

Photonen und Moleküle

PHOTO – MOL

BEGLEITHEFT

Fluoreszenz
Phosphoreszenz
Photochromie
Solvatochromie

Chemisches Gleichgewicht
Photostationärer Zustand
Molekulare Schalter
Intelligente Materialien

Impressum

PHOTO – MOL

Herausgegeben von M. W. Tausch
Bearbeitet von M. W. Tausch und N. Meuter
Mit Beiträgen von N. Meuter, S. Krees, S. Spinnen,
M. Driessen, R.-P. Schmitz und F. Gärtner

Dieses Werk folgt der reformierten Rechtschreibung und Zeichensetzung. Ausnahmen bilden Texte, bei denen künstlerische, philologische und oder lizenzrechtliche Gründe einer Änderung entgegenprechen.

© 2015 Aug. Hedinger GmbH & Co. KG

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Lehrmittelhändlers. Das gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen und Mikroverfilmungen.

Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Aug. Hedinger GmbH & Co. KG
Heiligenwiesen 26 – 70327 Stuttgart

Internet: www.hedinger.de

Webshop: www.der-hedinger.de

Photo-Mol

Inhalt des Koffers

Anleitungsheft Photo-Mol.....	PHM 1.20
USB-Stick mit Anleitungsheft.....	PHM 1.21
3 x Reagenzglas 200x30 mm, AR-Glas.....	1811
4 x Kulturröhrchen mit Schraubkappe, AR-Glas.....	PHM 1.111
1 x Kopierfolien A4, 10 Stück.....	PHM 1.25
1 x Laminierfolientaschen A4, 2x80 mic, glänzend, 10 Stück.....	PHM 1.26
1 x Laminiergerät A4, Olympia A 233.....	PHM 1.16
1 x Gewebepband weiß, extra Power Perfect, tesa 50 m, 19 mm.....	PHM 1.17
2 x Griffinbecher 50 ml, PP.....	607-08
1 x Glasrührstab 8, 16 cm lang.....	125 B
1 x Glasrührstab 8, 26 cm lang.....	125 A
1 x Antirutschmatte, ca. 200x300 mm.....	PHM 1.18
1 x HDF-Unterlage für Folien, ca. 200x300x2,5 mm.....	PHM 1.19
1 x LED-Taschenlampe 3 W UV WF-502b.....	PHM 1.12
2 x Einwegbatterie CR123 Rocket zu UV-Taschenlampe PHM 1.12.....	PHM 1.14
1 x LED Taschenlampe T 9029S, dreifarbig.....	PHM 1.13
2,5 g Fluorescein-Natrium.....	PHM 1.5
1,0 g Esculin Sesquihydrat.....	PHM 1.61
4,5 g Styropor / Polystyrol ¹	PHM 1.3
1,2 g Spiropyran (1,3,3-Trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrylospiran).....	PHM 1.71
250 mL Xylol (Isomerengemisch) z.A.*.....	PHM 1.2
100 g L(+)-Weinsäure*.....	PHM 1.4

Die mit * gekennzeichneten Produkte werden außerhalb des Koffers mitgeliefert.

¹ Anstatt der Styroporkugeln kann auch herkömmliches Verpackungsmaterial aus Styropor verwendet werden.

Photo-Mol

Inhalt des Begleitheftes

Vorwort.....	5
--------------	---

Teil 1: Photolumineszenz

Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. I

▶ AB1: Weinender Kastanienzweig.....	7
▶ AB2: Fluorescein in Lösung.....	8
▶ AB3: Leuchtfarben in Alltagsgegenständen und Naturprodukten.....	10
▶ AB4: Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix.....	11
<i>Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. II</i>	
▶ AB5: Fluorescein in wässriger Lösung und bei Zugabe von Aceton.....	13
▶ AB6: Fluorescein bzw. Esculin bei verschiedenen pH-Werten.....	15
▶ AB7: Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix.....	17
▶ AB8: Echtfarben-Emissionsspektren.....	19
▶ AB9: Molekülstruktur – Photolumineszenz.....	20
▶ AB10: Molekülstruktur – Photolumineszenz.....	21
▶ AB11: Photolumineszenz-Anwendungen.....	22

Teil 2: Photochromie

Versuch für die Sek. I und II

▶ Herstellung der „intelligenten Folie“ im Schülerversuch.....	23
<i>Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. I</i>	
▶ AB1: Die „intelligente Folie“ bei Sonnenlicht.....	25
▶ AB2: Die „intelligente Folie“ im Licht aus LEDs.....	26
▶ AB3: Die „intelligente Folie“ mit Lichtfiltern.....	27
<i>Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. II</i>	
▶ AB4: Licht – Farbe – Energie – Energiestufenmodell.....	28
▶ AB5: Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit bei photochemischen und thermischen Reaktionen.....	30
▶ AB6: Photometrische Messungen – Absorptionskurven.....	31
▶ AB7: Photostationäres und chemisches Gleichgewicht.....	32
▶ AB8: Photoaktiver molekularer Schalter Spiropyran-Merocyanin.....	34
▶ AB9: Solvatochromie von Merocyanin.....	36
▶ AB10: Molekulare Schalter – Anwendungen.....	38
▶ AB11: Molekulare Schalter – Anwendungen.....	39
▶ AB12: Einfluss der Nano-Umgebung auf die Lichtabsorption und -emission.....	40

Fachliche Zusatzinformationen (Digitales Begleitheft)

▶ T1: Photonen oder Lichtquanten – Quantifizierung der Energie und Linienspektren.....	41
▶ T2: Warum sehen wir Blattgrün grün? – Farben durch Lichtabsorption.....	42
▶ T3: Wie entstehen Leuchtfarben? – Farben durch Lichtemission.....	43
▶ T4: Monochromatisches und polychromatisches Licht.....	44
▶ T5: Photochromie, molekulare Schalter und photostationärer Zustand.....	45
▶ T6: Farbe an-Farbe aus – Molekülstruktur und Farbigkeit.....	46

Didaktische Hinweise

- ▶ Einbindung in den Chemieunterricht der Sek. I.....47
- ▶ Einbindung in den Chemieunterricht der Sek. II.....48
- ▶ Weitere Einsatzmöglichkeiten (Projektkurse, Lehramtsstudium u.a.)..... 49

Gefährdungsbeurteilungen

- ▶ für die Photolumineszenzversuche..... 51
- ▶ für die Herstellung der "intelligenten Folie"..... 60
- ▶ für die Photochromieversuche..... 61

Auf dem USB-Datenspeicher zusätzlich vorhandene Inhalte

Lösungen zu den Arbeitsblättern (Digitales Begleitheft)

- ▶ Teil 1: Photolumineszenz.....65
- ▶ Teil 2: Photochromie.....78

Flash-Animationen

- ▶ Photostationarität
- ▶ Ein Fall für Zwei

Literatur

1. M. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), CHEMIE 2000+ Sekundarstufe II, C. C. Buchner Bamberg 2007
2. M. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.), CHEMIE 2000+ Qualifikationsphase, C. C. Buchner Bamberg 2014
3. M. Tausch, D. Paterkiewicz, "Fluoreszenz und Phosphoreszenz" in Praxis der Naturwissenschaften (Chemie), 36, 14, (1988)
4. M. Tausch, "Ungleiche Gleichgewichte", CHEMKON, 3 (3), 123 (1996)
5. M. Tausch (Hrsg.), Themenheft „Lumineszenz“, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule“, Jahrgang 53, Heft 3 (2004)
6. M. Tausch (Hrsg.), Themenheft „Gleichgewichte“, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule“, Jahrgang 61, Heft 2 (2012)
7. S. Krees, „Chemisches Gleichgewicht und photostationäres Gleichgewicht“, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule“, 61 (2), 18 (2012)
8. S. Krees, „Bits und Bytes auf der Basis molekularer Schalter – Modellversuche zur optischen Datenspeicherung“, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule“, 62 (8), 35 (2013)
9. M. Tausch, R.-P. Schmitz, N. Meuter: "Ein Fall für 2 – Interaktion von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese", Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 62 (8), 15 (2013)
10. M. Tausch (Hrsg.), Themenheft „All We Need Is Light“, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule“, Jahrgang 64, Heft 1 (2015)

Photo-Mol

Vorwort

Der Materialienkoffer *Photo-Mol* wurde für den Einsatz im Chemieunterricht und in der Lehrerbildung konzipiert und entwickelt. Er eignet sich für den Einsatz im Unterricht der Sekundarstufen I und II an Schulen sowie in fachdidaktischen Praktika, Schülerlabors und Lehrerfortbildungskursen.

Mit dem experimentellen Equipment des Koffers können fluoreszierende und phosphoreszierende Proben sowie photochrome und solvatochrome Lösungen und „intelligente“ Materialien mit photoaktiven molekularen Schaltern hergestellt und untersucht werden. Für die Erschließung der fachlichen Grundlagen obligatorischer Inhaltsfelder des Chemieunterrichts dienen Arbeitsblätter, Modellanimationen, Hintergrundinformationen und didaktische Hinweise. Chemische Schlüsselkonzepte wie Stoff-Teilchen, Struktur-Eigenschaften, Gleichgewichte und Energetik werden anhand von Alltagsphänomenen und innovativen Anwendungen für den Unterricht und die Lehre aufbereitet.

Ausgehend von den Grundversionen einzelner Experimente können die *Lernenden in forschend-entwickelnder* Vorgehensweise weitere Experimente zur Überprüfung von Hypothesen vorschlagen und durchführen. Die Print- und Elektronikmedien im Begleitheft und auf dem USB-Datenspeicher sind jeweils dem Niveau der Sek. I bzw. der Sek. II angepasst. Sie geben Impulse für den kreativen Umgang mit dem Materialienkoffer *Photo-Mol* im Sinne einer Interaktionsbox.

Für *Lehrende* enthält dieses Begleitheft didaktische Hinweise zur Einbindung der Experimente und Arbeitsblätter in die Lehrgänge des Schulunterrichts bzw. des Lehramtsstudiums.

Alle didaktischen Materialien für Lernende und Lehrende sind mit dem Unterrichtswerk *CHEMIE 2000+* des C. C. Buchner Verlags Bamberg (Lit. [1, 2]) vernetzt.

Wir wünschen Erfolg beim Experimentieren und Lernen mit dem Materialienkoffer *Photo-Mol*. Für Ihr elektronisches *Feedback* über den Fragebogen auf dem USB-Datenträger sind wir dankbar.

Michael W. Tausch, Nico Meuter
Wuppertal, Januar 2015

Weinender Kastanienzweig

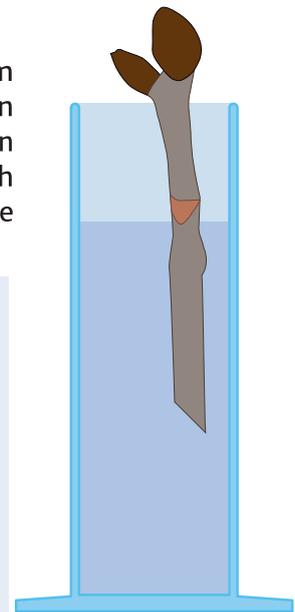
- V1** Schneide einen Kastanienzweig schräg an und tauche ihn im abgedunkelten Raum und im Licht der violetten LED-Taschenlampe in einen mit Wasser gefüllten Glaszylinder ein. Beobachte das Geschehen an der Schnittstelle und in der Flüssigkeit. Betrachte dann das Ganze auch bei Tageslicht ohne eingeschaltete LED-Taschenlampe. Notiere deine Beobachtungen.

.....

.....

.....

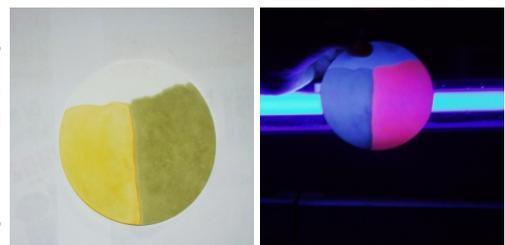
.....



- A1** In V1 wird ein im Kastanienzweig enthaltener Stoff, das Esculin, sichtbar. Kreuze jeweils so an, dass die Aussage mit den Beobachtungen aus dem Versuch übereinstimmt.

Esculin ist	<input type="checkbox"/> wasserlöslich	<input type="checkbox"/> nicht wasserlöslich
Esculin ist bei Tageslicht	<input type="checkbox"/> sichtbar	<input type="checkbox"/> nicht sichtbar
Esculin hat	<input type="checkbox"/> eine weiß-blaue Farbe	<input type="checkbox"/> keine Farbe

- A2** Die eine Hälfte eines Filterpapiers wurde mit dem gelben Farbstoff aus Karotten, β -Carotin, getränkt, die andere mit dem grünen Farbstoff aus Blättern, Chlorophyll. Das so präparierte Filterpapier ist bei Tageslicht (links) und im UV-Licht (rechts) zu sehen. Ergänze den Lückentext, in dem es um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Farben der Pflanzenstoffe Esculin, β -Carotin und Chlorophyll geht:



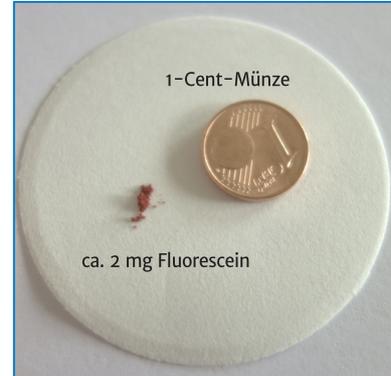
Die drei Pflanzenstoffe zeigen im violetten bzw. ultravioletten eine andere,
als bei Tageslicht. Die Farbe von Chlorophyll ist bei Tageslicht,
bei β -Carotin und Esculin hat bei Tageslicht

Chlorophyll leuchtet im Licht in Farbe,
Esculin in Farbe; β -Carotin erzeugt Leuchtfarbe.

- V2** Ähnliche Stoffe wie Esculin sind auch in den Zweigen der Eberesche und in den Blättern von Primeln enthalten. Plane Versuche zum Nachweis dieser Stoffe und führe sie mithilfe der violetten LED-Taschenlampe aus dem Photo-Mol Koffer durch.

Fluorescein in Lösung

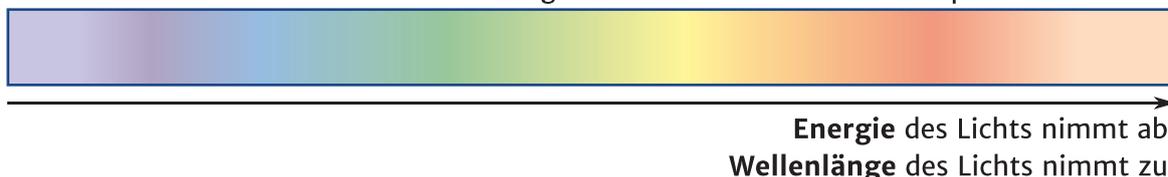
- V1** Löse ca. 2 mg Fluorescein (vgl. Bild) in 50 mL Wasser. Beobachte die Lösung sowohl bei Tageslicht als auch im Licht der violetten LED-Taschenlampe. Beobachte, was beim Ausschalten der LED-Taschenlampe geschieht. Notiere deine Beobachtungen.



- V2** Verteile die Lösung aus V1 auf drei Reagenzgläser, so dass diese etwa 2 cm hoch gefüllt sind. Gib in das erste Reagenzglas weitere 2 mg Fluorescein, behalte das zweite als Referenz und fülle das dritte mit Wasser auf. Vergleiche das Aussehen der Lösungen bei Tageslicht und im Licht der violetten LED-Taschenlampe. Notiere deine Beobachtungen.

Fluorescein in Lösung

- A1 Markiere im Farbspektrum mit einer Linie die Farbe des Lichts aus der LED-Taschenlampe von V2 sowie die Farbe der Fluorescein-Lösung im Licht der LED-Taschenlampe.



Kreuze die wahren Aussagen an:

- Die Farbe der Fluorescein-Lösung im Licht der LED-Taschenlampe entspricht einer höheren Energie als das Licht der LED-Taschenlampe
- Die Farbe der Fluorescein-Lösung im Licht der LED-Taschenlampe entspricht einer höheren Wellenlänge als das Licht der LED-Taschenlampe

- A2 Das helle Leuchten einer Stoffprobe im "Schwarzlicht" oder auch im Licht der violetten LED-Taschenlampe wie in V1, das beim Ausschalten der Lampe sofort erlischt, bezeichnet man als **Fluoreszenz**. Nenne drei weitere Stoffe/Gegenstände, die ebenfalls Fluoreszenz zeigen. Kreuze an, wenn du für diesen Stoff/Gegenstand die beiden Aussagen aus A1 wie in A1 beantwortest würdest.

