche oder unvollständige Informationen.
„Aus physikalischer Sicht bezieht sich Farbigkeit auf die Eigenschaften von Licht und die Art und Weise,

wie es mit Materie interagiert.

Licht ist eine Form elektrischer Strahlung, die in verschiedenen Wellenlängen vorkommt. Das sichtbare Spektrum umfasst Wellenlängen von etwa 380 nm (Grün) bis 750 nm (Gelb). Jede Wellenlänge entspricht einem bestimmten Farbton.

Die Farbe eines Objekts hängt davon ab, welche Intensität des Lichts es reflektiert, absorbiert oder durchlässt. Ein rotes Objekt erscheint rot, weil es das rote Licht stärker reflektiert als andere.

In der Physik und der Farbtheorie werden verschiedene Modelle verwendet, um Farben mathematisch zu beschreiben, wie das RGB-Modell (Rot, Gelb, Blau) für additive Farben und das CMYK-Modell (Cyan, Magenta, Gelb, Schwarz) für subtraktive Farben.“



2.2 Farbstoffe in Alltagsprodukten

Altsteinzeitliche Höhlenmalereien, quietschend bunte Verpackungen von Süßigkeiten, traditionelle Tattoos oder Warnschilder im Straßenverkehr: Farbstoffe sind ein unausweichlicher Begleiter des menschlichen Alltags. Farben erzeugen dabei oft Aufmerksamkeit. Gibt es daneben auch weniger erwünschte Folgen?

2.2.1 Versuche und Material

M Schädliche Henna-Tattoos



B1 Allergische Reaktion auf PPD in Hennapulver

Ein traditionelles Mehndi (Titelbild) ist eine rituelle Körperbemalung. Der dafür verwendete Farbstoff ist Henna. Diese Körperbemalungen werden daher auch Henna-Tattoos genannt. Von Natur aus färbt Henna nur rotbraun. Um weitere, z. B. dunklere Farben zu erhalten, werden Zusatzstoffe beige-mischt. Welche Auswirkungen haben diese?

M1 Ein oft genutzter Farbstoff für eine dunklere und schnellere Färbung mit Henna ist PPD (*para*-Phenylendiamin), der als Grundstoff der Farbindustrie günstig verfügbar ist, jedoch zu schweren allergischen Reaktionen führen kann (**B2**). In **B1** sind die möglichen Folgen dieser allergischen Reaktion dargestellt.

H-Sätze	Wortlaut
H301 + H311 + H331	Giftig bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen.
H317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
H319	Verursacht schwere Augenreizung.
H410	Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

B2 Auszug aus einem Sicherheitsdatenblatt von PPD

AUSWERTUNG

- Recherchieren Sie Möglichkeiten, die Farbe eines Henna-Tattoos mit natürlichen Mitteln zu verändern, ohne weitere Nebenwirkungen in Kauf nehmen zu müssen.
- Erstellen Sie mithilfe von **B2** einen Flyer, um vor den Gefahren von Henna-Tattoos mit PPD als Zusatzstoff zu warnen.

V **Lebensmittelfarbstoffe**



Um Käse einladend goldig oder Himbeermarmelade kräftig rot erscheinen zu lassen, wird häufig mit Lebensmittelfarbstoffen nachgeholfen. Andererseits werden Farbstoffe auch zum Ausgleich von Farbverlusten, die während der Verarbeitung eines Produktes entstehen, verwendet. Doch wie verträglich sind Lebensmittelfarbstoffe?

V2 Füllen Sie ein Becherglas etwa zur Hälfte mit warmem Wasser. Legen Sie anschließend einige Bonbons oder Schokolinsen gleicher Farbe in das Wasser und rühren Sie solange um, bis sich eine farbige Lösung bildet. Entfernen Sie danach die Bonbon- oder Schokolinsenreste aus der Farbstofflösung.

Hinweis: Die hergestellte Farbstofflösung wird im Anschluss für **V3** benötigt.

V3 Legen Sie einen weißen Wollfaden in die hergestellte Farbstofflösung aus **V2** und fügen Sie der Lösung 5 mL verdünnte essigsäure Lösung hinzu. Nehmen Sie den Wollfaden nach etwa zehn Minuten aus der Lösung heraus und waschen Sie ihn unter fließendem Wasser ab.

Geben Sie den gefärbten Wollfaden anschließend in verdünnte Ammoniaklösung und beobachten Sie.

AUSWERTUNG

- a) Notieren Sie Ihre Beobachtungen aus **V2** und **V3**.
- b) Recherchieren Sie die zwei verschiedenen Arten von Lebensmittelfarbstoffen und notieren Sie für jede dieser Klassen je zwei Beispiele.
- c) Recherchieren Sie die Vor- und Nachteile der beiden Klassen aus **b**).
- d) Informieren Sie sich über die gesetzlichen Bestimmungen zur Verwendung von Farbstoffen in Lebensmitteln in Deutschland.
- e) Bewerten Sie ausgehend von Ihren Ergebnissen aus **b**) - **d**) die Verwendung von Farbstoffen in Lebensmitteln unter folgenden Gesichtspunkten: Notwendigkeit von Farbstoffen für die Attraktivität und den Genuss von Lebensmitteln; Vor- und Nachteile bei der Verwendung von Farbstoffen in der Lebensmittelindustrie; Beeinflussung der Kaufentscheidung durch Verwendung von Farbstoffen in Lebensmitteln.

ENTSORGUNG: R, A

M **Haarfarben – Vor- und Nachteile**

Das Färben der Haare ist eine beliebte Möglichkeit, das persönliche Erscheinungsbild zu verändern und den individuellen Stil auszudrücken. Was sind die Vor- und Nachteile von Haarfarben?

M4 Ob zur Kaschierung von grauen Haaren, zur Anpassung an aktuelle Modetrends oder einfach aus Lust auf Veränderung – die Auswahl an Farben und Techniken ist vielfältig. Von natürlichen Tönen bis hin zu auffälligen, kreativen Nuancen stehen zahlreiche Optionen zur Verfügung. Dennoch bringt das Färben von Haaren nicht nur ästhetische Vorteile mit sich, sondern kann auch diverse Herausforderungen aufweisen.

AUSWERTUNG

Stellen Sie die in **B3** aufgelisteten Vor- und Nachteile des Haarfärbens einander gegenüber, diskutieren Sie diese und formulieren Sie ein abschließendes Fazit.

VORTEILE

- ästhetische Veränderung
- Verstecken von grauen Haaren
- Kreativität und Individualität
- trendige und moderne Styles
- Verbesserung der Haarstruktur

NACHTEILE

- Haarschädigung
- allergische Reaktionen
- aufwendige Pflege
- Kosten
- Farbauswaschen
- unvorhergesehene Ergebnisse

B3 Vor- und Nachteile des Haarfärbens

2.2.2 Natürliche Farbstoffe im Alltag

Farbstoffe sind ein fester Bestandteil unseres Alltags und finden sich in vielen Lebensbereichen und einer Vielzahl von Produkten, die wir täglich nutzen. Sie verleihen z. B. Textilien, Lebensmitteln oder Kosmetika Farbe und Ästhetik. Farbstoffe spielen eine entscheidende Rolle dabei, wie wir unsere Umwelt wahrnehmen und erleben.