Stoff/Gegenstand	Fluoreszenzfarbe	Aussage wie in A1
.....	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>

A3



Bei V2 wurde in dieses Reagenzglas gegeben. Dadurch

wurde die Konzentration der Lösung (erhöht, erniedrigt).

Diese Probe leuchtet im Licht der LED-Taschenlampe (stärker, schwächer, etwa gleich stark) als die Probe vor der Konzentrationsänderung.



Bei V2 wurde in dieses Reagenzglas gegeben. Dadurch

wurde die Konzentration der Lösung (erhöht, erniedrigt).

Diese Probe leuchtet im Licht der LED-Taschenlampe (stärker, schwächer, etwa gleich stark) als die Probe vor der Konzentrationsänderung.

Leuchtfarben in Alltagsgegenständen und Naturprodukten

- V1** Untersuche mithilfe der violetten LED-Taschenlampe aus dem Koffer im abgedunkelten Raum verschiedene Alltagsgegenstände und Naturprodukte dahingehend, ob sie oder ihre Inhaltsstoffe Leuchtfarben (Fluoreszenz) erzeugen. Für diese Untersuchungen eignen sich beispielsweise: Geldscheine, Textilien, Farben aus Textmarkern, Getränke mit Bittergeschmack, Vollwaschmittel, Gegenstände aus Spielzeug- und Bastelläden, Blattgrün aus Blättern und Gräsern, Bananenschalen und Kastanienzweigsaft (vgl. Arbeitsblatt 1). Protokolliere deine Versuchsergebnisse in einer Tabelle, die du nach folgendem Muster anlegst:

Nr.	Gegenstand (Teil des Gegenstands)	Farbe bei Tageslicht	Leuchtfarbe (Vergleich zu Tageslicht)
1	gelber Textmarker gelöste Farbe in Wasser	gelb	gelb leuchtender
2

Hinweis: Du kannst die Tabelle am Computer anfertigen und die Ergebnisse als Fotos einbauen, die du selbst aufnimmst.

- V2** Die gelbe Schale einer reifen Banane leuchtet im violetten oder ultravioletten Licht blau. Untersuche und dokumentiere fotografisch die Farbänderung einer Bananenschale bei Tageslicht und die Fluoreszenz im Licht der LED-Taschenlampe im Verlauf ihrer Reifung und Überreifung. Starte bei einer grünen, noch unreifen Banane, die du auf dem Fensterbrett liegen lässt und nimm Tag für Tag Fotos auf, bis die Schale sich braun gefärbt hat.



- A1** Wird Sonnenlicht, z. B. im Regenbogen, in seine Farbbestandteile aufgespalten, entsteht ein Spektrum. In diesem Spektrum sind folgende Farben zu sehen, die ineinander übergehen:



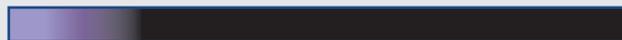
Das Licht eines gelblich fluoreszierenden Gegenstands liefert folgendes Spektrum:



Das Licht eines bläulich fluoreszierenden Gegenstands liefert folgendes Spektrum:



Das Licht der violetten LED-Taschenlampe liefert folgendes Spektrum:

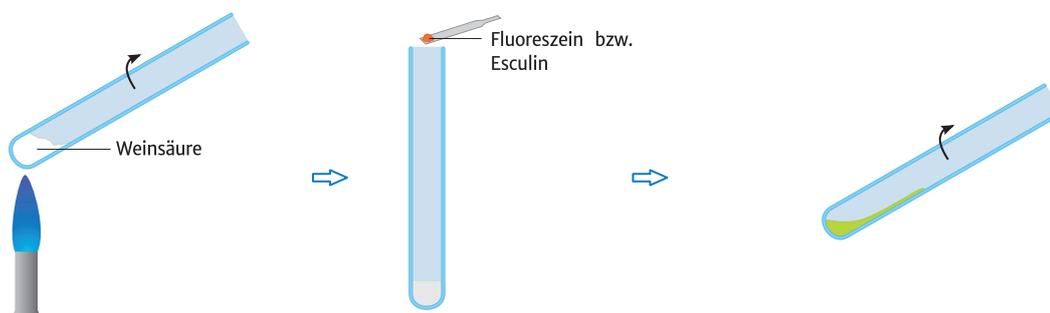
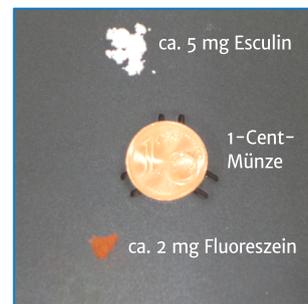


Entscheide, welche der folgenden Aussagen richtig sind und kreuze sie an:

- Im Sonnenlicht sehen wir Gegenstände nur in den Farben, die auch im Sonnenlicht enthalten sind.
- Im Licht aus der violetten LED-Taschenlampe sehen wir Gegenstände nur in den Leuchtfarben, die auch im Licht der LED-Taschenlampe enthalten sind.
- Das Licht aus der violetten LED-Taschenlampe erzeugt an einigen Gegenständen Leuchtfarben, die im Licht der LED-Taschenlampe nicht enthalten sind.
- Die im Licht aus der violetten LED-Taschenlampe erzeugte Leuchtfarbe eines Gegenstandes nimmt im Spektrum des Sonnenlichts stets eine nach Rot verschobene Position ein.

Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix

V1 Gib in ein großes Reagenzglas ca. 5 g Weinsäure. Fixiere das Rggl. am oberen Ende in einer Klemme, die du in der Hand hältst und erhitze die Weinsäure vorsichtig über der nicht leuchteten Brennerflamme bis zur Schmelze, indem du das Rggl. beim Erhitzen drehst. Sobald du eine klare Schmelze erhalten hast, nimm das Rggl. aus der Hitze und füge ca. 2 mg Fluorescein hinzu. Schüttele vorsichtig durch und verteile die Schmelze großzügig an der Innenwand des Reagenzglases, indem du das Reagenzglas schräg hältst und dabei drehst. Lasse die Schmelze erstarren und auf Raumtemperatur abkühlen.



- Betrachte die hergestellte Probe im abgedunkelten Raum im Licht der violetten LED-Taschenlampe und beobachte genau, was beim Ausschalten des Lichts geschieht.
- Wiederhole die Untersuchung wie bei a) mit der Probe, nachdem du sie in einem Eis-Wasser-Salzbad auf ca. 0 °C abgekühlt hast.

V2 Erzeuge nach dem gleichen Verfahren wie in V1 eine erstarrte Schmelze aus 5 mg Esculin und ca. 5 g Weinsäure.

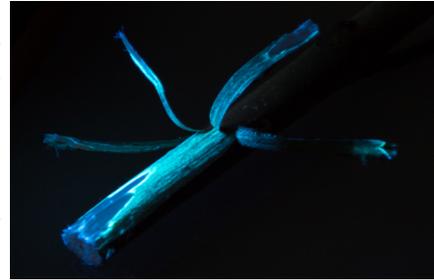
A1 Halte die Versuchsbeobachtungen aus V1 und V2 in der folgenden Tabelle fest:

	Beobachtungen V1 (Fluorescein)	Beobachtungen V2 (Esculin)
Probe bei Raumtemperatur
Probe bei 0 °C

A2 In den Versuchen von Arbeitsblatt 2 wurde der gleiche Leuchtstoff, Fluorescein, eingesetzt wie in V1. Beschreibe die Unterschiede bei der Herstellung der Leuchtproben, die mit der violetten LED-Taschenlampe untersucht wurden und nenne den wichtigsten Unterschied beim Leuchtverhalten der Proben von dieser Seite und denen von Arbeitsblatt 2.

Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix

A3 Man bezeichnet das Nachleuchten einer Probe, nach dem Ausschalten des violetten oder ultravioletten Lichts, mit der sie bestrahlt wurde, als **Phosphoreszenz** (Unterschied zur Fluoreszenz, vgl. Arbeitsblatt 2)



Fluoreszenz von Esculin unter der Rinde eines Kastanienzweigs

a) Bei der Phosphoreszenz in V1 und V2 wird Lichtenergie aus der violetten LED-Taschenlampe kurzzeitig gespeichert und innerhalb von wenigen Sekunden spontan wieder abgegeben. Begründe, warum die abgegebene Energie geringer ist als die aufgenommene (Hinweis: Vgl. Skizze aus A1 von Arbeitsblatt 2).

b) Bei der Fluoreszenz und Phosphoreszenz aus V1 und V2 entstehen Leuchtfarben, die im Licht der violetten LED-Taschenlampe nicht enthalten sind. Erkläre, wieso das möglich ist. (Hinweis: Vgl. Spektren aus A1 von Arbeitsblatt 3)



Phosphoreszenz von Fluorescein in einem Kunststoff

c) „Bevor eine Probe phosphoresziert, muss sie vorher fluoreszieren.“ Beurteile, ob diese Aussage allgemeingültig ist und begründe dein Urteil.

d) Fluorescein und Esculin sind Leuchtstoffe, die in einem flüssigen Gemisch, z. B. in wässriger Lösung, nur fluoreszieren und in einem festen Gemisch, z. B. in erstarrter Weinsäure-Schmelze, auch phosphoreszieren. Entwerfe eine Hypothese zur Erklärung dieses Sachverhalts.

A4 Drei Filterpapiere wurden mit verschiedenfarbigen Textmarkern gefärbt und bei Tageslicht sowie unter UV-Licht fotografiert. Danach wurde jedes der drei Papiere ca. 2 Minuten lang in Wasser eingetaucht, herausgenommen und vor das jeweilige Becherglas gelegt. Das Ergebnis wurde bei Tageslicht und unter UV-Licht in je einem Foto festgehalten.



Bei Tageslicht

Unter UV-Licht

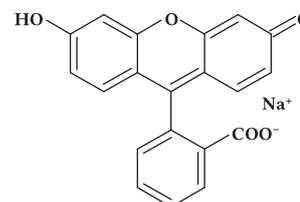
a) Gib an, welche der drei Textmarkerfarben wasserlöslich sind und begründe anhand der Versuchsergebnisse.

b) Der gelbe und der grüne Textmarker enthalten den gleichen Fluoreszenzfarbstoff. Erläutere, woran man das erkennen kann und stelle eine Vermutung auf, warum die beiden Textmarker dennoch verschiedene Farben haben.

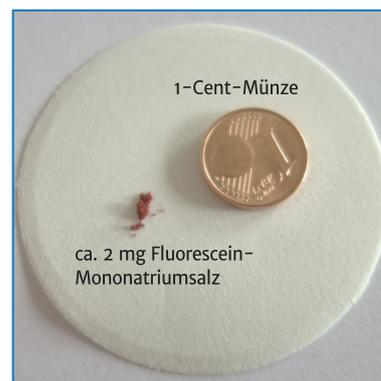
Fluorescein in wässriger Lösung und bei Zugabe von Aceton

Fachbegriffe: Farbe durch Lichtemission, Fluoreszenz, Energiestufenmodell, Grundzustand, elektronisch angeregter Zustand

Hinweis: Die Versuche von den Arbeitsblättern 1 bis 3 sollten bekannt sein oder vor den folgenden Versuchen durchgeführt werden.



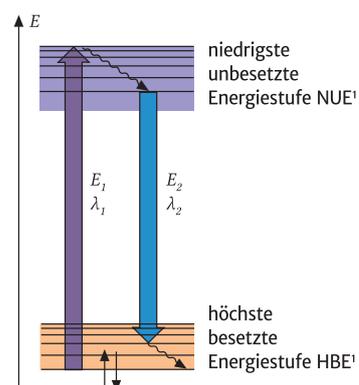
V1 Lösen Sie ca. 2 mg Fluorescein-Mononatriumsalz in 50 mL Wasser. Geben Sie von dieser Lösung so viel in zwei Rggl., dass jedes ca. 2 cm hoch gefüllt ist (den Rest der Lösung können Sie für die Versuche von Arbeitsblatt 6 verwenden). Geben Sie in das eine Rggl. in je 5 mL-Portionen Wasser und in das andere Aceton hinzu. Schütteln Sie nach jeder Zugabe, damit sich die Lösungen vermischen. Vergleichen Sie die Fluoreszenz der Lösungen in den beiden Rggl. im Licht der violetten LED-Taschenlampe. Beobachten Sie, was unmittelbar nach dem Ausschalten des Lichts geschieht. Setzen Sie die Zugabe von Wasser bzw. Aceton fort, bis die Rggl. voll sind.



2 mg Fluorescein-Mononatriumsalz

A1 Der violette Pfeil symbolisiert das von einem Fluorescein-Molekülion absorbierte Photon der Energie E_1 und der Wellenlänge λ_1 , der blaue Pfeil das bei der Fluoreszenz emittierte Photon der Energie E_2 und der Wellenlänge λ_2 . Erschließen Sie die Fachinhalte in *Text 3-4* aus den Zusatzinformationen (S. 43, 44) und bearbeiten Sie dann folgende Aufgaben.

- Erläutern Sie, inwiefern die Beobachtungen bei V1 die unterschiedlichen Längen der beiden dicken Pfeile in der Skizze für das absorbierte und emittierte Photon bestätigen oder nicht.
- Die beiden geschlängelten Pfeile in der Skizze kennzeichnen Schwingungsrelaxationen. Sie erfolgen jeweils innerhalb ein- und derselben elektronischen Energiestufe. Geben Sie an, welche Energieform dabei abgegeben wird und erklären Sie, warum dabei keine Lichtemission erfolgt.



Energiestufenmodell; die schwarzen Linien kennzeichnen Schwingungszustände innerhalb einer Energiestufe

- Die Skizze mit dem Energiediagramm enthält die Erklärung für den so genannten Stokes-Shift bei der Fluoreszenz. Danach ist das emittierte Photon im Vergleich zum absorbierten bathochrom, d. h. nach größeren Wellenlängen, verschoben. Setzen Sie jeweils das richtige Zeichen „>“ oder „<“ zwischen die folgenden Paare:

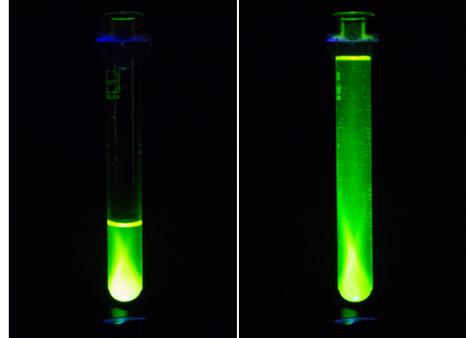
E_1 E_2 λ_1 λ_2

¹ Im Orbitalmodell entspricht die HBE dem HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital), die NUE dem LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital)

Fluorescein in wässriger Lösung und bei Zugabe von Aceton

A2 Wird die Fluorescein-Lösung aus V1 mit Wasser statt mit Aceton verdünnt, so verändert sich die Intensität der Fluoreszenz kaum, d.h. die verdünnte Lösung leuchtet nahezu gleich stark wie unverdünnte (vgl. auch V1). Dies zeigt, dass beim Verdünnen mit Wasser die Konzentration der hydratisierten Fluorescein-Monoanionen immer noch groß genug bleibt, um eine etwa gleich starke Fluoreszenz zu erzeugen.

- a) Beurteilen Sie anhand dieses Befunds und der weiteren Beobachtungen bei V1, inwiefern jede der folgenden zwei Hypothesen zutreffen könnte und diskutieren Sie mit Partnern die pro- und contra-Argumente.



Fluorescein-Lösung (links) und stark verdünnte Fluorescein-Lösung (rechts) jeweils mit der violetten LED-Taschenlampe von unten bestrahlt

Hypothese 1: Beim Verdünnen mit Aceton nimmt die Anzahl der hydratisierten Fluorescein-Monoanionen ab, weil die Fluorescein-Monoanionen statt mit Wasser-Molekülen nach und nach mit Aceton-Molekülen solvatisiert werden. Diese fluoreszieren nicht. Daher nimmt die Intensität der Fluoreszenz beim Verdünnen mit Aceton in V1 ab.

Hypothese 2: Beim Verdünnen mit Aceton vermischt sich ein Teil des Wassers mit dem zugefügten Aceton. Die verbleibenden hydratisierten Fluorescein-Monoanionen rücken näher zusammen, ihre lokale Konzentration nimmt zu. Dadurch kommt es zur Selbstlöschung der Fluoreszenz, d. h. die von angeregten Fluorescein-Monoanionen emittierten Photonen werden größtenteils von benachbarten nicht angeregten Fluorescein-Monoanionen gleich absorbiert, bevor sie die Lösung verlassen. Daher nimmt die Intensität der Fluoreszenz beim Verdünnen mit Aceton in V1 ab.

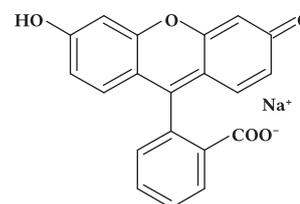
- b) Planen Sie einen Versuch zur Überprüfung der von Ihnen bevorzugten Hypothese und geben Sie an, wie er ausgehen müsste, damit die Hypothese bestätigt wird.

Fluorescein und Esculin bei verschiedenen pH-Werten

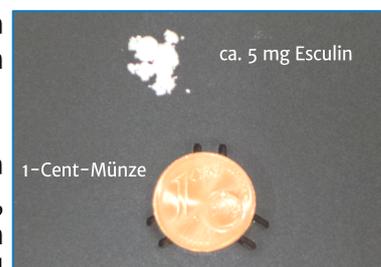
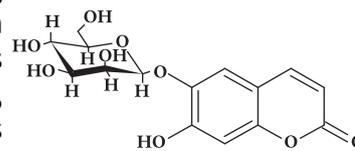
Fachbegriffe: Farbe durch Lichtemission, Fluoreszenz, Energiestufenmodell, Grundzustand, elektronisch angeregter Zustand

Hinweis: Die Versuche von den Arbeitsblättern 1 bis 3 sollten bekannt sein oder vor den folgenden Versuchen durchgeführt werden.

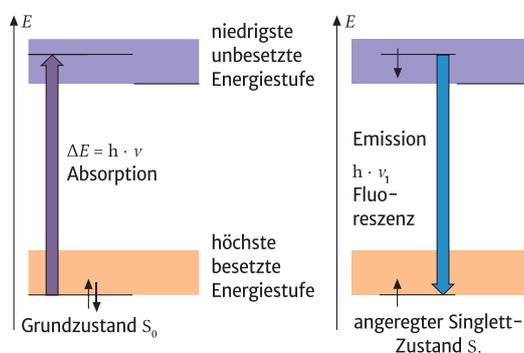
V1 Lösen Sie ca. 2 mg Fluorescein-Mononatriumsalz in 50 mL Wasser. Geben Sie von dieser Lösung in 5 Rggl. jeweils so viel, dass jedes Rggl. etwa 2 cm hoch gefüllt ist. Füllen Sie in das erste Rggl. Wasser bis es fast voll ist, geben Sie in das zweite weitere 2 mg Fluorescein, in das dritte 2 mL Natronlauge, $c = 0,1 \text{ mol/L}$, und in das vierte Salzsäure, $c = 0,1 \text{ mol/L}$. Das fünfte Rggl. dient als Vergleichsprobe. Vergleichen Sie das Aussehen der Lösungen im Tageslicht und im Licht der violetten LED-Taschenlampe. Beobachten Sie, was unmittelbar nach dem Ausschalten des Lichts geschieht.



V2 Lösen Sie ca. 5 mg Esculin in 25 mL Wasser. Teilen Sie die Lösung so auf 5 Rggl. auf, dass diese etwa 2 cm hoch gefüllt sind. Füllen Sie in das erste Rggl. Wasser bis es fast voll ist, geben Sie in das zweite weitere 5 mg Esculin, in das dritte 2 mL Natronlauge, $c = 0,1 \text{ mol/L}$, und in das vierte Salzsäure, $c = 0,1 \text{ mol/L}$. Das fünfte Rggl. dient als Referenzprobe. Vergleichen Sie das Aussehen der Lösungen im Tageslicht und im Licht der violetten LED-Taschenlampe. Beobachten Sie, was unmittelbar nach dem Ausschalten des Lichts geschieht.



A1 Erklären Sie mithilfe der Energiediagramme und den Fachinhalten aus Text 3-4 in den Zusatzinformationen (S. 43, 44) die Fluoreszenz in V1 und V2 auf Teilchen-Ebene. Verwenden Sie für das Fluorescein-Monoanion und für das Esculin-Molekül den Sammelbegriff *Fluorophor-Teilchen*.

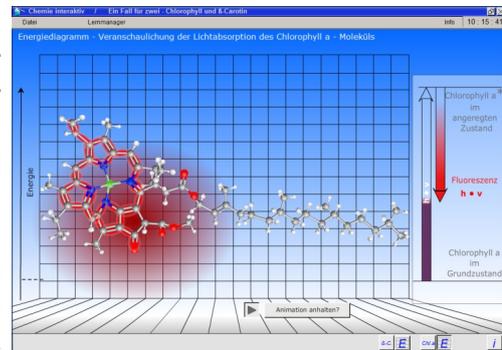


A2 Während die Fluorescein-Lösung auch bei Tageslicht farbig erscheint, ist die Esculin-Lösung bei Tageslicht farblos. Vergleichen Sie die Formeln der beiden Fluorophore und erläutern Sie die Ursache dieses Unterschieds.

Fluorescein und Esculin bei verschiedenen pH-Werten

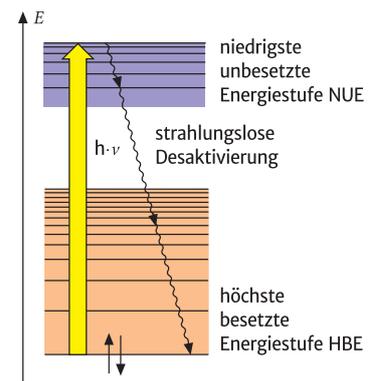
A3 Die pH-Abhängigkeit der Fluoreszenz in V1 und V2 beruht auf den Säure-Base-Eigenschaften der Fluorophor-Teilchen. Erläutern Sie mithilfe geeigneter Formeln und Reaktionsgleichungen die Strukturänderungen der beiden Fluorophor-Teilchen aus V1 und V2 bei der Zugabe von Natronlauge.

A4 Die Pflanzenfarbstoffe Chlorophyll a und Chlorophyll b erzeugen im Licht der violetten LED-Taschenlampe rote Fluoreszenz, β -Carotin fluoresziert dagegen nicht (vgl. Arbeitsblatt 1, A2).



a) Sie finden in *Text 4* (s. 44) und auf dem USB-Datenspeicher im Flash-Modul *Ein Fall für Zwei* Zusatzinformationen für die Erklärung dieses Sachverhalts. Erläutern Sie damit die Vorgänge auf der Teilchen-Ebene bei der Bestrahlung von Chlorophyllen und von β -Carotin mit violettem Licht.

b) In den Molekülen der Fluorophore Chlorophyll a, Chlorophyll b, Fluorescein und Esculin sind wegen der darin enthaltenen aromatischen Ringe die intramolekularen Schwingungen im Vergleich zu den Schwingungen im β -Carotin-Molekül stark eingeschränkt. Die Schwingungszustände (Schwingungsniveaus) werden im Energiestufenmodell durch schwarze Linien innerhalb einer elektronischen Energiestufe dargestellt. Bei Molekülen mit vielen intramolekularen Schwingungsfreiheiten hat der elektronische Grundzustand eine „breite“ höchste besetzte Energiestufe mit vielen Schwingungsniveaus. Übergänge zwischen Schwingungsniveaus einer Energiestufe verlaufen strahlungslos.



Energiestufenmodell mit Schwingungsniveaus im β -Carotin-Molekül

Beschreiben Sie die Desaktivierung des elektronisch angeregten β -Carotin-Moleküls, d.h. den Weg, auf dem es die Energie des absorbierten Photons „los wird.“ Begründen Sie, warum dabei keine Lichtemission durch Fluoreszenz erfolgt.

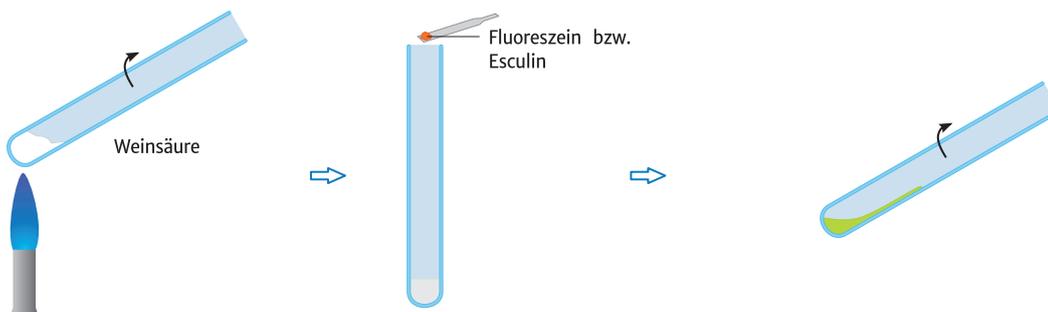
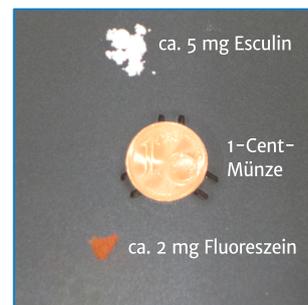
c) Die Moleküle der unter b) genannten Fluorophore haben ein strukturelles Merkmal, das im Molekül des β -Carotins fehlt. Finden Sie dieses Merkmal heraus und benennen Sie es.

Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix

Fachbegriffe: Lichtemission, Photonen, Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Energiestufenmodell, Grundzustand, elektronisch angeregter Zustand, Singlett- und Triplett Zustand, Lebensdauer angeregter Zustände

V1 Stellen Sie *je zwei* Proben von Weinsäure und Fluorescein bzw. Weinsäure und Esculin nach folgender Vorschrift her:

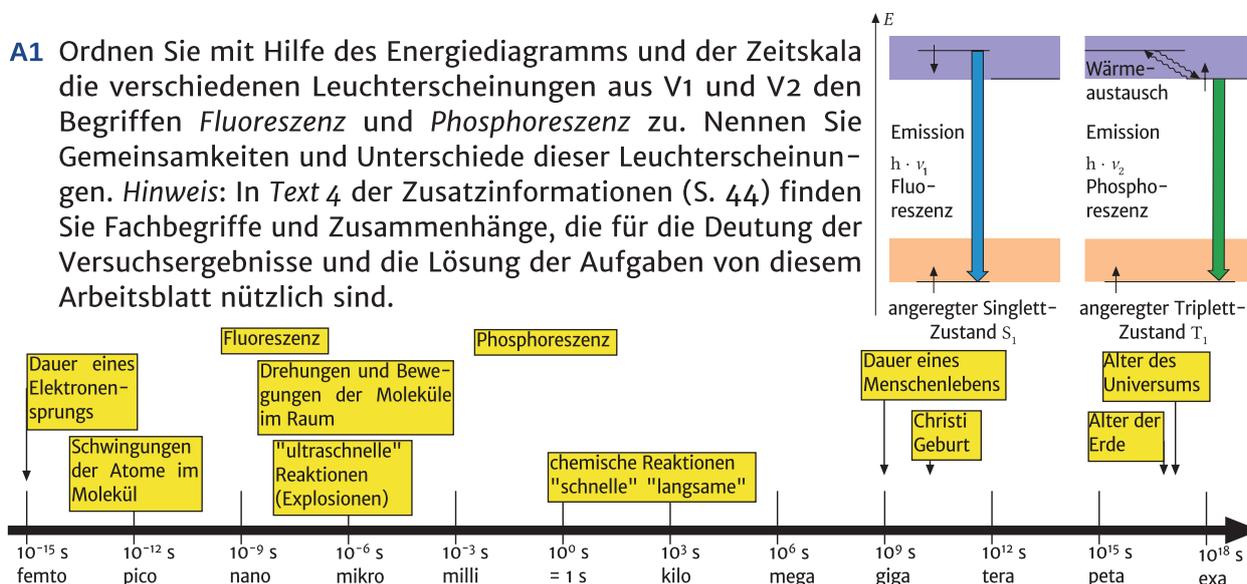
In ein großes Reagenzglas werden ca. 5 g Weinsäure gegeben. Das Rggl. wird in einer Klemme fixiert, die man in der Hand hält. Es wird vorsichtig über der rauschenden Brennerflamme bis zur Schmelze erhitzt, indem man das Rggl. beim Erhitzen dreht. Sobald eine klare Schmelze vorliegt, wird das Rggl. aus der Hitze genommen und es werden ca. 2 mg Fluorescein bzw. ca. 5 mg Esculin hinzugefügt. Durch vorsichtiges Schütteln, Drehen und Schräghalten des Rggl. wird die Schmelze großzügig an der Innenwand verteilt. Danach lässt man die Schmelze erstarren.



Betrachten Sie jede der so hergestellten Proben im noch warmen Zustand im abgedunkelten Raum unter dem Licht der violetten LED-Taschenlampe und beobachten Sie genau, was beim Ausschalten der Lampe geschieht.

V2 Lassen Sie die vier Proben aus V1 bis auf Raumtemperatur abkühlen und kühlen Sie je eine Probe mit Fluorescein und eine mit Esculin in einem Eis-Wasser-Salz-Gemisch weiter bis auf ca. 0 °C ab. Betrachten Sie jede der Proben im abgedunkelten Raum im Licht der violetten LED-Taschenlampe und beobachten Sie genau, was beim Ausschalten der Lampe geschieht.

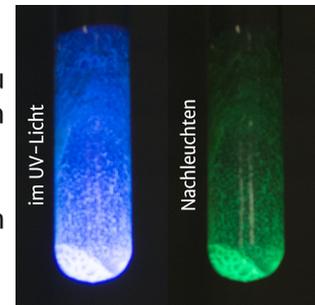
A1 Ordnen Sie mit Hilfe des Energiediagramms und der Zeitskala die verschiedenen Leuchterscheinungen aus V1 und V2 den Begriffen *Fluoreszenz* und *Phosphoreszenz* zu. Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede dieser Leuchterscheinungen. *Hinweis:* In Text 4 der Zusatzinformationen (S. 44) finden Sie Fachbegriffe und Zusammenhänge, die für die Deutung der Versuchsergebnisse und die Lösung der Aufgaben von diesem Arbeitsblatt nützlich sind.



Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix

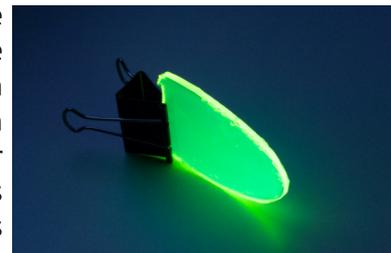
A2 Erklären Sie, warum:

- die durch Phosphoreszenz emittierten Photonen im Vergleich zu den durch Fluoreszenz emittierten stets bathochrom (nach größeren Wellenlängen) verschoben sind;
- nach dem Ausschalten der Lampe keine Fluoreszenz mehr gesehen werden kann;
- eine kalte Probe länger phosphoresziert als eine warme;
- das Leuchten der Proben während der Bestrahlung mit der violetten LED-Taschenlampe nicht nur aus Fluoreszenz besteht;
- das Leuchten einer warmen Probe aus V1 während der Bestrahlung mit der violetten LED-Taschenlampe stärker blau erscheint als eine kalte Probe gleicher stofflicher Zusammensetzung.

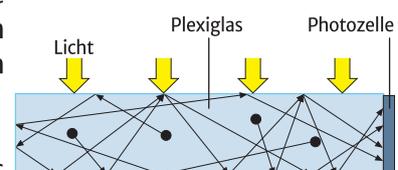


Esculin in Weinsäure

A3 Ein *Fluoreszenzkollektor* ist in der Regel eine großflächige Platte aus transparentem Material, beispielsweise Plexiglas, das geringe Mengen eines Fluoreszenzfarbstoffs enthält. Die im polymeren Material fixierten Moleküle des Fluorophors werden durch sichtbares Licht, das über die große Fläche in den Kollektor eindringt, zur Fluoreszenz angeregt. Die Photonen des Fluoreszenzlichts gelangen von innen an die glatten Flächen des Kollektors. Dort unterliegen die meisten einer Totalreflexion, d. h. sie werden immer wieder in das Innere des Kollektors zurückgeworfen. Erst wenn die Fluoreszenzquanten auf eine Kante des Kollektors treffen, wo aus geometrischen Gründen keine Totalreflexion zustande kommt, treten sie aus dem Material heraus.