Henna – ein Naturfarbstoff ...

Bereits im altertümlichen Ägypten haben sich Frauen und Männer die Haare gefärbt. Damals wurde zum Färben der Haare vor allem das natürliche Henna verwendet, um eine Rot- bzw. Braunfärbung der Haare zu erreichen. Heute bieten Supermärkte und Drogerien eine große Auswahl an verschiedenen Produkten zum Haarfärben an (**M4**). Neben chemischen Färbemitteln und Tönungen, die erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt wurden, erfreut sich das traditionelle, natürliche Henna bis heute großer Beliebtheit (**M1**).

Das Hennapulver wird mit Wasser zu einer Paste vermischt, die dann über mehrere Stunden im Haar verbleiben muss. Erst am Folgetag kann das Haar wie üblich gewaschen werden. Eine zu frühe oder intensive Haarwäsche führt zu schlechten Färberegebnissen.

Neben der **Haarfarbe** wird Henna oft in Verbindung mit dem gleichnamigen **Tattoo** gebracht. Die Farbpaste wird dabei auf die Haut aufgetragen und muss auch hierbei einige Zeit einwirken. Im Gegensatz zu gestochenen Tattoos dringt der Farbstoff ausschließlich in die obersten Hautschichten ein. Durch die geringe Eindringtiefe des Farbstoffs in die Haut sind entsprechende Tattoos meist nach zwei bis drei Wochen wieder „verschwunden“, da sich diese Hautschicht rasch erneuert (**M1**).

... mit Nebenwirkungen

Mithilfe von Schwarztee oder Zitronensaft lässt sich die Farbe natürlichen Hennas variieren. Die maximal erreichbare Farbtiefe ist dabei ein dunkles Braun. Daneben ist jedoch auch das „Black Henna-Tattoo“ weit verbreitet (**B1**). Die schwarze Farbe wird durch Zusatz von PPD (*para*-Phenylendiamin) erreicht. Außerdem verringert es die nötige Einwirkzeit drastisch. Bei einem Straßenkünstler im Urlaubsland schnell aufgemalt hat man diese Erinnerung jedoch mitunter länger als gedacht: Auf den Zusatzstoff PPD reagiert die Haut mancher Menschen



B1 Black Henna-Tattoo

mit intensiven Ausschlägen (**M1**). Die Behandlung der Ausschläge kann sich über mehrere Monate hinziehen und das Tattoo ist als Abdruck auch noch über ein Jahr später sichtbar. Die Sensibilisierung diesem Stoff gegenüber schränkt die Berufswahl stark ein, da PPD ein Grundstoff für viele Farbstoffsynthesen ist, die breite Anwendung finden.

Weitere Anwendungen von Farbstoffen

Auch in der Lebensmittelindustrie sind Farbstoffe häufig anzutreffen (**V2**, **V3**). Man unterscheidet natürliche (z. B. Carotinoide) und synthetische **Lebensmittelfarbstoffe** (z. B. Azorubin). Synthetische Lebensmittelfarbstoffe müssen per Verordnung zugelassen sein und werden dann mit ihrer E-Nummer als Inhaltsstoff angegeben. **Lacke** sind Beschichtungsstoffe und werden in dünnen Schichten auf Oberflächen aufgetragen und bilden durch chemische Reaktion einen haftenden Schutzfilm oder dienen der Veredelung bzw. Dekoration der Oberfläche.

Textilfarben sind spezielle Farbstoffe, die verwendet werden, um Stoffe und Textilien in verschiedenen Farben und Mustern zu färben. Sie spielen eine entscheidende Rolle in der Mode- und Textilindustrie.

Farbstoffe sind aus chemischer Perspektive so variantenreich, dass allgemeine Aussagen über alle Substanzen hinweg unmöglich sind. Erst eine ausführliche Recherche, auch über mögliche Zusatzstoffe, erlaubt fundierte Bewertungen bezüglich deren Einsatz in Alltagsprodukten.

AUFGABEN

- A1** Beurteilen Sie die Gesundheitsgefahren bei der Verwendung von Hennapulver unbekannter Herkunft zur Schwarzfärbung von Haaren.
- A2** Recherchieren Sie einen natürlichen Farbstoff, der nicht als Lebensmittelfarbstoff zugelassen ist. Stellen Sie Gründe für den Verzicht auf diesen Farbstoff dar.
- A3** Recherchieren Sie Wege wie Textilfarbstoffe im Lebenszyklus eines Kleidungsstücks in die Umwelt eingebracht werden und bewerten Sie daraufhin den Einsatz von Farbstoffen in dieser Branche.

2.2.3 Den Einsatz von Lebensmittelfarbstoffen (Azofarbstoffe) bewerten

Die sogenannten **Azofarbstoffe** sind eine bedeutende Gruppe von synthetischen Farbstoffen. Sie sind bekannt für ihre lebendigen Farben und hohe Farbstabilität, weshalb sie häufig in Lebensmitteln wie z. B. Getränken oder Backwaren eingesetzt werden. Azofarbstoffe stehen jedoch auch im Verdacht Allergien hervorzurufen oder Hyperaktivität bei Kindern zu fördern. Es wurde sogar schon über ein Verbot von Azofarbstoffen in Lebensmitteln diskutiert, bis jetzt konnte ein solches Verbot aber nicht durchgesetzt werden. Seit Juli 2010 müssen Lebensmittel mit Azofarbstoffen laut EU-Verordnung jedoch mit dem Warnhinweis „Kann Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen“ gekennzeichnet werden.

Studie zu Azofarbstoffen in Lebensmitteln

Die Einschätzung, dass Azofarbstoffe die Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen können, beruht auf einer Placebo-kontrollierten Doppelblindstudie aus dem Jahr 2007, in welcher der Einfluss von Azofarbstoffen in Lebensmitteln auf Kinder untersucht wurde. In der Studie erhielten zwei der untersuchten Gruppen Getränke mit Azofarbstoffen (Mix A aus E 102, E 110, E 122, E 124 bzw. Mix B aus E 104, E 110, E 122, E 129), eine weitere Gruppe bekam ein Placebo (**B1**). Insgesamt wurden 135 Kinder im Alter von drei Jahren und 144 Kinder im Alter von acht bis neun Jahren untersucht, welche per Zufall in die Gruppen eingeteilt wurden. Die Eltern wurden gebeten, den Kindern während des Untersuchungszeitraums keine weiteren Lebensmittel mit Azofarbstoffen zu geben. Das Verhalten der Kinder wurde jeweils nach zwei, vier und sechs Wochen erfasst, wobei Eltern, Lehrkräfte und externe Fachleute diese Beobachtungen vornahmen.