Fluoreszenzkollektor aus Plexiglas und Farbstoff aus einem Textmarker



Funktionsprinzip eines Fluoreszenzkollektors

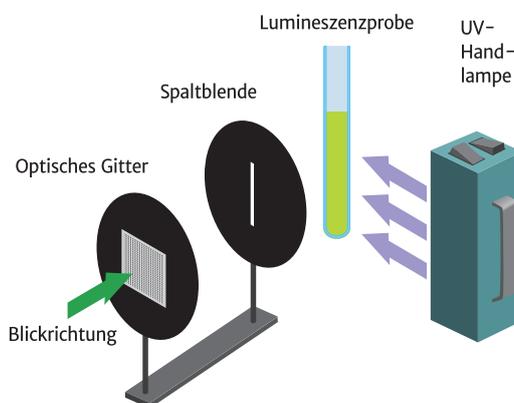
- Erläutern Sie, warum ein Fluoreszenzkollektor auch als *Fluoreszenzkonzentrator* bezeichnet werden kann.
- Geben Sie begründet an, welche Farben aus dem Spektrum des weißen Tageslichts bei dem abgebildeten Fluoreszenzkollektor *nicht* wirksam sind.
- Mit dem Fluoreszenzkollektor¹ aus dem Foto, einer gängigen Silicium-Solarzelle, einem Multimeter und Alufolie lässt sich der Fluoreszenzkollektoreffekt bei diffusem Tageslicht nachweisen. Planen Sie einen entsprechenden Versuch und führen Sie ihn durch.

¹ Herstellung eines Fluoreszenzkollektors vgl. M. W. Tausch, M. von Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.): CHEMIE 2000+, Qualifikationsphase Sek. II NRW, C. C. Buchner, Bamberg 2014, Seite 130

Echtfarben-Emissionsspektren

Fachbegriffe: Lichtemission, Spektren, Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Energiestufenmodell

V1 Bauen Sie mithilfe einer Spaltblende, eines Gitters ($D = 1/600 \text{ mm}$) und einer optischen Bank aus der Physiksammlung die in der Skizze dargestellte Vorrichtung auf. Bringen Sie in der angedeuteten Weise mit der LED-Taschenlampe verschiedenfarbig leuchtende Fluoreszenzproben z.B. wässrige Lösungen von Fluorescein und Esculin (vgl. Arbeitsblatt 6) und Phosphoreszenzproben z.B. Fluorescein und Esculin in Weinsäure-Matrix (vgl. Arbeitsblatt 7) zum Leuchten und betrachten Sie die Echtfarben-Emissionsspektren indem Sie aus geeignetem Winkel mit einem Auge (das andere ist geschlossen) ins optische Gitter blicken.



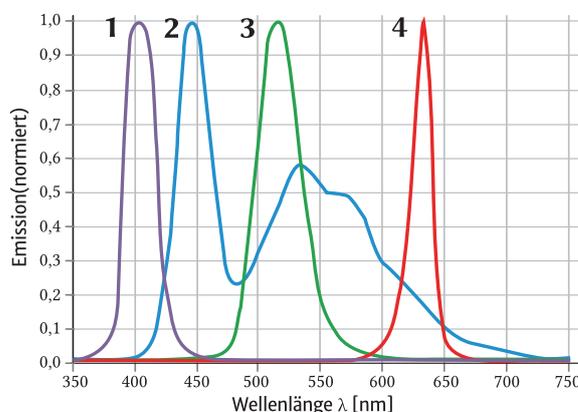
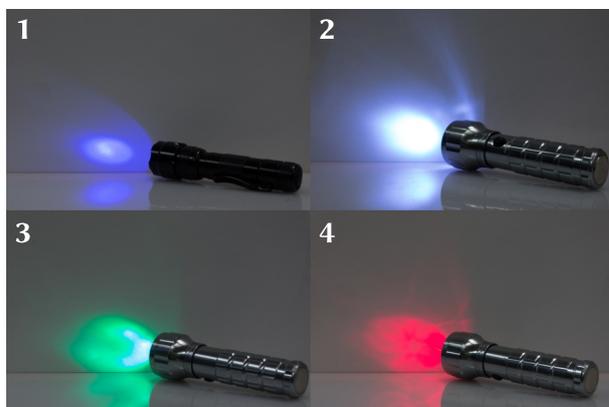
A1 Ordnen Sie die beiden abgebildeten Echtfarben-Emissionsspektren der gelblich-orange fluoreszierenden Fluorescein- und der bläulich-weiß fluoreszierenden Esculin-Lösung in Wasser zu und begründen Sie ihre Zuordnung.



A2 Erklären Sie mithilfe geeigneter Fachbegriffe und eines Energieschemas, warum in den Echtfarben-Emissionsspektren von Fluorescein und Esculin:

- nicht alle Farben des Regenbogens enthalten sind;
- nicht die gleichen Farben auftreten;
- die Farbe violett nicht enthalten ist;
- die Farben ineinander übergehen, d.h. nicht durch Dunkelzonen getrennt sind;

A3 Die graphisch aufgetragenen Emissionsspektren der vier Lichtfarben, die mit den LED-Taschenlampen aus dem Photo-Mol Koffer erzeugt werden können, stellen sich wie folgt dar:

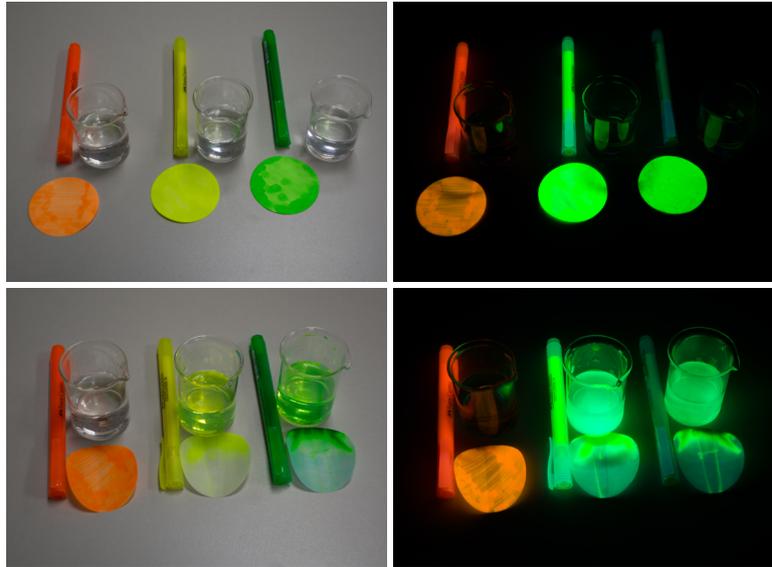


Begründen Sie, warum für die Erzeugung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz nur die violette LED-Taschenlampe geeignet ist.

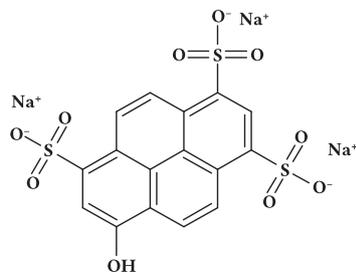
Relation: Molekülstruktur-Photolumineszenz

Fachbegriffe: Energiestufenmodell, Chromophor, Donator- und Akzeptor-Gruppen, intramolekulare Schwingungen, zwischenmolekulare Wechselwirkungen

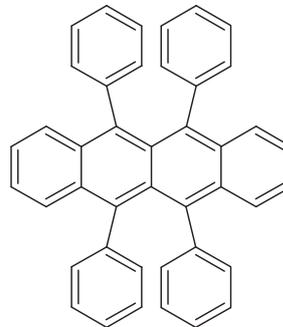
A1 Drei Filterpapiere wurden mit Textmarkern gefärbt und bei Tageslicht sowie unter UV-Licht fotografiert. Danach wurde jedes der drei Papiere ca. 2 Minuten lang in Wasser eingetaucht, heraus genommen und vor das jeweilige Becherglas gelegt. Das Ergebnis wurde bei Tageslicht und unter UV-Licht jeweils in einem Foto festgehalten.



- a) Der gelbe und der grüne Textmarker enthalten den Fluoreszenzfarbstoff Pyranin, der orange-rote enthält als Fluorophor Rubren. Geben Sie an, wodurch deutlich wird, dass sich die beiden Fluorophore unterschiedlich gut in Wasser lösen und erklären Sie die unterschiedliche Wasserlöslichkeit mithilfe der Molekülstrukturen der beiden Fluorophore.



Pyranin



Rubren

- b) Vergleichen Sie die Formeln von Pyranin, Rubren, Fluorescein und Esculin (auf Arbeitsblatt 6) und kreuzen Sie die strukturellen Merkmale dieser Moleküle bzw. Molekül-Anionen an, die für die Fluoreszenz verantwortlich sind. (*Hinweis:* Aromatische Ringe, die über mindestens eine gemeinsame Kante verbunden sind, werden als kondensiert bezeichnet.)

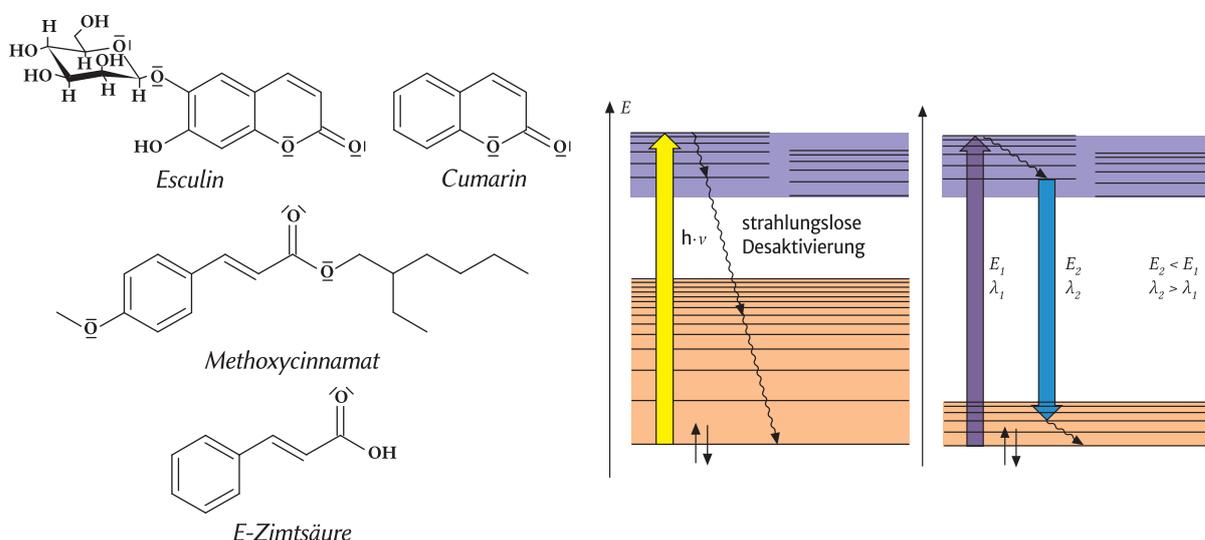
- Chromophore aus konjugierten Doppelbindungen in kondensierten aromatischen Ringen
- Anionische Gruppen als Substituenten an aromatischen Ringen
- Chromophore aus konjugierten Doppelbindungen und/oder freien Elektronenpaaren in kondensierten aromatischen Ringen
- Chromophore aus konjugierten Doppelbindungen und/oder freien Elektronenpaaren in aromatischen Ringen

Relation: Molekülstruktur - Photolumineszenz

Fachbegriffe: Energiestufenmodell, Chromophore, konjugierte Doppelbindungen, Bindungsdelokalisation, Lichtabsorption und -emission, intramolekulare Schwingungen, strahlungslose Desaktivierung

A1 In mehreren Versuchen aus dem Photo-Mol Koffer wird die Fluoreszenz von Esculin, einem Derivat des Cumarins (Benzopyranons), sichtbar. Dabei wird UV-Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt.

In Sonnenschutzcremes und manchen anderen Produkten will man UV-Strahlung einfach „vernichten“. Dafür benötigt man UV-Absorber, deren Teilchen nicht fluoreszieren. Die Derivate der Zimtsäure (engl. cinnamic acid) erfüllen diese Bedingungen und finden daher in vielen Sonnenschutzcremes Anwendung.



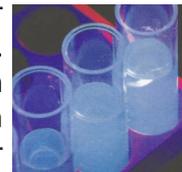
- Cumarin, Zimtsäure sowie ihre Derivate Esculin und Methoxycinnamat absorbieren im gleichen UV-Bereich ($280 < \lambda < 400 \text{ nm}$). Markieren Sie mit einem Textmarker die Chromophore in den angegebenen Formeln und begründen Sie mithilfe geeigneter Fachbegriffe, warum die Absorptionsbereiche der vier Verbindungen annähernd gleich sind.
- Ordnen Sie die beiden Energiestufendiagramme den beiden Verbindungsgruppen Cumarin und Derivate bzw. Zimtsäure und Derivate zu und begründen Sie die Zuordnung.
- Erläutern Sie, warum das Cumarin-Molekül im Vergleich zum Molekül der E-Zimtsäure relativ starr ist, d. h. weniger Schwingungs- und Rotationsfreiheiten hat.
- Schreiben Sie die Gerüstformel (das Molekülsymbol) von Z-Zimtsäure auf und beurteilen Sie, in welchem der beiden Isomere (E- und Z-Zimtsäure) sich die Carboxy-Gruppe und der Phenyl-Rest stärker behindern.

Photolumineszenz - Anwendungen

Fachbegriffe: Leuchtfarben, Fluoreszenz vs. Elektrolumineszenz, Fluoreszenzassay, Fluoreszenzmikroskopie

A1 Recherchieren Sie im Internet Anwendungen der Fluoreszenz unter folgenden Stichworten: fluoreszierende Minerale, leuchtende Textilien, optische Aufheller, Leuchtfarben, Schwarzlichttheater, LED, OLED. Begründen Sie, warum es sich bei den ersten fünf Beispielen um *Photolumineszenz* und bei den beiden letzten um *Elektrolumineszenz* handelt.

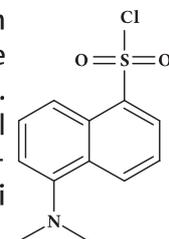
A2 Verschiedene Varianten von so genannten *Lumineszenzassays*, darunter der *Fluoreszenzassay*, gehören zu den klinischen Methoden der in-vitro-Diagnostik. Aus der Intensität, mit der eine vorher genau präparierte Probe fluoresziert, kann ermittelt werden, wie hoch darin die Konzentration der nachzuweisenden Substanz ist. Das grundlegende Prinzip ist, dass die Moleküle der nachzuweisenden Substanz „fluoreszenzmarkiert“ werden, d. h. Reste aus Fluorophor-Molekülen werden chemisch an die nachzuweisenden Moleküle gebunden.



Proben beim
Fluoreszenzassay

a) Erkunden Sie unter *Chemie 2000+ Online* (Suchbegriff: Lumineszenzassay) die Methode und erläutern Sie, warum es bei der Bestimmung des Gehalts an einem bestimmten Antikörper im Blutserum notwendig ist, nur die Moleküle des entsprechenden Antigens mit einem Fluorophor zu markieren.

b) Dansylchlorid (5-(Dimethylamino)naphthalin-1-sulfonylchlorid) ist ein blauer Fluoreszenzmarker, der über eine Elektronenpaarbindung an die endständige Amino-Gruppe eines Protein-Moleküls gebunden werden kann. Dabei wird zwischen dem Protein-Molekül und dem Dansylchlorid-Molekül ein Chlorwasserstoff-Molekül abgespalten. Benennen Sie diesen Reaktionstyp und begründen Sie, warum der Chromophor im Dansyl-Rest dabei erhalten bleibt.

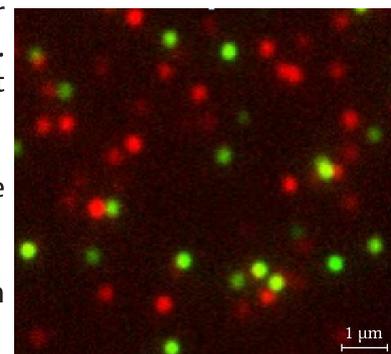


A3 Für die Sichtbarmachung von Zellen, Zellbestandteilen oder gar einzelnen Biomolekülen ist die Fluoreszenzmikroskopie geeignet. Auch hier werden die zu untersuchenden Moleküle im Voraus mit Fluorophoren „markiert“.

a) Ermitteln Sie die etwaige Größe (Durchmesser) der Moleküle aus der nebenstehenden Aufnahme.

b) Erläutern Sie, was man aus den unterschiedlichen Farben schließen kann.

c) Recherchieren Sie im Netz, wie es STEFAN HELL, dem Chemie-Nobelpreisträger 2014 gelang, die Auflösungsgrenze von 200 nm im Fluoreszenz-Lichtmikroskop zu überwinden.



Moleküle im Fluoreszenzmikroskop
(Foto: Dominik Wöll)

v1 Herstellung der „intelligenten Folie“ im Schülerversuch

Benötigte Geräte (im Koffer enthalten)

Transparente PET-Folien (Folie für den OH-Projektor; DIN A4), Klebeband, Karton, Becher aus Plastik, 2 Glasstäbe, Laminiergerät, Laminierfolien, LED Taschenlampen (violett, grün/rot/weiß) **Zusätzlich:** Spatel, Schere, Fön

Benötigte Chemikalien

50 mg Spiropyran
15 mL Xylol
4,5 g Polystyrol (Styropor)

Hinweise

Aus einer DIN A5 Folie, die durch Halbierung einer DIN A4 Folie erhalten wird, werden zwei ca. 15 cm x 10 cm große „intelligente Folien“ hergestellt. Die Anzahl der anzusetzenden Gruppenversuche sollte sich daher nach der Anzahl der Schülerinnen und Schüler richten. Jede Zweiergruppe aus Schülerinnen und Schülern beschichtet eine DIN A5 Folie. Eine Portion der hergestellten Lösung reicht für die Beschichtung von zwei DIN A5 Folien aus. Die Herstellung der Lösung und der Folie sollte in einem abgedunkelten Raum stattfinden.

Folie fixieren und Lösung herstellen

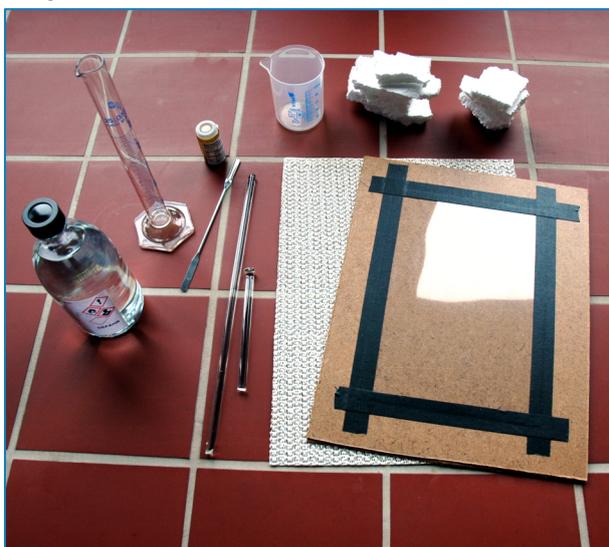
Jede Gruppe fixiert ihre transparente DIN A5 PET Folie mit Klebeband auf einem Stück Karton so dass alle Kanten der Folie mit Klebeband bedeckt sind.

Jeweils zwei Gruppen lösen zusammen in einem Becher aus Kunststoff 50 mg Spiropyran in 15 mL Xylol, die ungefähre Menge ist in B2 abgebildet. Es wird gerührt, bis die gesamte Menge des Spiropyrans gelöst ist. Zu dieser Lösung werden unter Rührung mit dem kleinen Glasstab ca. 4,5 g Styropor in kleinen Portionen zugefügt, bis die Spiropyran-Xylol-Polystyrol-Lösung eine honigartige Konsistenz erreicht (B3). Beim Lösen des Styropors entstehen Bläschen, weil im Styropor ein Gas eingeschlossen war. Um die Gasbläschen aus der



B2 Benötigte Menge Spiropyran

viskosen Lösung auszutreiben wird weiter gerührt und mit dem Becher auf die Tischplatte geklopft. Die Hälfte des Becherinhalts wird an den oberen Rand der PET-Folie der einen Gruppe gegossen. Die andere Hälfte wird analog auf die Folie der anderen Gruppe aufgebracht (B4).



B1 Benötigte Materialien und Vorbereitung der PET-Folie



B3 Herstellung der Lösung



B4 Auftragen der Lösung

v1 Herstellung der „intelligenten Folie“ im Schülerversuch

Beschichten und Trocknen

Mit dem langen Glasstab, der quer über die Folie mit den Enden auf das Klebeband gelegt wird, zieht man die viskose Masse als dünnen Film über die ganze Folie (B5). Falls die Folie beim ersten Drüberziehen nicht vollständig benetzt ist, kann der Glasstab ein zweites Mal angelegt und durchgezogen werden. Achtung: Da das Xylol verdunstet, härtet die Masse schnell. Um unschöne Streifen zu vermeiden, sollte der Glasstab nicht zu oft über die Polymermasse gezogen werden.

Nun wird die beschichtete Folie samt Unterlage ca. 30 min lang unter den Abzug zum Trocknen und Aushärten gelegt.

Nach 30 min kann mit dem Finger geprüft werden, ob die Beschichtung trocken ist. Zwecks Nachhärtung der Beschichtung kann noch ca. 5 Minuten lang gefönt werden. Dabei soll nicht heiße, sondern kalte bis warme Luft auf die Beschichtung geblasen werden. Nachdem die Beschichtung ausgehärtet ist, werden die Klebebandstreifen abgezogen und die Ränder der Folie mit der Schere gerade geschnitten. Die DIN A5 Folie wird anschließend mit der Schere halbiert. Jedes Stück hat nun die endgültige Größe von ca. 15 cm x 10 cm.



B5 Aufziehen der Masse

Einlaminiern, teilen und testen

Vier dieser beschichteten Folien, also die Produkte aus zwei Arbeitsgruppen, werden so in eine DIN A4 Laminiertasche gelegt, dass zwischen den Kanten der einzelnen Folien ca. 0,5 cm Abstände bleiben. Durch diese Bereiche wird erst nach dem Einlaminiern der beschichteten Folien mit der Schere geschnitten. Die Laminiertasche mit den eingelegten beschichteten Folienstücken wird vorsichtig in das vorher auf Betriebstemperatur gebrachte Laminiergerät eingeführt (B6) und beim Austritt mit der Hand aufgefangen.

Aus dem Laminat werden mit der Schere vier „intelligente Folien“ herausgeschnitten, indem man jeweils durch die Mitte der Abstände zwischen den beschichteten Folienstücken durchschneidet. Die beschichteten Folienstücke sind nun kratzfest und gegen das Einwirken von Luft, Wasser und anderen Stoffen geschützt. Mit der violetten LED-Taschenlampe wird ein erster Test durchgeführt: Wenn der Versuch gelungen ist, lässt sich durch Auflegen der eingeschalteten Taschenlampe auf die „intelligente Folie“ und langsames Gleiten über die Folie eine Information in blauer Farbe schreiben oder zeichnen. Im Dunkeln verschwindet diese Information innerhalb von ca. 30 Minuten.



B6 Einlaminiern

Versuche mit der "intelligenten Folie" bei Sonnenlicht

Hinweis: Bei allen Versuchen kannst du die blauen Stellen von der "intelligenten Folie" innerhalb weniger Sekunden **löschen**, indem du die Folie in heißes Wasser hältst und sie anschließend mit einem Tuch abtrocknest. Die Folie ist dann sofort für den nächsten Versuch einsetzbar.

- V1** Lege einen flachen Schlüssel als *Schablone* auf die "intelligente Folie" und halte das ganze für 20 bis 60 Sekunden ins Sonnenlicht. Achte darauf, dass die Schablone nicht verrutscht. Beschreibe dein Ergebnis.

- V2** Schneide mit einer Schere aus einem Blatt dicken Papiers oder dünnen Kartons eine von dir gewählte Form aus. Lege diese Schablone auf die "intelligente Folie" und halte das Ganze für 20 bis 60 Sekunden ins Sonnenlicht. Fertige Fotos oder Zeichnungen von der Schablone und dem Abdruck auf der "intelligenten Folie" an.

- V3** Auf der "intelligenten Folie" soll durch Belichten im Sonnenlicht ein blaues Quadrat mit einer Seitenlänge von 3 cm erzeugt werden. Fertige dazu die geeignete Schablone an und führe den Versuch durch. Dokumentiere die Schablone und den Abdruck mit Fotos oder Zeichnungen.

- V4** Finde heraus, wie du ansprechende, kunstvolle Bilder auf der "intelligenten Folie" erzeugen kannst. Dazu einige Tipps:
1. Als Schablone für die "intelligente Folie" kann ein Blatt, eine Farn, eine Vogelfeder oder auch eine schwarz-weiß Kopie eines Fotos auf einer normalen Klarsichtfolie dienen;
 2. Wenn du ein schönes Bild in Blau erzeugt hast, halte es gleich als Foto mit dem Handy oder der Kamera fest, denn es bleicht ziemlich rasch aus.

Versuche mit der "intelligenten Folie" und LEDs

Hinweis: Bei allen Versuchen kannst du die blauen Stellen von der "intelligenten Folie" innerhalb weniger Sekunden **löschen**, indem du die Folie in heißes Wasser hältst und sie anschließend mit einem Tuch abtrocknest. Die Folie ist dann sofort für den nächsten Versuch einsetzbar.

V1 Im Experimentierkoffer findest du zwei LED-Taschenlampen. Mit einer kannst du durch mehrmaliges Drücken auf den Einschaltknopf weißes, grünes oder rotes Licht erzeugen. Die andere LED-Taschenlampe erzeugt violettes Licht. Probiere der Reihe nach aus, mit welcher Lichtfarbe du ähnlich wie mit Sonnenlicht auf der "intelligenten Folie" Farbflächen erzeugen kannst. Stelle dazu die eingeschaltete Taschenlampe direkt auf die Folie.

Auswertung

a) Gib an, mit welcher der vier Lichtfarben aus den LED-Taschenlampen (weiß, grün, rot, violett) du auf der "intelligenten Folie" blaue Farbflächen erzeugen konntest:

.....

b) "Weißes", farbloses Sonnenlicht besteht aus den Regenbogenfarben, die sich wie folgt zusammensetzen:



Mit Sonnenlicht kann die "intelligente Folie" blau gefärbt werden, mit dem weißen Licht der LED-Taschenlampe hingegen nicht (V1). Schließe anhand deiner Ergebnisse bei V1 und der abgebildeten Regenbogenfarben, welche Farbe aus dem Sonnenlicht im weißen Licht der LED-Taschenlampe nicht enthalten ist und nenne diese Farbe:

.....

c) Die "intelligente Folie" benötigt für die Blaufärbung den energiereichsten Teil des Sonnenlichts, das auf der Erde ankommt. Begründe anhand der Versuchsergebnisse ausführlich, welche Farbe des Lichts diesem energiereichsten Teil des Sonnenlichts entspricht.

.....

.....

.....

.....

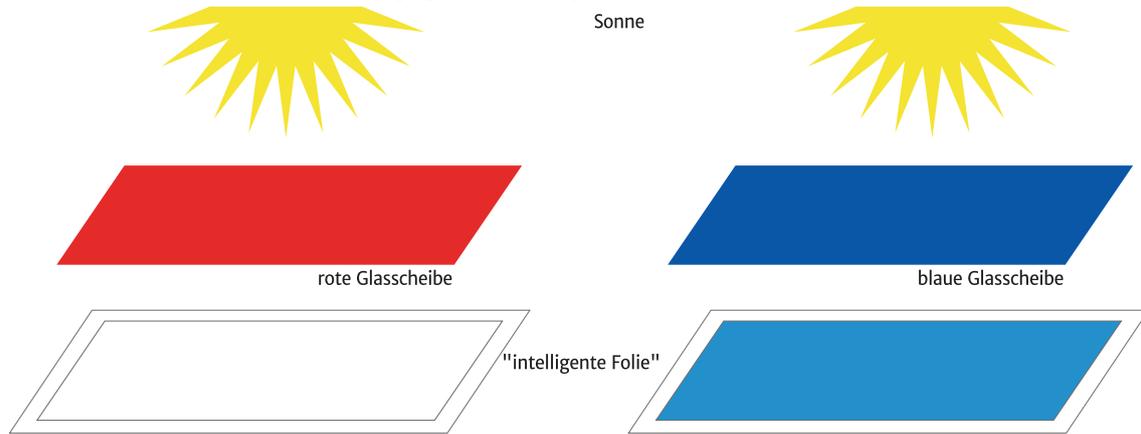
.....

.....

.....

Versuche mit der "intelligenten Folie" und Lichtfiltern

A1 Wenn die "intelligente Folie" durch eine rote bzw. blaue Glasscheibe mit Sonnenlicht bestrahlt wird, erhält man die unten angegebenen Ergebnisse:



Erläutere anhand dieser Ergebnisse, welche Wirkung die rote bzw. die blaue Glasscheibe auf das Sonnenlicht hat.

A2 Auf der "intelligenten Folie" findet bei Bestrahlung mit Licht eine chemische Reaktion statt, bei der der farblose Stoff **Spiropyran** in einen anderen Stoff, das blaue **Merocyanin**, umgewandelt wird. Im Dunkeln reagiert Merocyanin spontan zu Spiropyran zurück. Gib die Reaktionsschemata mit den Namen der beiden Stoffe an und ordne den beiden Stoffen im Energiediagramm die richtigen Stellen zu, indem du die Namen der Stoffe in die Kästen einträgst.

↑ Energie

Licht – Farbe – Energie – Energiestufenmodell

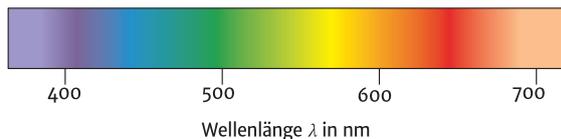
Fachbegriffe: Energiebeteiligung bei chemischen Reaktionen, Quantifizierung der Energie, Lichtquanten (Photonen), Energiestufen-Modell, Grundzustand, elektronisch angeregter Zustand, Relation Farbe-Energie von Lichtstrahlen

V1 Lichtantrieb einer photochemischen Reaktion

- a) Ermitteln Sie mithilfe der LED-Taschenlampen den Wellenlängenbereich des Lichts, mit dem die photochemische Reaktion des farblosen Spiropyrans zum blauen Merocyanin auf der "intelligenten Folie" angetrieben werden kann. Stellen Sie dazu die Taschenlampen direkt auf die Folie. Überprüfen Sie dann, ob Ihr Befund auch für eine Spiropyran-Lösung in Xylol gilt. Hierzu lösen Sie in einem Rggl. mit Schraubverschluss einige Körnchen Spiropyran (vgl. Bild rechts) in 4 mL Xylol. (Diese Lösung benötigen Sie auch für Arbeitsblatt 5, V1.) Halten Sie die Taschenlampen direkt an die Stelle des Reagenzglases, an der sich die Lösung befindet.



Benötigte Menge Spiropyran



- b) Präzisieren und ergänzen Sie die folgende Aussage durch richtiges Ankreuzen und Einfügen der Versuchsbeobachtungen mit der "intelligenten Folie", die dies belegen:

Licht mit $\lambda = 550 \text{ nm}$ treibt die photochemische Reaktion Spiropyran \rightarrow Merocyanin

an,

weil

nicht an,

- c) Planen Sie einen Versuch mit der "intelligenten Folie", der Ihnen die Beobachtungen liefert, die Sie benötigen, um die folgende Aussage ebenfalls wie unter b) zu präzisieren und zu ergänzen. Führen Sie den Versuch durch, präzisieren und ergänzen Sie die folgende Aussage, indem Sie auch die Versuchsdurchführung in Kurzform beschreiben:

Licht mit $\lambda = 550 \text{ nm}$ treibt die photochemische Reaktion Merocyanin \rightarrow Spiropyran

an,

weil

nicht an,

Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit

Fachbegriffe: Energiebeteiligung bei chemischen Reaktionen, Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit thermischer und photochemischer Reaktionen, LAMBERT-BEER'sches Gesetz, Absorptionsspektren

Hinweise: Die wichtigsten Geräte und Chemikalien für die folgenden Versuche sind im Experimentierkoffer enthalten. Zusätzliche Geräte und Materialien werden angegeben.