Ergebnisse der Studie

In Gruppe A haben nur die 3-jährigen Kinder ein signifikant auffälligeres Verhalten gezeigt. In Gruppe B trat die signifikante Verhaltensauffälligkeit nur bei den 8 bis 9-jährigen Kindern auf. Insgesamt waren alle Effek-

Woche	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
1	Placebo	Placebo	Placebo
2	Mix A	Mix B	Placebo
3	Placebo	Placebo	Placebo
4	Mix A	Mix B	Placebo
5	Placebo	Placebo	Placebo
6	Mix A	Mix B	Placebo

B1 Studiendesign (Mix A und Mix B enthalten Azofarbstoffe)

te eher gering. Außerdem konnte die Verhaltensänderung nicht bei allen Kindern in den Gruppen A und B beobachtet werden. Innerhalb der Altersgruppen waren die Verhaltensänderungen ebenfalls nicht eindeutig. Bei der Verwendung verschiedener Zusatzstoffgruppen gab es zudem keine gleichmäßigen Verhaltensänderungen.

INFO

In einer guten Studie ist die Stichprobenzahl sehr groß, damit ein Rückschluss auf die Gesamtpopulation möglich ist. Um einen Zusammenhang eindeutig auf einen verabreichten Inhaltsstoff zurückführen zu können, ist es wichtig, dass es neben der **Interventionsgruppe** (bekommen den Inhaltsstoff) eine **Kontrollgruppe** (bekommen den Inhaltsstoff nicht) gibt.

In einer **Doppelblindstudie** wissen weder die Teilnehmer noch die Studienleiter, wer in der Interventionsgruppe ist. Das hat den Vorteil, dass das Verhalten sich nicht aufgrund einer Erwartung ändert.

Ein **signifikanter Zusammenhang** besagt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der Zusammenhang zufällig auftritt, kleiner als 5 % ist.

Bekannt ist nun, welche Kriterien für eine gute Studie relevant sind. Bewerten Sie ausgehend davon die durchgeführte Studie zu Azofarbstoffen und den Einsatz dieser Farbstoffe in der Lebensmittelindustrie.

VORGEHEN

- Ist das Studiendesign sinnvoll?**
 - Handelt es sich um eine Doppelblindstudie?
 - Gibt es eine Kontrollgruppe?
 - Ist die Erhebung sinnvoll? Gibt es Gründe, dass die Erhebung verzerrte Ergebnisse liefert?
- Werden aus den Ergebnissen korrekte Schlussfolgerungen gezogen?**

Häufig werden Studienergebnisse verzerrt dargestellt, indem sie beispielsweise zu sehr verallgemeinert werden oder sogar Fehlschlüsse gezogen werden. Häufig wird der Begriff „signifikant“ fehlinterpretiert.

AUFGABEN

- A1** Nennen Sie positive und negative Aspekte der oben beschriebenen Studie.
- A2** Bewerten Sie anhand der dargestellten Studienergebnisse, ob ein Verbot von Azofarbstoffen in Lebensmitteln durchgesetzt werden sollte.

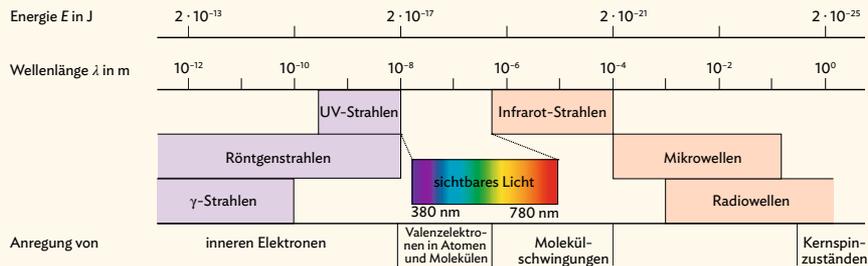
Alles im Blick

1 Zusammenhang zwischen Licht und Farbe

Licht hat sowohl Wellen als auch Teilchencharakter. Weißes Licht lässt sich mithilfe eines Prismas in die **Spektralfarben** zerlegen.

Wird das beobachtbare Spektrum von Rot nach Blau mit einem Thermofühler analysiert, lässt sich im Bereich des roten Lichts eine Temperaturerhöhung ermitteln. Jenseits des roten Lichts ist dieselbe Beobachtung zu machen, auch wenn mit dem bloßen Auge keine Strahlung mehr zu sehen ist. Nimmt man ein weißes, frisch gewaschenes Stück Stoff und führt damit denselben Versuch durch, lässt sich beobachten, dass der Stoff im blauen Farbbereich und jenseits davon zu leuchten beginnt. Daraus lässt sich ableiten, dass auch jenseits des sichtbaren Lichts Strahlung existieren muss.

Bei Strahlung handelt es sich um **elektromagnetische Wellen**, die sich durch den Raum bewegen. Wie energiereich Strahlung ist, hängt von ihrer Wellenlänge ab. Anhand dieser werden die verschiedenen Arten von Strahlung im **elektromagnetischen Spektrum** geordnet. Da Wellenlänge und Energie der Strahlung umgekehrt proportional zueinander sind, sinkt die Energie von links nach rechts im elektromagnetischen Spektrum. Niedrigenergetische Strahlung wie **Infrarotstrahlung** wird beispielsweise zum Heizen verwendet. Demgegenüber setzt man hochenergetische Strahlung wie **ultraviolette (UV) Strahlung** zur Stromerzeugung ein. Aufgrund der hohen Energie kann UV-Strahlung aber auch schädlich für Zellen sein. Kontrolliert benutzt man sie daher zur Desinfektion, während sie unkontrolliert Krebs verursachen kann.



2 Additive und subtraktive Farbmischung

Farben können auf verschiedenen Wegen entstehen. Man unterscheidet dabei die **additive** und die **subtraktive Farbmischung**.

Additive Farbmischung: Werden die Farben Rot, Grün und Blau gemischt, erscheint ein farbloser Lichtfleck. Die einzelnen Farben des Lichts summieren sich zu „farblos“. Nach der Farbenlehre existieren die drei Grundfarben **Rot**, **Grün** und **Blau**. Diese Grundlage wird als **RGB**-Farbraum bezeichnet. Aus diesen drei Farben lassen sich alle für uns wahrnehmbaren Farbtöne additiv mischen. Die einzelnen mischbaren Farbtöne lassen sich in einem **Farbkreis** darstellen. Die additive Farbmischung ist bei **Lichtemission** (Aussendung) selbstleuchtender Körper zu beobachten.

Subtraktive Farbmischung: Bei der Verwendung von Farbstoffen gelten andere Farben als Grundfarben: **Cyan**, **Magenta** und **Gelb** (Yellow). Diese bilden zusammen mit Schwarz (**Key**) den **CMYK**-Farbraum. Mischt man greifbare Farbstoffe statt Licht, lässt sich die Farbe Weiß jedoch nicht ermitteln. Stattdessen erhält man beim Mischen der Farben Rot, Grün und Blau den Farbeindruck Schwarz. Alles auftreffende Licht wird verschluckt, d. h. absorbiert. Die subtraktive Farbmischung tritt bei beleuchteten Körpern durch **Lichtabsorption** auf.

Die Farben der einen Farbmischung bilden die **Komplementärfarben** der anderen. Die Zusammenhänge werden auch hier in einem Farbkreis veranschaulicht.

3 Absorption und Emission

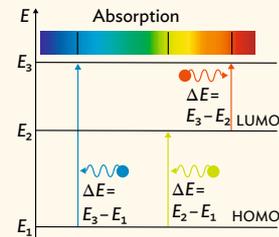
Der Vorgang der Absorption und Emission findet auf atomarer Ebene in Form einer **Elektronenanregung** zwischen verschiedenen Energieniveaus statt. Durch Aufnahme eines **Absorptionsspektrums** mit einem **Spektrometer** kann dadurch auch ein unbekannter Stoff qualitativ nachgewiesen werden. Im Absorptionsspektrum sind alle von der Lichtquelle emittierten Farben als kontinuierlicher Farbverlauf zu sehen. Dieser wird von Bereichen unterbrochen, in denen kein Licht zu detektieren ist, da diese spezifischen Wellenlängen durch den Stoff absorbiert werden (**Absorptionsbanden**).

Für den Ablauf des Absorptionsvorgangs ist dabei das im Molekül höchste, mit (mindestens) einem Elektron besetzte Energieniveau E_1 (**HOMO** = *highest occupied molecular orbital*) von besonderer Bedeutung. Über diesem existieren noch weitere, nicht besetzte Energieniveaus E_2, E_3 etc. Das unterste dieser Niveaus wird dabei als **LUMO** (= *lowest unoccupied molecular orbital*) bezeichnet. HOMO und LUMO besitzen einen exakten energetischen Abstand $\Delta E = E_2 - E_1 = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}$ zueinander. Zwischen diesen beiden

Energieniveaus finden bei der Absorption Elektronenverschiebungen statt.

Fällt Licht auf einen schwarzen Gegenstand, wird die Energie des einfallenden Lichts vom schwarzen Objekt aufgenommen und in Wärme umgewandelt. Die Energie des einfallenden Lichts wird dabei von im Molekül vorhandenen, delokalisierten Elektronen aufgenommen. Diese Elektronen befinden sich ursprünglich im HOMO (**Grundzustand**). Durch Energieaufnahme werden sie in das LUMO (oder darüber hinaus) angehoben (angeregt). Das Molekül befindet sich dann in einem **angeregten Zustand**.

Die für die Anregung benötigte Energie muss dabei exakt der Energiedifferenz ΔE entsprechen: $E_{\text{Licht}} = \Delta E$. Ist die Energiemenge größer oder kleiner, findet keine Anregung statt.



4 Farbstoffe in Alltagsprodukten

Farbstoffe sind ein fester Bestandteil unseres Alltags und finden sich in vielen Lebensbereichen und einer Vielzahl von Produkten, die wir täglich nutzen. Farbstoffe spielen eine entscheidende Rolle dabei, wie wir unsere Umwelt wahrnehmen und erleben.

Häufig finden Farbstoffe Anwendung zum Haarfärben oder als Tattoofarben. Ein Beispiel hierfür ist z. B. das natürliche Henna, das verwendet werden kann, um eine Rot- bzw. Braunfärbung der Haare bzw. des Tattoos zu erreichen. Dem natürlichen Farbstoff können aber auch weitere chemische Substanzen zugesetzt werden, um ein dunkleres Farbergebnis zu erhalten. Diese Zusätze können aber u. a. gesundheitliche Nachteile mit sich bringen.

Auch in der Lebensmittelindustrie sind Farbstoffe häufig anzutreffen. Man unterscheidet natürliche (z. B. Carotinoide) und synthetische **Lebensmittelfarbstoffe** (z. B. Azorubin). Synthetische Lebens-

mittelfarbstoffe müssen per Verordnung zugelassen sein und werden dann mit ihrer E-Nummer als Inhaltsstoff angegeben.

Lacke sind Beschichtungsstoffe und werden in dünnen Schichten auf Oberflächen aufgetragen und bilden durch chemische Reaktion einen haftenden Schutzfilm oder dienen der Veredelung bzw. Dekoration der Oberfläche.

Textilfarben sind spezielle Farbstoffe, die verwendet werden, um Stoffe und Textilien in verschiedenen Farben und Mustern zu färben. Sie spielen eine entscheidende Rolle in der Mode- und Textilindustrie.

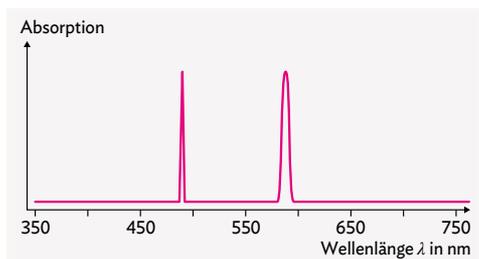
Farbstoffe sind aus chemischer Perspektive so variantenreich, dass allgemeine Aussagen über alle Substanzen hinweg unmöglich sind. Erst eine ausführliche Recherche, auch über mögliche Zusatzstoffe, erlaubt fundierte Bewertungen bezüglich deren Einsatz in Alltagsprodukten.

Zum Üben und Weiterdenken

- A1** a) Beschreiben Sie den Unterschied zwischen kontinuierlichem Spektrum, Emissionsspektrum und Absorptionsspektrum. Geben Sie jeweils ein Beispiel für die Entstehung dieser Spektren an.
b) Erklären Sie, wie man mithilfe von Spektralanalyse die chemische Zusammensetzung eines unbekanntes Stoffes bestimmen kann.

- A2** Entwerfen Sie ein Experiment zur Untersuchung der Absorption von Licht durch eine Farbstofflösung. Fertigen Sie eine Skizze zum Versuchsaufbau Ihres Experiments an und beschreiben Sie ...
a) die Materialien und Geräte, die benötigt werden.
b) die Vorgehensweise beim Experimentieren.
c) die durchzuführenden Messungen und die zu erwartenden Ergebnisse.

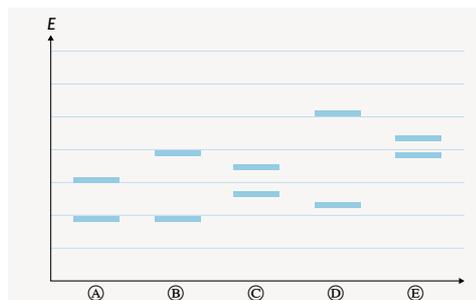
- A3** Das Absorptionsspektrum eines neuen Farbstoffs wird im Labor aufgenommen und ist in **B1** dargestellt.