V1 Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeit einer photochemischen Reaktion und einer thermischen Reaktion

Benötigte zusätzliche Geräte

2 Bechergläser, Uhr mit Sekundenanzeige

Benötigte zusätzliche Chemikalien

warmes Wasser, Eiswürfel

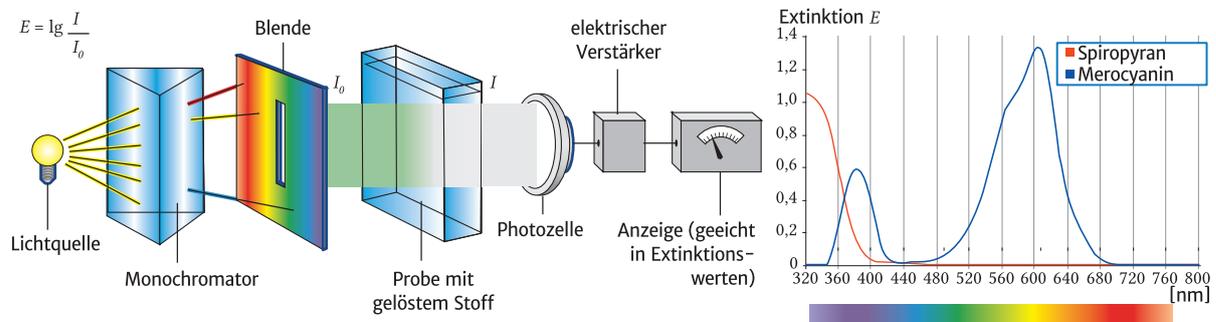
Gießen Sie die Hälfte der 4 mL Spiropyran-Lösung in Xylol aus Arbeitsblatt 4, V1 in ein zweites Rggl. und stellen Sie dieses in ein Becherglas mit warmem Wasser (ca. 60 °C). Die Lösung aus dem ersten Rggl. bleibt bei Raumtemperatur. Messen Sie zunächst bei der Probe unter Raumtemperatur die Zeit, die benötigt wird, um sie durch Bestrahlung mit der violetten LED-Taschenlampe blau zu färben. Halten Sie dazu die Taschenlampe direkt an die Stelle des Reagenzglases an der sich die Lösung befindet. Messen Sie gleich anschließend die Zeit, die bei diffusem Tageslicht (nicht an der Sonne!) bis zur Entfärbung der blauen Lösung vergeht. Verfahren Sie mit der vorher erwärmten Probe analog und notieren Sie alle Messwerte. Während Sie die erwärmte Probe messen, kühlen Sie die Probe, die bei Raumtemperatur war, in einem Becherglas mit Eiswürfeln und kaltem Wasser und messen anschließend diese in der gleichen Weise wie die beiden anderen Proben.

	benötigte Zeit für Blaufärbung	benötigte Zeit für Entfärbung
Probe bei Raumtemperatur
erwärmte Probe
gekühlte Probe

Stellen Sie aus den erhaltenen Ergebnissen Regeln für die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit einer photochemischen und einer thermischen Reaktion auf:

Photometrische Messungen - Absorptionskurven

A1 Die folgenden Bilder zeigen das Messprinzip bei der Photometrie und die Absorptionskurven von Spiropyran und Merocyanin (vgl. dazu auch "Warum sehen wir Blattgrün grün?" in Text 2).



Die Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit bei der thermischen Reaktion kann photometrisch durchgeführt werden.

Ergänzen Sie die folgenden Aussagen:

Der gelöste Stoff in der Probe ist in diesem Fall

Die zeitliche Veränderung der Extinktion E kann bei einer konstanten Wellenlänge gemessen werden:

$\lambda = \dots \text{ nm}$

Aufgrund ihrer Definition der Extinktion E (I_0 : Lichtintensität vor dem Eintritt in die Probe; I : Lichtintensität nach dem Austritt aus der Probe) ist zu erwarten, dass diese im Laufe der Entfärbung

Wegen der Proportionalität der Extinktion E und der Konzentration c des gemessenen Stoffes (LAMBERT-BEER'sches Gesetz) ist, zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 , der Wert von

$\frac{E_2 - E_1}{t_2 - t_1}$ ein Maß für

Photostationäres und chemisches Gleichgewicht

Fachbegriffe: Chemisches Gleichgewicht und photostationäres Gleichgewicht, Energiediagramme und Reaktionswege photochemischer und thermischer Reaktionen, Computersimulation von Vorgängen auf Teilchen- und auf Stoffebene

Hinweis: Die Animation finden Sie auf dem USB-Datenspeicher im Experimentierkoffer oder unter <http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/flash/photosteadystate>

V1 Photostationäres Gleichgewicht

Erzeugen Sie auf der „intelligenten Folie“ mit der violetten LED-Taschenlampe ein blaues Rechteck mit einer Fläche von ca. 3 cm x 6 cm. Stellen Sie die LED-Taschenlampe dazu direkt auf die Folie und ziehen Sie sie langsam über die Folie. Decken Sie die Hälfte dieser Fläche gegen Lichteinwirkung ab und stellen Sie die eingeschaltete grüne LED-Taschenlampe auf den anderen Teil der blauen Fläche. Nehmen Sie nach 2 Minuten die Taschenlampe und die Abdeckung weg und beobachten Sie die Änderungen auf der bestrahlten und auf der nicht bestrahlten Fläche. Decken Sie dann die ganze anfangs blau angefärbte Fläche ab und beobachten Sie die Änderungen nach weiteren 15 Minuten.

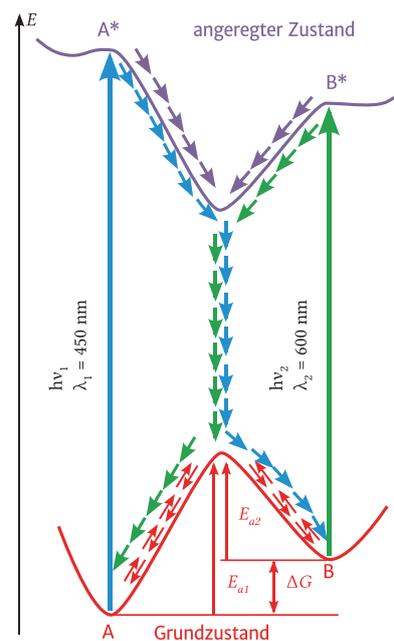
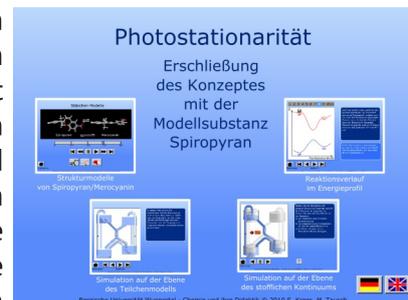
M1 Während dieser Zeit erschließen Sie aus dem Animations-Paket "Photostationarität" die beiden Module "Reaktionsverlauf im Energieprofil" und "Simulation auf der Ebene des Teilchenmodells".

A1 Ordnen Sie **A** und **B** im nebenstehenden Energiediagramm die Namen der beiden Isomere von der "intelligenten Folie" zu:

A:

B:

A2 Geben Sie jeweils die Farbe der Pfeile im Energiediagramm an, mit denen jeder der folgenden Vorgänge dargestellt ist:



Chemisches Gleichgewicht zwischen den Isomeren **A** und **B**: Pfeile

Photochemische Reaktion **A** → **B** bei blauem oder violettem Licht: Pfeile

Photochemische Reaktion **B** → **A** bei grünem Licht: Pfeile

Photostationäres Gleichgewicht zwischen **A** und **B** bei Blaulicht: und Pfeile

Photostationäres und chemisches Gleichgewicht

- A3** Ein photostationäres Gleichgewicht wird durch Einstrahlen von Licht einer bestimmten Wellenlänge erzeugt und aufrecht gehalten (vgl. auch "Photostationäre Gleichgewichte" in Text 3). Beim photostationären Gleichgewicht sind die Konzentrationen der Komponenten eines Systems zeitlich konstant. Ähnlich wie beim chemischen (thermodynamischen) Gleichgewicht gibt es eine Gleichgewichtskonstante K_{hv} , die aber einen anderen Wert hat als die Gleichgewichtskonstante K_{Δ} des chemischen Gleichgewichts. Erläutern Sie anhand der Versuchsergebnisse in V1 und mithilfe der "Simulation auf der Ebene des stofflichen Kontinuums" aus dem Animations-Paket „Photostationarität“ jede der folgenden Relationen für das Beispiel Spiropyran-Merocyanin (alle Bezeichnungen beziehen sich auf die Angaben in dem Kasten mit dem Energiediagramm; ν_1 ist die Frequenz, die der Wellenlänge λ_1 entspricht, ν_2 entspricht λ_2):

$$K_{hv} > K_{\Delta}$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

$$K_{hv2} < K_{hv1}$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- A4** Geben Sie kurz an, wie man im Experiment und in der "Simulation auf der Ebene des stofflichen Kontinuums" den Übergang vom photostationären Gleichgewichtszustand zum Zustand des chemischen (thermodynamischen) Gleichgewichts einleitet.

im Experiment:

in der Simulation:

Photoaktiver molekularer Schalter Spiropyran-Merocyanin

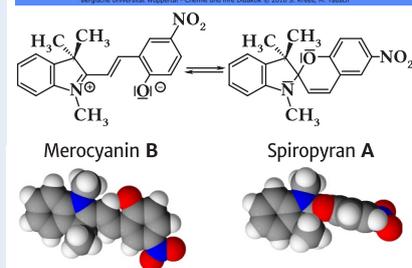
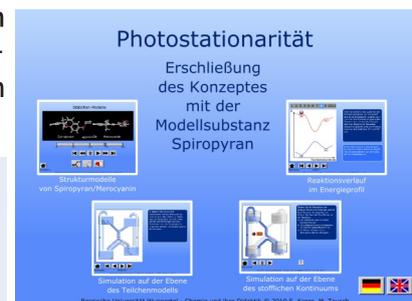
Fachbegriffe: Chemisches Gleichgewicht und photostationäres Gleichgewicht, Energiediagramme und Reaktionswege photochemischer und thermischer Reaktionen, Computersimulation von Vorgängen auf Teilchen- und auf Stoffebene

Hinweis: Die Animation finden Sie auf dem USB-Datenspeicher im Experimentierkoffer oder unter <http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/flash/photosteadystate>

M1 Photostationäres Gleichgewicht

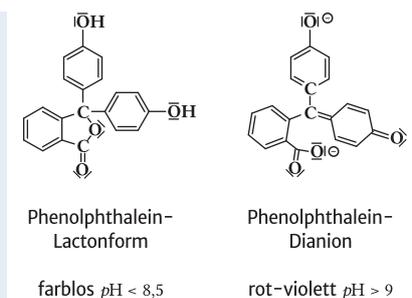
- a) Erschließen Sie das Modul "Strukturmodelle von Spiropyran und Merocyanin" aus dem Animations-Paket "Photostationarität" und kreuzen Sie die **Merkmale** an, durch die sich die Teilchen **A** und **B** voneinander unterscheiden.

- elementare Zusammensetzung
- Anordnung der Atome in einer Ebene
- Anzahl der Methyl-Gruppen
- Polarität (Verteilung der Elektronendichte)
- Wellenlänge der absorbierten Photonen
- Anzahl der konjugierten Doppelbindungen



- b) Kreuzen Sie die Merkmale an, durch die sich die Teilchen der beiden Formen des Phenolphthaleins voneinander unterscheiden.

- elementare Zusammensetzung
- Anordnung der Atome in einer Ebene
- Anzahl der Methyl-Gruppen
- Polarität (Verteilung der Elektronendichte)
- Wellenlänge der absorbierten Photonen
- Anzahl der konjugierten Doppelbindungen



- c) Geben Sie jeweils eine andere **mesomere Grenzformel** des Merocyanins und der Dianion-Form des Phenolphthaleins an als die an der Seite dargestellten.

Photoaktiver molekularer Schalter Spiropyran-Merocyanin

- d) Bei jedem der beiden Paare Spiropyran/Merocyanin und Phenolphthalein Lacton/Dianion kann die Farbe mehrere Male "ein- und ausgeschaltet" werden (vgl. dazu auch "Farbe an – Farbe aus" in Text 4). Geben Sie in Stichwörtern an, wie das experimentell durchgeführt werden kann und was für ein **Reaktionstyp** dabei abläuft:

	beim Paar Spiropyran/Merocyanin	beim Paar Phenol- phthalein Lacton/Dianion
Farbe an
Farbe aus
Reaktionstyp

- e) Geben Sie mit Begründung an, für welches der beiden Paare die Bezeichnung **molekularer Schalter** zutrifft (vgl. "Photochromie und molekulare Schalter" in Text 3):

für das Paar Spiropyran/Merocyanin, weil

.....

für das Paar Phenolphthalein Lacton/Dianion, weil

.....

- f) Treffen Sie begründete Aussagen über die **Löslichkeit** von Spiropyran und von Phenolphthalein in dem jeweiligen Lösemittel:

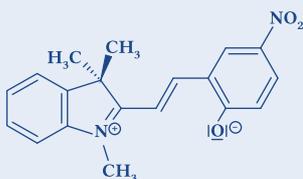
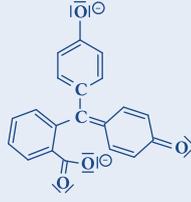
Wasser:

.....

Xylol:

.....

- g) Kennzeichnen Sie mithilfe eines Textmarkers die **Chromophore** in jeder der beiden folgenden Gerüstformeln (Struktursymbole) und benennen Sie die ggf. vorhandenen **Auxochrome** und **Antiauxochrome** (vgl. Definitionen dazu in Text 4).

	Merocyanin	Phenolphthalein-Dianion
		
Auxochrome
Antiauxochrome

Solvatochromie von Merocyanin

Fachbegriffe: Relation (Teilchen)Struktur-(Stoff)Eigenschaften, Solvatochromie, polare und unpolare Lösemittel, polare und unpolare Matrices, Absorptionsspektren, Energiediagramme

Hinweise: Die wichtigsten Geräte und Chemikalien für die folgenden Versuche sind im Experimentierkoffer enthalten. Zusätzliche Geräte und Materialien werden angegeben.

V1 Solvatochromie

Benötigte zusätzliche Chemikalien
warmes Wasser, Eiswürfel, Ethanol



Benötigte Menge Spiropyran

- a) Lösen Sie in einem Reagenzglas mit Schraubverschluss einige Körnchen Spiropyran (vgl. Foto) in Ethanol. Bestrahlen Sie die Lösung mit Sonnenlicht oder der violetten LED-Taschenlampe und prüfen Sie, ob und wie schnell sie sich ohne Bestrahlung mit Licht bei verschiedenen Temperaturen (bei Raumtemperatur, auf ca. 60 °C im warmen Wasserbad erwärmte und auf ca. 0 °C im Eisbad gekühlte Lösung) entfärbt. Stellen Sie hierbei die Unterschiede zu den Versuchen mit den Lösungen in Xylol fest (vgl. Arbeitsblatt 4, V1 und Arbeitsblatt 5, V1).

Beobachtungen: _____

- b) Bestrahlen Sie die gefärbte, eisgekühlte Lösung in Ethanol mit der grünen LED-Taschenlampe.

Beobachtung: _____

- c) Merocyanin zeigt das Phänomen der **Solvatochromie**, d. h. in verschiedenen Lösemitteln gelöstes Merocyanin liefert verschiedene Farben. Schreiben Sie neben jedes der folgenden drei Bilder eine geeignete Formel des betreffenden Lösemittels, an der zu erkennen ist, ob und wie stark polar das entsprechende Molekül ist. Kreuzen Sie dann die korrekte Aussage an.



para-Xylol

Aceton

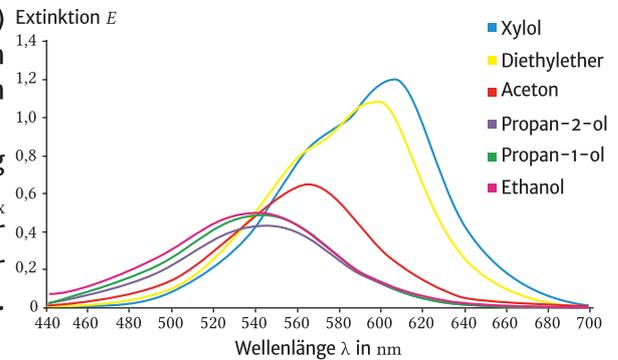
Ethanol

Die Polarität der Moleküle dieser Lösemittel nimmt von links nach rechts ab zu

Solvatochromie von Merocyanin

- d) Die Absorptionsspektren (vgl. T2 im Reader) von Merocyanin in verschiedenen Lösemitteln haben Absorptionsmaxima bei verschiedenen Wellenlängen.