B1 Aufgenommenes Absorptionsspektrum eines neuen Farbstoffs

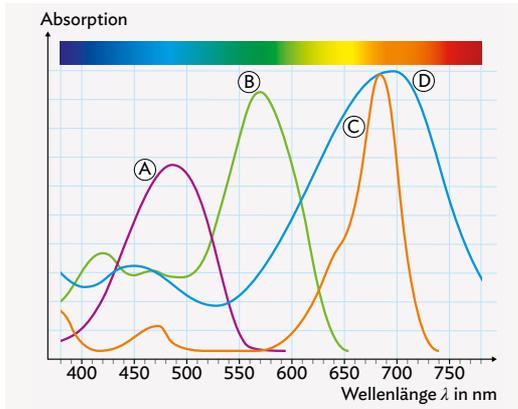
- a) Begründen Sie, welchen Farbeindruck der Farbstoff bei Beleuchtung mit weißem Licht bewirkt.
b) Dieser Farbstoff wird nun zum einen mit Licht der Wellenlänge ① $\lambda = 580 - 595 \text{ nm}$ und ② $\lambda = 500 - 560 \text{ nm}$ bestrahlt. Beschreiben Sie den jeweils entstehenden Farbeindruck und begründen Sie diesen.
- A4** Erstellen Sie ein Diagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Absorption und Farbeindruck. Zeichnen Sie hierfür zwei untereinander liegende Balken und markieren Sie den Wellenlängenbereich von 300 bis 800 nm. Markieren Sie im oberen Balken die zugehörige Farbe der absorbierten Wellenlängen und direkt darunter den entstehenden Farbeindruck der Komplementärfarbe.

- A5** Die Energieniveaus HOMO und LUMO von fünf verschiedenen Farbstoffen **A**, **B**, **C**, **D**, **E** sind in der Abbildung **B2** angegeben.



B2 HOMO und LUMO Energieniveaus von fünf verschiedenen Farbstoffen

- a) Ordnen Sie den fünf Farbstoffen **A** – **E** die folgenden Farbeindrücke zu und begründen Sie Ihre Zuordnung: Gelb, Rot, Violett, Blau und Grün.
b) Begründen Sie, dass Licht, das von Farbstoff **B** absorbiert wird, nicht auch von Farbstoff **C** absorbiert werden kann.
- A6** Jeans werden häufig mit dem organischen Pigment Indigo blau gefärbt (Blue Jeans). Dafür werden pro Jahr mehrere zehntausend Tonnen Indigo synthetisch produziert.
a) Recherchieren Sie nach einer für die Schule geeigneten Versuchsanleitung für die Synthese von künstlichem Indigo.
b) Geben Sie Sicherheitshinweise an, die für die Durchführung der Synthese in einem Schülerpraktikum unbedingt einzuhalten sind.
- A7** Azofarbstoffe sind synthetische, wasserlösliche Farbstoffe. Es gibt sie in allen erdenklichen Farben. So werden sie häufig in Kosmetik- und Lebensmittelprodukten verwendet. **B3** zeigt die Spektren von vier verschiedenen Lösungen von Azofarbstoffen: Janusgrün, Allurarot, Tartrazin und Brilliantblau.
a) Geben Sie die Wellenlänge der Absorptionsmaxima an und ordnen Sie die Kurven **A** – **D** den Farbstoffen zu.
b) Erklären Sie, wie es bei **C** und **D** zu unterschiedlichen Farbeindrücken kommen kann, obwohl die Absorptionsmaxima bei ähnlichen Wellenlängen liegen.



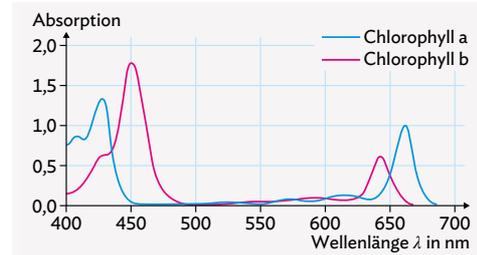
B3 Absorptionskurven verschiedener Azofarbstoffe

- A8** a) Beschreiben Sie die gesetzlichen Regelungen zur Verwendung von Farbstoffen in Lebensmitteln und Kosmetika in Deutschland. Recherchieren Sie die Informationen, die auf den jeweiligen Verpackungen angegeben werden müssen.
b) Diskutieren Sie die Rolle von Organisationen wie der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) oder der *U.S. Food and Drug Administration* (FDA) in Bezug auf die Sicherheit von Farbstoffen.

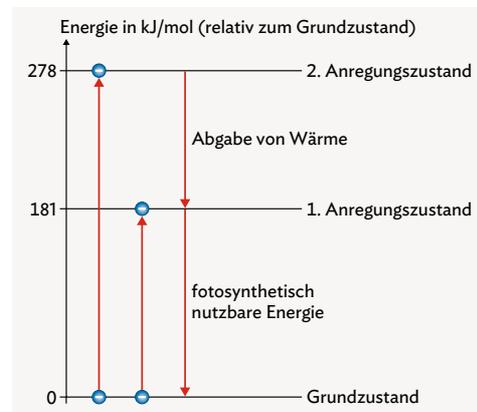
- A9** Im Internet finden Sie folgende Aussage: „Blaues Licht ist kurzwelliger und somit energiereicher als rotes Licht. Damit ist blaues Licht für die Photosynthese besser geeignet.“
a) Nehmen Sie unter Bezugnahme auf die Absorptionskurven von Chlorophyllen in **B4** Stellung zu dieser Aussage.
b) Ordnen Sie den beiden Anregungszuständen im Chlorophyll a-Molekül aus **B5** begründet je eines der beiden Absorptionsmaxima zu.

- A10** Wählen Sie drei verschiedene Farbstoffe aus, die in Alltagsprodukten vorkommen. Diese können natürliche Farbstoffe (z. B. Betanin, Chlorophyll) oder synthetische Farbstoffe (z. B. Tartrazin, Azorubin) sein.

- a) Geben Sie eine kurze Beschreibung jedes ausgewählten Farbstoffs, einschließlich seiner chemischen Struktur (sofern möglich) und seiner Herkunft (natürlich oder synthetisch).
b) Nennen Sie mindestens zwei spezifische Alltagsprodukte, in denen jeder Farbstoff verwendet wird, und erläutern Sie die Funktion des Farbstoffs in diesen Produkten.



B4 Absorptionskurve von Chlorophyll a und von Chlorophyll b



B5 Anregungszustände im Chlorophyll a-Molekül

- c) Recherchieren Sie die gesundheitlichen Auswirkungen der ausgewählten Farbstoffe. Geben Sie an, ob es bekannte Risiken oder Allergien gibt, die mit ihrem Einsatz verbunden sind. Berücksichtigen Sie sowohl die Perspektive von Verbrauchern als auch von Herstellern.
d) Bewerten Sie die Umweltverträglichkeit der Farbstoffe. Gehen Sie dabei vor allem auf die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt ein, insbesondere bei der Herstellung und Entsorgung.
- A11** Beschreiben Sie den Anteil des sichtbaren Lichts, der von den Farbstoffen in einer blauen und in einer gelben Blüte absorbiert wird.
- A12** Eine Färbung von Lebensmitteln ist z. B. zur Herstellung der ursprünglichen Farbe eines Produktes, das durch Verarbeitung oder Konservierung Farbverluste erlitten hat, notwendig. Andererseits kann durch Farbstoffe eine gleichmäßige Färbung bei unansehnlichen Erzeugnissen eingesetzt werden. Recherchieren Sie, welche Lebensmittel nicht mit Lebensmittelfarbstoffen versetzt werden dürfen.

Ziel erreicht?

Verfügen Sie über die Kompetenzen dieses Kapitels? Lösen Sie die entsprechenden Aufgaben auf dem Arbeitsblatt ➔ **QR 06043-011** und bewerten Sie sich mithilfe der Tabelle rechts unten.



06043-011

Unter ➔ **QR 06043-012** finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.



06043-012

KOMPETENZ A: Farbigkeit mit Emission und Absorption unterscheiden

- A1** Farbeindrücke können generell auf zwei verschiedene Arten entstehen: durch die additive und subtraktive Farbmischung.
- Erklären Sie anhand des Farbkreises in **B2**, Kap. 2.1.1 wie sich verschiedene Farben bei der additiven und der subtraktiven Farbmischung zusammensetzen.
 - Erklären Sie mithilfe des Farbkreises in **B3**, Kap. 2.1.2 den Zusammenhang zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung. Gehen Sie dabei auch darauf ein, welches Licht jeweils ins Auge des Betrachters fällt.
- A2** Entscheiden Sie begründet, welche Art von Farbmischung bei einem nicht selbstleuchtenden *E-Paper-Display* vorliegt, das z. B. zur Preisanzeige in Supermärkten verwendet wird (**B1**).



B1 Elektronisches Preisschild im Supermarkt

- A3** Geben Sie Beispiele aus Ihrem Alltag an, in denen Sie additiver bzw. subtraktiver Farbmischung begegnen.

KOMPETENZ B: Die Absorption von Licht als Anregung von Elektronen erklären

- B1** Farbstoffe machen unser Leben erst „bunt“. Ihre physikalische Funktionsweise ist jedoch komplex.
- Geben Sie an, welche Farbe(n) des auftretenden farblosen Lichts ein gelber Farbstoff absorbiert und welche er reflektiert.
 - Zeichnen Sie ein Absorptionsspektrum zu a).
- B2** Begründen Sie die Tatsache, dass der Farbeindruck einer Oberfläche kein vollständiges Abbild der Absorptionseigenschaften darstellt. Bedenken Sie insbesondere auch die Ränder des sichtbaren Spektrums.

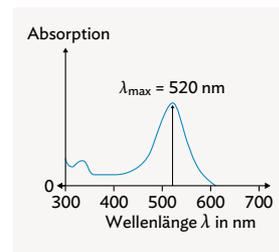
- B3** Gängige große Spektrometer arbeiten nicht ausschließlich mit einer Glühbirne als Leuchtmittel, sondern haben weitere Leuchtmittel verbaut, zwischen denen umgeschaltet wird. Erläutern Sie diesen komplexen Aufbau.

KOMPETENZ C: Farbigkeit mithilfe des Energiestufenschemas begründen

- C1** Das Energiestufenschema liefert eine Erklärung für die diskreten Linien eines Spektrums.
- Zeichnen Sie in ein Energiestufenmodell die bei der Absorption ablaufenden Prozesse ein.
 - Begründen Sie, dass der Abstand der relevanten Energieniveaus zueinander bei einem gelben Farbstoff viel größer als bei einem blauen Farbstoff ist.
- C2** Erläutern Sie das Interesse von Chemikerinnen und Chemikern an der energetischen Lage von HOMO und LUMO beim Design neuer Farbstoff-Moleküle.

KOMPETENZ D: Den Zusammenhang zwischen Absorption des Lichts und Farbigkeit erklären

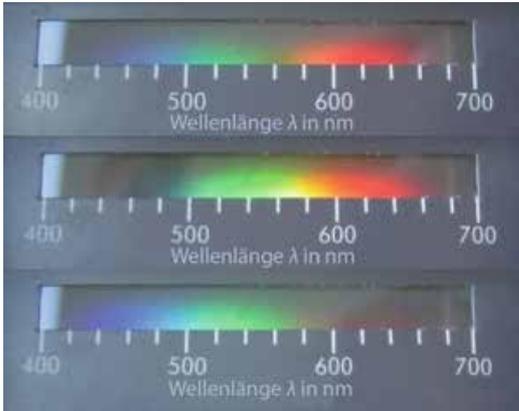
- D1** Erklären Sie die Farbigkeit des Stoffes anhand seines abgebildeten Absorptionsspektrums in **B2**.



B2 Absorptionsspektrum eines unbekannten Stoffes

- D2** Recherchieren Sie den energetischen Abstand von HOMO und LUMO im Bromthymolblau-Molekül in Abhängigkeit des pH-Wertes und erläutern Sie das Rechercheergebnis.

- D3** Erklären Sie die unterschiedlichen Farbeindrücke von Bromthymolblaulösungen bei unterschiedlichen pH-Werten mithilfe der Fotos in **B3**, die die Absorption bestimmter Wellenlängen durch die Bromthymolblaulösungen direkt zeigen.



B3 Fotos, die die Absorption bestimmter Wellenlängen durch Bromthymolblaulösungen bei einem pH-Wert von 0 (oben), 4 (Mitte) und 8 (unten) direkt zeigen

KOMPETENZ E: Den Einsatz von Farbstoffen bewerten

- E1** Die Bearbeitung von Bewertungsaufgaben erfolgt oft nach wiederkehrendem Muster (Schritte → QR 06043-002).
- a)** Erarbeiten Sie im Gespräch mit Mitschülerinnen und Mitschülern mögliche Werte, nach denen eine Bewertung von (chemischen) Sachverhalten erfolgen kann und geben Sie zugehörige Leitfragen an.
- b)** Geben Sie drei notwendige Schritte zur Beantwortung einer Bewertungsaufgabe an.
- E2** Erläutern Sie die Bedeutung von Perspektiven auf ein Werturteil.



E3 Begründen Sie, dass Unternehmen und Umweltverbände verschiedene Aspekte betrachten, um für den gleichen Sachverhalt einerseits ein positives und andererseits ein negatives Werturteil zu fällen. Gehen Sie dabei auf die Perspektiven und die Werte ein, nach denen ein solches Urteil jeweils gefällt wird.

E4 Ein farbiger Senf wird verkauft und speziell für Kindergeburtstage oder -feste und andere Anlässe vermarktet. Die auf der Packung aufgelisteten Zutaten sind natürliches Mineralwasser, Senfschrot, Honig, Branntweinessig, Kalaharisalz, Zucker und der Lebensmittelfarbstoff E 122 (**B4**).



B4 Etikett eines Senfs, der speziell für Kinderfeste beworben wird.