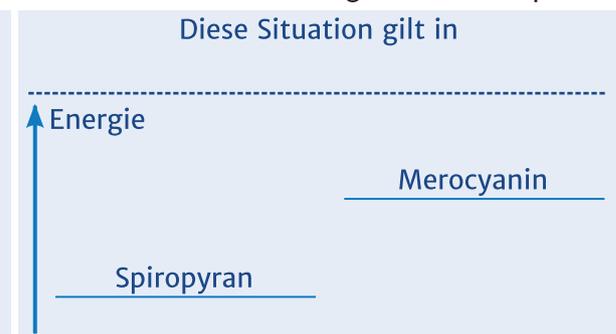
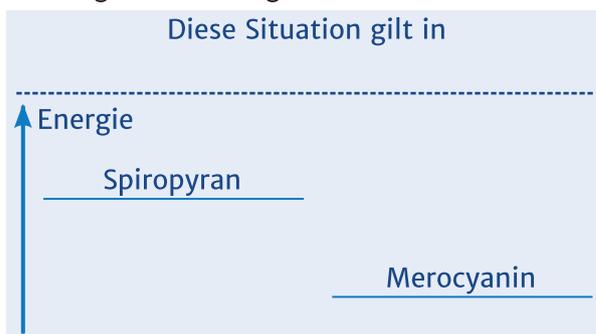
Erläutern und erklären Sie den Zusammenhang zwischen der Lage der Absorptionsmaxima λ_{\max} in den Absorptionsspektren, der Energie der absorbierten Photonen (vgl. V1, c/d) und der Farbe der jeweiligen Lösung (vgl. Kasten in c).



- e) Merocyanin erzeugt in Ethanol und anderen polaren Lösemitteln nicht nur eine andere Farbe als in unpolaren Lösemitteln (z.B. pink oder rot statt blau), es erweist sich in einer polaren Umgebung auch als das stabilere Isomer des Paares Spiropyran/Merocyanin. Eine getrocknete Lösung von Spiropyran in Nagellack auf einer Glasplatte ergibt eine rote Schicht, die sich erst bei Bestrahlung mit Licht aufhellt und an den Stellen, an die kein Licht vorgedrungen ist, rot bleibt.

Schließen Sie aus diesem Sachverhalt, ob die molekulare Umgebung im getrockneten Nagellack polar oder unpolar ist und vergleichen Sie diese mit der molekularen Umgebung von Spiropyran bzw. Merocyanin in der "intelligenten Folie".

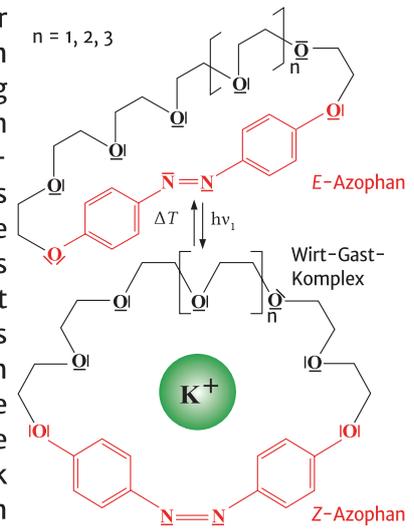
- f) Ordnen Sie den Energiediagrammen die beiden Lösemittel "Xylol" und "Ethanol" zu, sodass die dargestellte energetische Situation der beiden Isomere den Versuchsergebnissen entspricht.



Molekulare Schalter - Anwendungen

Fachbegriffe: Molekulare Schalter, Konfiguration, Konformation, Wirt-Gast Komplex, Doppellipidmembran, supramolekulares System

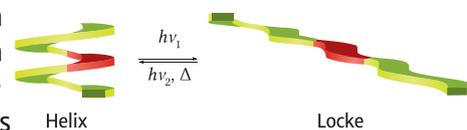
A1 Ein viel verwendeter photoaktiver molekularer Schalter ist der Molekülrest aus Azobenzol (in der Skizze als Azophan bezeichnet), dessen Konfiguration an der $-N=N-$ Doppelbindung zwischen *E* und *Z* (*trans* und *cis*) hin- und hergeschaltet werden kann. Wenn dieser Schalter in ein zyklisches Kronenether-Molekül eingebaut wird, erhält man ein „molekulares Trojanisches Pferd“. Wird die Konfiguration an der Azo-Gruppe von *E* nach *Z* geschaltet, so ändert sich die Konformation des gesamten Moleküls so, dass ein „Wirt-Gast“ Komplex gebildet werden kann. Ein Alkalimetall-Ion wird dabei als „Gast“ ins Innere des Kronenether-„Wirts“ eingeschlossen. Dieses nach außen lipophile supramolekulare System kann durch die Doppellipid-Membran einer Zelle wandern. Wird nun die Konfiguration an der Azo-Gruppe von *Z* nach *E* zurück geschaltet, so bewirkt das eine Konformationsänderung im Kronenether-Teil, bei der das Alkalimetall-Ion ausgestoßen wird, d.h. der „Wirt-Gast“ Komplex zerfällt.



Bildung und Zerfall eines Wirt-Gast-Komplexes zwischen einem Kronenether-Molekül und einem Kalium-Ion

- Geben Sie an, wie laut Skizze die Schaltvorgänge $E \rightarrow Z$ und $Z \rightarrow E$ durchzuführen sind.
- Erklären Sie, warum der „Wirt-Gast“ Komplex aus der Skizze lipophil ist.
- Erläutern Sie, durch welche Art von Kräften (Wechselwirkungen) das Alkalimetall-Ion im „Wirt-Gast“ Komplex festgehalten wird und warum dies nur bei *Z*-Konfiguration an der Azo-Gruppe möglich ist.
- Vergleichen Sie den molekularen Schalter Spiropyran-Merocyanin (vgl. Arbeitsblatt 4) mit dem molekularen Schalter *Z*- und *E*-Azophan aus der Skizze. Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

A2 Wenn molekulare Schalter aus Azobenzol-Einheiten in gewisse Polymere eingebaut werden, kann es je nach Konfiguration an der Azo-Gruppe zu verschiedenen Konformationen („Helix“ oder „Locke“) des Polymer-Moleküls kommen. Dabei ändern sich auch die makroskopischen Eigenschaften des betreffenden Materials, z. B. die Verformbarkeit, die Löslichkeit oder sogar der Aggregatzustand.



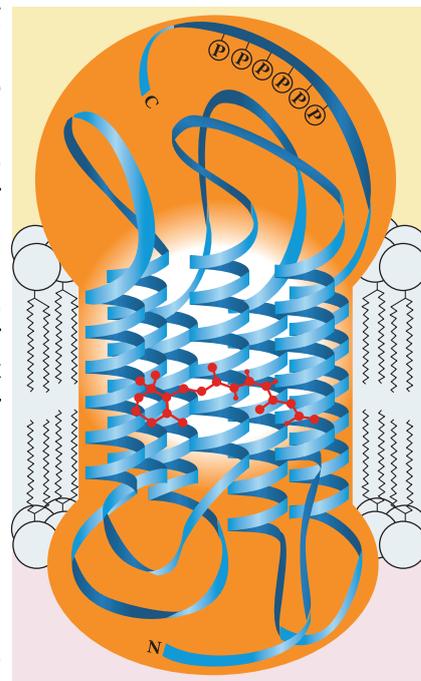
Füllen Sie den folgenden Lückentext aus:

Bei der „Locke“-_____ liegt die Azo-Gruppe in der _____-Konfiguration vor.
Beide Schaltvorgänge $E \rightarrow Z$ und $Z \rightarrow E$ sind mit _____ durchführbar,
es muss jedoch mit unterschiedlichen _____ gearbeitet werden.

Molekulare Schalter - Anwendungen

Fachbegriffe: Molekulare Schalter, Konfiguration, Konformation, Doppellipidmembran, Z-/E-Isomerisierung, Tertiärstruktur von Proteinen, prosthetische Gruppe

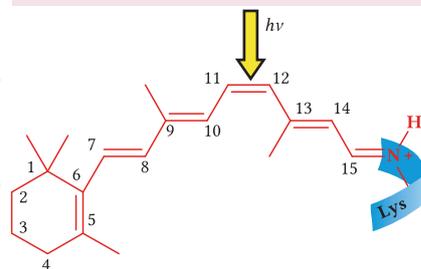
A1 Der Sehvorgang in unseren Augen beginnt mit einer $Z \rightarrow E$ Isomerisierung an einem 11-Z-Retinal-Rest (Vitamin-A-Aldehyd-Rest). Dies ist die so genannte prosthetische Gruppe im Rhodopsin-Molekül, einem Protein-Molekül aus 348 Aminosäure-Bausteinen. Wenn sich durch Absorption eines Lichtquants am 11-Z-Retinal-Rest die Konfiguration an der Doppelbindung zwischen dem 11. und 12. Kohlenstoff-Atom in die E-Konfiguration ändert, „streckt“ sich der im Opsin-Molekül eingebettete Retinal-Rest etwas aus. Das bewirkt, dass sich auch die Konformation und damit die Tertiärstruktur des Opsin-Makromoleküls geringfügig ändern. Damit setzt sich eine Folge aus biochemischen Prozessen in Gang, die zur Ausbildung eines Aktionspotentials für den Sehnerv führen.



a) Erläutern Sie am Beispiel des photoaktiven Schalters im Rhodopsin den Unterschied zwischen Konfiguration und Konformation.

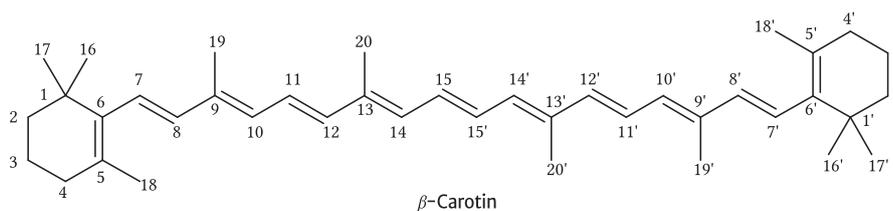
b) Nach der $Z \rightarrow E$ Isomerisierung am 11-Z-Retinal-Rest, liegt der gesamte Retinal-Rest in der so genannten *all-E*-Konfiguration (*all-trans*-Konfiguration) vor. Beschreiben Sie, was damit gemeint ist und überprüfen Sie, ob es stimmt.

c) Recherchieren Sie im Internet mithilfe des Suchbegriffs „Vom Lichtquant zum Sehreiz“ die biochemischen Folgeprozesse nach der $Z \rightarrow E$ Isomerisierung am 11-Z-Retinal-Rest bis zur Ausbildung des Aktionspotentials für den Sehnerv.



Retinal-Reste (rot) sind molekulare Schalter im Rhodopsin

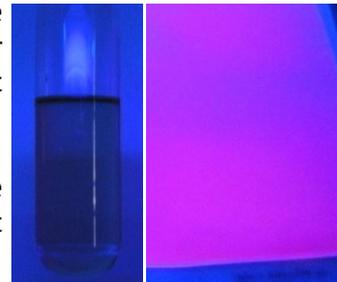
d) β -Carotin muss bei Tieren und Menschen mit der Nahrung zugeführt werden, weil daraus im Organismus Vitamin A (Retinol) und weiter auch Vitamin-A-Aldehyd (Retinal) gebildet wird. Daher wird β -Carotin auch als Provitamin A bezeichnet. Geben Sie an, an welcher Stelle das β -Carotin-Molekül gespalten werden muss, damit Retinol bzw. Retinal gebildet wird.



Einfluss der Nano-Umgebung auf die Lichtabsorption und -emission

Fachbegriffe: Mesomere Grenzstrukturen, Polarität von Molekülen, zwischenmolekulare Wechselwirkungen, Energiestufenmodell, Beweglichkeit von Molekülen in Lösungen und in Feststoff-Matrices (Translationen, Schwingungen und Rotationen), Photochromie

A1 Das aus Spiropyran in Xylol-Lösung durch Bestrahlung erzeugte blaue Merocyanin (vgl. Formel auf S. 34) zeigt keine Fluoreszenz. In der „intelligenten Folie“, also in einer Matrix aus Polystyrol, fluoresziert das blaue Merocyanin in einer rot-violetten Farbe.



Merocyanin im UV-Licht in Xylol-Lösung (links) und Polystyrol-Matrix (rechts)

- a) Beurteilen Sie jede der folgenden Aussagen dahingehend, ob sie als Ursache für das unterschiedliche Emissionsverhalten zutrifft und bezeichnen Sie sie mit **W** oder **F**.

Die Ursache für das unterschiedliche Emissionsverhalten von Merocyanin ist ...

... die unterschiedliche Polarität der Nano-Umgebung der Merocyanin-Moleküle in der Xylol-Lösung bzw. Polystyrol-Matrix

... die unterschiedliche Beweglichkeit (Translationen, Schwingungen und Rotationen) der Merocyanin-Moleküle in Xylol-Lösung bzw. Polystyrol-Matrix

... die unterschiedliche Beweglichkeit (Translationen, Schwingungen und Rotationen) der Xylol-Moleküle bzw. der Polystyrol-Moleküle aus der Nano-Umgebung der Merocyanin-Moleküle

... die unterschiedliche Lichtabsorption (bei verschiedenen Wellenlängen) der Merocyanin-Moleküle in Xylol-Lösung bzw. Polystyrol-Matrix

- b) Ordnen Sie den beiden Bildern aus der Aufgabenstellung jeweils das zutreffende Energiediagramm aus B1 und B2 von S. 44 zu.

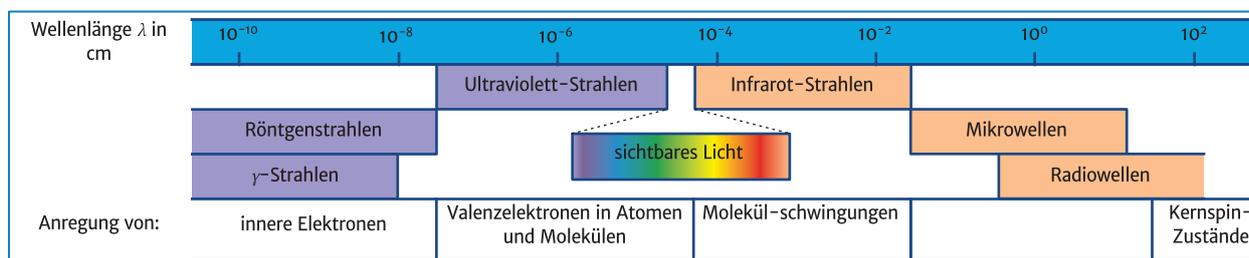
A2 In der „intelligenten Folie“ aus dem Photo-Mol Koffer erscheint das Merocyanin blau. Wird Spiropyran statt in Polystyrol in Polymeren mit polaren Seitengruppen immobilisiert, z. B. in farblosem Nagellack, der Nitrocellulose enthält, so erscheint das erzeugte Merocyanin tief rot. Im Gegensatz zum blauen Merocyanin in Polystyrol ist das rote Merocyanin in polarer Polymer-Matrix thermisch stabil. Seine Isomerisierung zu Spiropyran kann durch Bestrahlung mit violettem Licht angetrieben werden.



- a) Vergleichen Sie die Photochromie des Merocyanins in den beiden unterschiedlichen Polymeren mit der Photochromie in unterschiedlichen Lösemitteln (Arbeitsblatt 9)

- b) Das Energiediagramm von S. 32 (Arbeitsblatt 7) trifft für das Isomerenpaar Spiropyran-Merocyanin in polarer Polymer-Matrix nicht zu. Zeichnen und erläutern Sie für diesen Fall ein zutreffendes Diagramm.