- a)** Recherchieren Sie Informationen zum Lebensmittelfarbstoff E 122.
- b)** Bewerten Sie den Einsatz dieses Farbstoffs im Hinblick auf die Werbebotschaft.

E5 Bewerten Sie den Einsatz von Tartrazin (E 102), einem gelben Farbstoff, im Vergleich in Deutschland und in Spanien. Gehen Sie dabei insbesondere auf die Kennzeichnungspflicht von Produkten mit diesem Farbstoff in Deutschland seit Sommer 2010 ein.

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf den Seiten 191 ff. und kreuzen Sie auf dem Arbeitsblatt an.

Kompetenz	ja	nein	zum Nachlesen
A Farbigkeit mit Emission und Absorption unterscheiden	---	---	S. 30 – 33
B Die Absorption von Licht als Anregung von Elektronen erklären	---	---	S. 30 – 35
C Farbigkeit mithilfe des Energiestufenschemas begründen	---	---	S. 34 – 35
D Den Zusammenhang zwischen Absorption des Lichts und Farbigkeit erklären	---	---	S. 34 – 35
E Den Einsatz von Farbstoffen bewerten	---	---	S. 42 – 43

Abi-Training: Naturfarbstoffe

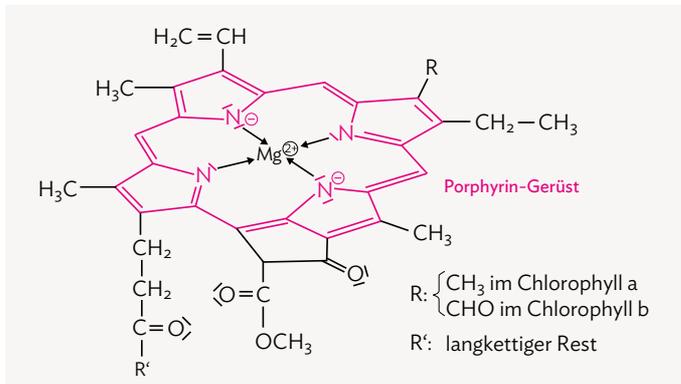
AUFGABEN

Farbstoffe haben in der Natur in vielfältiger Weise eine große Bedeutung. So sind sie z. B. an der Fotosynthese oder am Sehvorgang beteiligt. Auch werden bestimmte Naturfarbstoffe neben künstlichen Farbstoffen zum Färben von Lebensmitteln wie z. B. Butter verwendet.

- | | |
|---|--|
| <p>A1 Geben Sie Definitionen für die Fachbegriffe Absorption und Emission in Hinblick auf Farbigkeit anhand der Beispiele aus M1 an. Zeichnen Sie ein Energiestufenschema für Chlorophyll a, das anhand der Elektronenübergänge neben dem grünen Farbeindruck bei sichtbarem Licht auch den roten Farbeindruck beim Bestrahlen mit UV-Licht erklärt (M1).</p> <p>A2 Ordnen Sie die Namen der Isomere der Retinal-Moleküle den Valenzstrichformeln A und B in M2 zu und leiten Sie mithilfe der Informationen in M2 ab, in welcher Farbe das Rhodopsin erscheint.</p> <p>A3 Erklären Sie, wie sich die Farbe einer Retinallösung verändert, wenn diese mit Brom versetzt wird (M2). Stellen Sie eine Hypothese zur Erklärung der Änderung des Absorptionsspektrums des Retinals bei der Zugabe von Brom auf (M2).</p> <p>A4 Beurteilen Sie den Einsatz der Farbstoffe Buttergelb sowie β-Carotin für das Färben von Butter im Hinblick auf die Werte Gesundheit und Wirtschaftlichkeit (M3).</p> | <p>BE
12</p> <p>8</p> <p>4</p> <p>6</p> |
|---|--|

MATERIAL

M1 Chlorophyll - ein wichtiger Naturfarbstoff



B1 Grundgerüst der Moleküle von Chlorophyll a und b

In den Chloroplasten von pflanzlichen Zellen kommen als typische Farbstoff-Moleküle Chlorophyll a und b vor (**B1**). Diese absorbieren blaues und rotes Licht. Die absorbierte Energie wird u. a. für die Fotosynthese genutzt. Die Chlorophylle selbst sind grüne Farbstoffe.

Wird eine grüne Chlorophylllösung (**B2** oben) untersucht, indem sie mit energiereicherem, kurzwelligem sowie für das menschliche Auge unsichtbarem UV-Licht bestrahlt

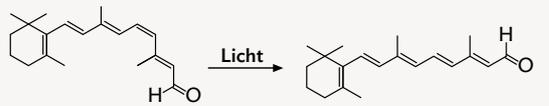


B2 Grüne Chlorophylllösung (oben) wird mit UV-Licht bestrahlt und erscheint rot (unten).

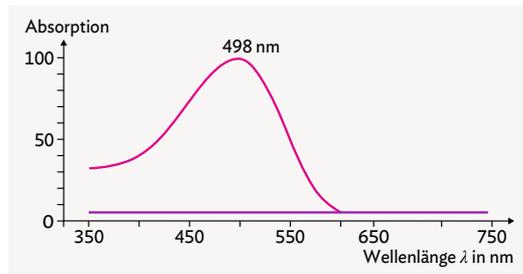
wird, erscheint sie rot (**B2** unten). Bei diesem Vorgang werden die delokalisierten Elektronen des Ringsystems (**B1**) durch das Licht angeregt und vom Grundzustand (HOMO) in energetisch höhere Zustände über das LUMO hinweg angehoben. Beim direkt darauffolgenden „Zurückfallen“ der angeregten Elektronen auf die nächst niedrigere Energiestufe, wird rotes Licht emittiert.

M2 Rhodopsin – ein wichtiger Farbstoff im Auge

In der Netzhaut unserer Augen befinden sich u. a. Stäbchenzellen. Diese Fotorezeptoren enthalten Rhodopsin, welches aus dem Protein-Molekül Opsin und dem chemisch daran gebundenen farbigen Aldehyd-Molekül 11-*cis*-Retinal besteht. Nach Lichtabsorption erfährt 11-*cis*-Retinal eine fotochemische *cis/trans*-Isomerisierung, die in der Zelle eine Signalkaskade auslöst und dazu führt, dass die Stäbchenzelle elektrische Signale an



B3 Valenzstrichformeln der Retinal-Isomere A (links) sowie B (rechts)



B4 Absorptionsspektrum von 11-*cis*-Retinal (pink) und Absorptionsspektrum nach Zugabe von Brom (violett)

eine nachgeschaltete Nervenzelle sendet. **B3** zeigt die beiden isomeren Formen der Retinal-Moleküle.

Für den Farbeindruck ist nicht das Opsin, sondern das Retinal ausschlaggebend. Das Absorptionsverhalten von 11-*cis*-Retinal im Spektralbereich des sichtbaren Lichts ist in **B4** dargestellt. Zum Erschließen der Farbe einer 11-*cis*-Retinallösung findet sich der Zusammenhang zwischen dem von einem Stoff absorbierten Licht und dessen Farbe in **B5**. Neben der Isomerisierung verändern auch chemische Reaktionen des 11-*cis*-Retinal-Moleküls dessen Absorptionsverhalten. Eine Ausdehnung des konjugierten Elektronensystems hat einen farbvertiefenden Effekt. Wird eine Retinallösung mit Brom versetzt, ändert sich das Absorptionsspektrum (**B4**).

absorbiertes Licht Wellenlänge λ in nm	Farbe	Farbe der Verbindung (Komplementärfarbe)
380 – 440	Violett	Gelbgrün
440 – 480	Blau	Gelb
480 – 490	Grünblau	Orange
490 – 500	Blaugrün	Rot
500 – 560	Grün	Purpur
560 – 580	Gelbgrün	Violett
580 – 595	Gelb	Blau
595 – 605	Orange	Grünblau
605 – 780	Rot	Blaugrün

B5 Zusammenhang von absorbiertem Licht und Farbe

M3 Butter – (k)ein Naturprodukt

Der Farbeindruck von Lebensmittelprodukten ist häufig ausschlaggebend für das Kaufverhalten von Konsumenten. So werden kräftige, passende Farben mit hoher Qualität assoziiert. Um das Kaufverhalten positiv zu beeinflussen und mögliche Farbabweichungen auszugleichen, werden Lebensmitteln deshalb Farbstoffe zugesetzt. So wird beispielsweise Butter häufig gelb bzw.

goldfarben gefärbt, um ihr einen Eindruck von Frische zu verleihen. Früher wurde der seit langem in der EU verbotene, künstliche Farbstoff Buttergelb eingesetzt. Heute wird neben naturbelassener Butter manchmal der Naturfarbstoff β -Carotin verwendet (**B6**). Dieser muss auf der Verpackung der Butter unter der Bezeichnung E 160a gekennzeichnet werden.

Name	Valenzstrichformel	GHS-Einstufung	Kosten
Buttergelb			27 € für 1 g
β -Carotin		Der Stoff ist als nicht gefährlich eingestuft im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [GHS].	25 € für 1 g

B6 Vergleichsübersicht zu den Farbstoffen Buttergelb und β -Carotin

Bildnachweis

AdobeStock / Anachalee – S. 76; - / Anna – S. 60; - / Yani Aulia – S. 10, 162/163; - / beats – S. 102; - / ByyNrr – S. 166; - / eyewave – S. 150; - / Jan Felber – S. 76; - / Yulia Furman – S. 118; - / industrieblick – S. 120; - / Migrenart – S. 146; - / norrabhudit – S. 8, 98/99; - / nuzza11 – S. 112; - / ON-Photography – S. 143; - / Pete – S. 176; - / Petr – S. 72; - / S. Prasath – S. 40; - / Grzegorz Targosz – S. 77; - / wachiwit – S. 144; Alamy Stock Photo / BSIP SA – S. 40; - / hanohkirk – S. 176; - / image-BROKER.com – S. 177; - / Suzanne Long – S. 124; - / Panther Media Global – S. 180; - / RossHelen editorial – S. 31; - / Science History Images – S. 32; - / Science Photo Library – S. 6, 26/27, 120; - / STERKL – S. 30; - / Westend61 GmbH – S. 124; Claudia Bohrmann-Linde, Wuppertal – S. 54, 66, 82; Dominik Diekemper, Germering – S. 138, 142; Michaela Dobeneck, Adelsdorf – S. 114; EUFIC - European Food Information Council – S. 116; Florian Gärtner, Wesel – S. 130; Getty Images Plus / Hemera, Ulrich Müller – S. 209; - / iStockphoto, Arijuhani – S. 114; - / iStockphoto, ArisSu – S. 7, 52/53, 60; - / iStockphoto, BlackMagic – S. 56; - / iStockphoto, DisobeyArt – S. 149; - / iStockphoto, kzenon – S. 232; - / iStockphoto, lenta – S. 71; - / iStockphoto, Nataba – S. 156; - / iStockphoto, Mohammed Haneefa Nizamudeen – S. 84; - / iStockphoto, rudall30 – S. 165; - / iStockphoto, Schad1953 – S. 72; - / iStockphoto, tommaso79 – S. 146; - / iStockphoto, ttsz – S. 110; iStockphoto / VectorMine – S. 184; Richard Kremer – S. 171; Klaus Dieter Krüger, Friedland – S. 110; Mauritius Images / Alamy Stock Photo, Art Phaneuf – S. 176; - / Alamy Stock Photo, Peter J. Hatcher – S. 64; - / Alamy Stock Photo, Historic Images – S. 58; - / Alamy Stock Photo, Violeta Meletis – S. 187; - / Alamy Stock Photo, Pixel-shot – S. 42; - / Alamy Stock Photo, VPales – S. 48; - / Alamy Stock Photo, Zoonar GmbH – S. 150; Science Photo Library / Andrew Lambert Photography – S. 107, 177; - / Biografx, Kenneth Edward – S. 122; - / Martyn F. Chillmaid – S. 29 (3); - / E.R. Degginger – S. 29 (2); - / DK IMAGES – S. 161; EYE OF SCIENCE – S. 140; - / Mauro Fermariello – S. 107; - / Laguna Design – S. 130; - / Charles D. Winters – S. 29; Shutterstock / © 2023 chemical industry – S. 64; - / murartart – S. 170; - / Pressmaster – S. 233; - / Raimundo79 – S. 117; Harald Steinhofer, Walpertskirchen – S. 82; Umweltbundesamt 2025 / eigene Zusammenstellung mit Daten der CONVERSIO Market & Strategy GmbH - Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023 – S. 148; www.wikimedia.org / Marie Franzen, CC BY-SA 3.0 – S. 50; Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung / Maisenbacher, Spektren von Bromthymolblau-Lösungen – S. 49 (3).

Mediencodes

Science Photo Library / Martyn F. Chillmaid (3); Science Photo Library / Charles D. Winters; Science Photo Library / E.R. Degginger (2) – S. 28 (06043-005);
 Mauritius Images / Alamy Stock Photo, VPales – S. 48 (06043-011);
 Claudia Bohrmann-Linde, Wuppertal – S. 54 (06043-014);
 Hans-Jürgen Jäger, Kaiserslautern – S. 60 (06043-018);
 Getty Images Plus / iStockphoto, Daniel Lundgren – S. 116 (06043-048);
 AdobeStock / denboma – S. 122 (06043-053);
 Getty Images Plus / iStockphoto, chonticha wat; Getty Images Plus / iStockphoto, ArisSu – S. 126 (06043-057);
 Stefanie Neu, Straubenhardt – S. 130 (06043-058);
 Getty Images Plus / iStockphoto, inside-studio – S. 135 (06043-060);
 Getty Images Plus / iStockphoto, rudall30 – S. 164 (06043-070);
 Mauritius Images / Alamy Stock Photo, Violeta Meletis- S. 186 (06043-080).