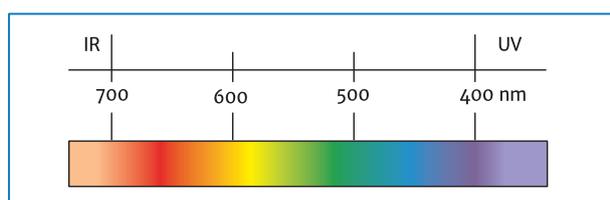
T1 Photonen oder Lichtquanten



B1 Spektrum der elektromagnetischen Strahlung: **Wellenlänge** λ , **Frequenz** ν und **Energie** E sind über folgende Gleichungen miteinander verknüpft: $E = h \cdot \nu$ und $c = \lambda \cdot \nu$
(Plancksche Konstante $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; Lichtgeschwindigkeit $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Quantifizierung der Energie

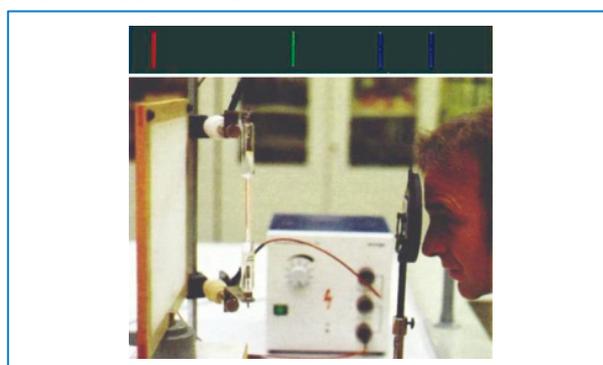
Eine herausragende Bedeutung für das Leben auf unserem Planeten und zunehmend auch für die Technik haben chemische Reaktionen, an denen Lichtenergie beteiligt ist. Um sie zu verstehen, benötigen wir einige physikalische Grundlagen über das Licht und die Farben. Im Jahr 1900 erkannte der deutsche Physiker MAX PLANCK¹, dass die Energie eines rotglühenden Körpers in Form von winzigen Energiepaketen der Energie $E = h \cdot \nu$ ausgestrahlt wird (B2). Mit dieser Vorstellung von der **Quantifizierung der Energie**, nach der Licht als Lichtquanten oder Photonen transportiert wird, wurde es damals möglich, zwei bereits bekannte experimentelle Beobachtungen zu erklären: die Linienspektren der Atome (B3) und den photoelektrischen Effekt. Bei diesem schlagen Lichtquanten (Photonen) bestimmter Energien Elektronen aus Metall-Atomen heraus. Da die Energie der Photonen quantifiziert ist, kann es bereits bei schwachem Blaulicht (wenigen Photonen mit $\lambda < 450 \text{ nm}$) zur Ionisierung von Metall-Atomen kommen, während selbst intensives Rotlicht (viele Photonen mit $\lambda > 650 \text{ nm}$) keine Wirkung zeigt. Für diese Erklärung des photoelektrischen Effekts erhielt ALBERT EINSTEIN² im Jahr 1921 den Nobelpreis für Physik.



B2 Wellenlängen der Lichtquanten (Photonen) des sichtbaren Bereichs

Linienspektren der Atome

Der dänische Physiker NIELS BOHR³ erklärte die Linienspektren der Atome (B3) folgendermaßen: Bei der Absorption von Energiequanten gehen Elektronen aus niedrigeren in höhere Energiezustände über; beim Rücksprung in die niedrigeren Energiezustände wird Energie in Form von Energiequanten oder **Photonen** ausgestrahlt (emittiert). Da nur bestimmte Energiezustände erlaubt sind, werden nur Energiequanten bestimmter Wellenlängen absorbiert bzw. emittiert. Jeder Linie im Atomspektrum entsprechen Lichtquanten (Photonen) einer bestimmten Wellenlänge. Bei den vier Linien im **Emissionsspektrum** des Wasserstoffs in B3 handelt es sich um die für Lichtquanten der Wellenlängen 656 nm (rot), 486 nm (grün), 434 nm (violett) und 410 nm (violett). Mithilfe von Atomspektren, die experimentell erzeugt und untersucht werden können, war es zum ersten Mal möglich, genauere Aussagen über die Energieniveaus von Elektronen in Atomen zu machen.



B3 Das Spektrum des von Wasserstoff-Atomen ausgestrahlten sichtbaren Lichts enthält nur vier scharfe Linien.

¹ MAX PLANCK (1858 bis 1947), Nobelpreis für Physik 1918;

² ALBERT EINSTEIN (1879 bis 1955), Nobelpreis für Physik 1921;

³ NIELS BOHR (1885 bis 1962), Nobelpreis für Physik 1922

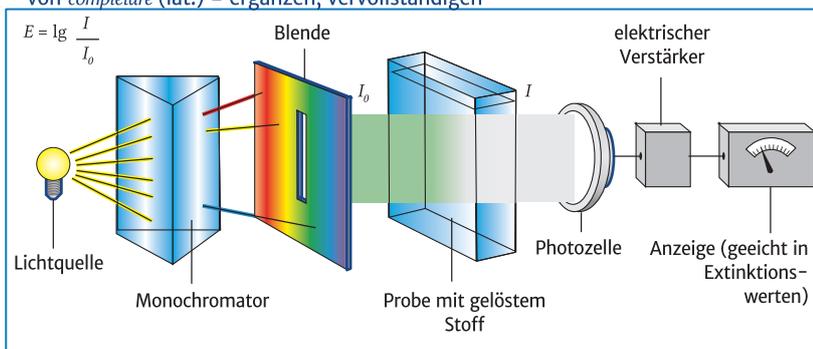
T2 Warum sehen wir Blattgrün grün?

Farben durch Lichtabsorption

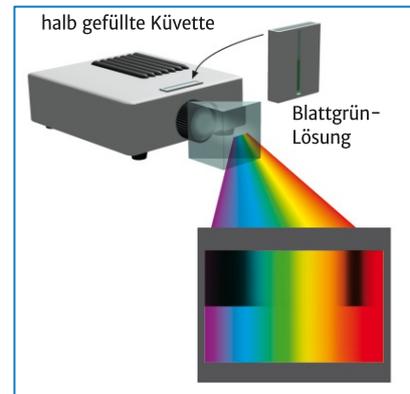
Weißes Licht lässt sich mit einem Prisma in alle Farben des Regenbogens, in die **Spektralfarben**, zerlegen. Farbige Licht, das z.B. entsteht, wenn weißes Licht eine farbige Lösung durchquert, liefert nach dem Zerlegen mit einem Prisma nicht mehr alle Spektralfarben (B1): Im Spektrum erscheinen Dunkelzonen, die darauf hindeuten, dass die Farben, die an diesen Stellen auftreten müssten, von der Lösung "festgehalten" wurden. Dieses Phänomen wird als **Lichtabsorption** bezeichnet. Lichtabsorption ist der Grund dafür, dass wir Gegenstände farbig sehen, wenn wir sie bei weißem Licht betrachten (B5). Die von uns wahrgenommene Farbe ergibt sich durch **additive Farbmischung**, d.h. durch die Überlagerung der vom Gegenstand nicht absorbierten Lichtanteile des weißen Lichts. Die Linse unseres Auges funktioniert dabei wie eine Sammellinse. Die Farbe des absorbierten Lichts und die von uns wahrgenommene Farbe des Gegenstands sind **komplementär**¹ (**Komplementärfarben**, B3). Kommt Farbigeit durch Lichtabsorption zustande, ist die gesehene Farbe immer in dem Licht enthalten, das den farbigen Gegenstand anstrahlt (Unterschied zur Farbe durch Lichtemission, vgl. S. 41).

Mithilfe eines **Photometers** lässt sich über Extinktionsmessung bestimmen, welche Farben und wie viel von jeder Farbe eine bestimmte gefärbte Lösung absorbiert (B2, B4). Die **Absorptionskurve** einer Lösung ist die grafische Auftragung der **Extinktion** E gegen die Wellenlänge λ . Sie zeigt beispielsweise bei Chlorophyll zwei starke Absorptionsbanden, deren Peaks an jenen Stellen auftreten, an denen im Echtfarbenspektrum die beiden Dunkelzonen am intensivsten erscheinen (B1, B2). Außerdem zeigt die Absorptionskurve, dass die Lösung im Bereich um $\lambda = 480$ nm stärker absorbiert als im Bereich um $\lambda = 680$ nm und dass es noch weitere, weniger stark ausgeprägte Absorptionsbanden gibt. Absorptionskurven dieser Art spielen eine wichtige Rolle bei der Identifikation und **Strukturaufklärung** von Molekülen, die Farbigkeit verursachen.

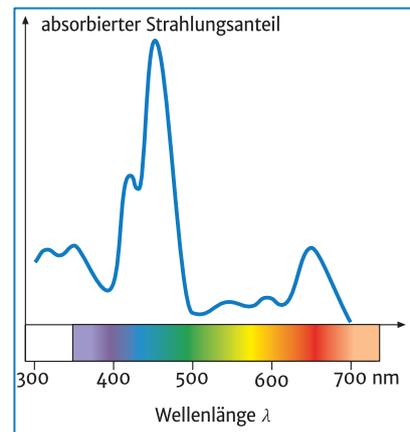
¹ von *completare* (lat.) = ergänzen, vervollständigen



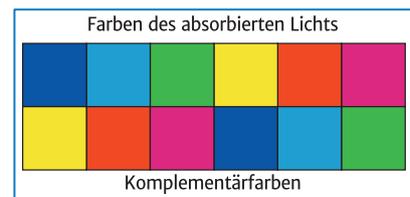
B4 Schematischer Aufbau eines Photometers und Definition der Extinktion E (I_0 : Lichtintensität vor dem Eintritt in die Probe; I : Lichtintensität nach dem Austritt aus der Probe).



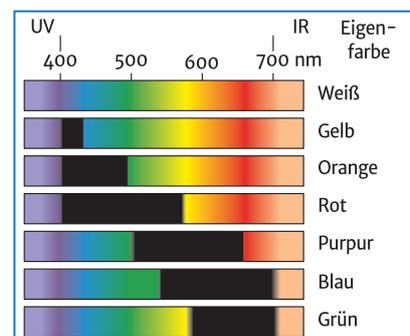
B1 Vorrichtung zur Untersuchung der Lichtabsorption von Lösungen



B2 Absorptionskurve (Absorptionsspektrum) von Chlorophyll

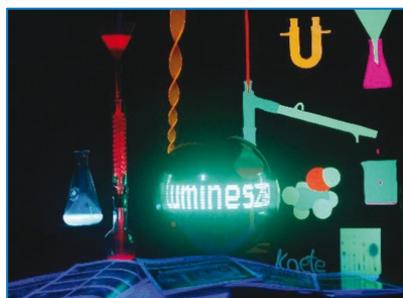


B3 Absorbierte Spektralfarben und gesehene Farben von Gegenständen (Komplementärfarben)

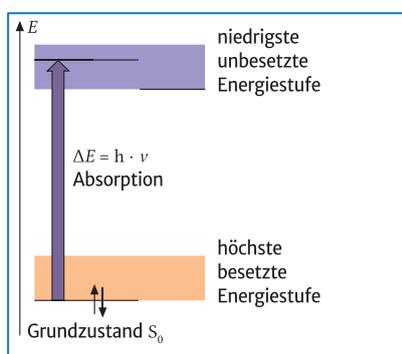


B5 Zusammenhang zwischen Eigenfarbe und absorbierten Spektralfarben.

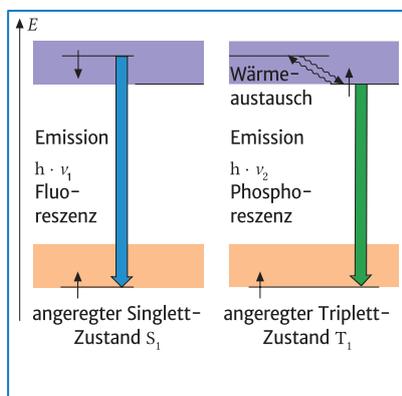
T3 Warum sehen wir Blattgrün grün?



B1 Verschiedene Arten von Lumineszenz auf einen Blick



B2 Elektronische Anregung $S_0 \rightarrow S_1$ durch Absorption eines Lichtquants



B3 Lichtemission durch Fluoreszenz $S_1 \rightarrow S_0$ und Phosphoreszenz $T_1 \rightarrow S_0$

Farben durch Lichtemission, Energiestufenmodell

Viele Gegenstände erscheinen erst dann in leuchtenden Farben, wenn sie mit energiereicher Strahlung (z.B. UV-Licht, vgl. B1, T1), angestrahlt werden (B1). Die Leuchtfarben sind aber nicht im Licht der UV-Lampe enthalten, sondern entstehen im leuchtenden Stoff. Dieser wandelt UV-Licht in Farben des sichtbaren Lichts um und strahlt sie aus. Für die Leuchtfarben sind also Vorgänge von **Lichtemission**¹ verantwortlich. Dieses kalte Leuchten bezeichnet man allgemein als **Lumineszenz**. Leuchtet die Probe nur so lange, wie sie mit energiereicher Strahlung bestrahlt wird, spricht man von **Fluoreszenz**. Leuchtet die Probe nach Ausschalten der UV-Lampe weiter, so handelt es sich in der Regel um **Phosphoreszenz**. Weder bei der Fluoreszenz noch bei der Phosphoreszenz finden stoffliche Veränderungen statt. Dagegen sorgt eine exergonisch verlaufende chemische Reaktion bei der **Chemolumineszenz** für das kalte Leuchten.

Auf molekularer Ebene sind Fluoreszenz, Phosphoreszenz und Chemolumineszenz mit der Fähigkeit von Molekülen verbunden, Lichtquanten auszusenden (zu emittieren). Eine Erklärung für diese Fähigkeit liefert das **Energiestufenmodell**. Danach können Moleküle außer im **elektronischen Grundzustand S_0** auch in **elektronisch angeregten Zuständen** existieren. Das wird im Energiestufenmodell veranschaulicht: Die Elektronen eines Moleküls können danach nur bestimmte erlaubte Energiestufen (Energiezustände) "besetzen".

Die erlaubten Energiestufen werden "von unten nach oben" mit je einem Elektronenpaar, d.h. zwei Elektronen mit entgegengesetztem **Spin**² aufgefüllt, soweit der Elektronenvorrat des Moleküls reicht. Über den besetzten Energiestufen liegen noch weitere, jedoch im Grundzustand S_0 nicht besetzte Energiestufen. Alle Vorgänge, an denen Licht beteiligt ist, lassen sich in ausreichender Näherung mithilfe von nur zwei Energiestufen erklären, der **höchsten besetzten** und der **niedrigsten unbesetzten Energiestufe** (B2). Wenn ein Lichtquant geeigneter Energie vom Molekül absorbiert wird, "springt" ein Elektron innerhalb der unvorstellbar kurzen Zeit von einer Femtosekunde (10^{-15} s) ohne Spinumkehr aus der höchsten besetzten in die niedrigste unbesetzte Energiestufe. In diesem angeregten **Singlett-Zustand S_1** verweilt das Molekül ca. eine Nanosekunde (10^{-9} s). Beim Rücksprung des Elektrons wird ein Lichtquant emittiert, die Stoffprobe fluoresziert. Unter bestimmten Umständen, z.B. wenn die lichtabsorbierenden Teilchen in einer erstarrten Schmelze fixiert sind, kann es im angeregten Zustand zu einer strahlungslosen reversiblen Spinumkehr innerhalb der gleichen Energiestufe kommen (geschlängelte Pfeile in B3). Die Lebensdauer des angeregten **Triplet-Zustands T_1** kann bis zu 10 s betragen, da der Rücksprung des Elektrons aus T_1 nach S_0 "verboten", d.h. sehr unwahrscheinlich ist. Dadurch leuchtet die Probe nach Ausschalten der Lampe nach.

¹ von *emittere* (lat.) = aussenden

² von *to spin* (engl.) = rotieren. Der Spin ist eine Eigenschaft des Elektrons, die man als Eigendrehung um die eigene Achse, in die eine oder die andere Richtung, veranschaulichen kann.

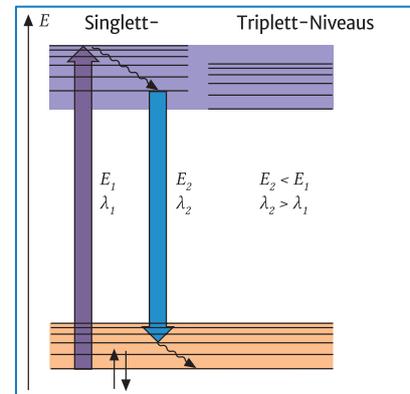
T4 Mono- und polychromatisches Licht

Atom- und Molekülspektren

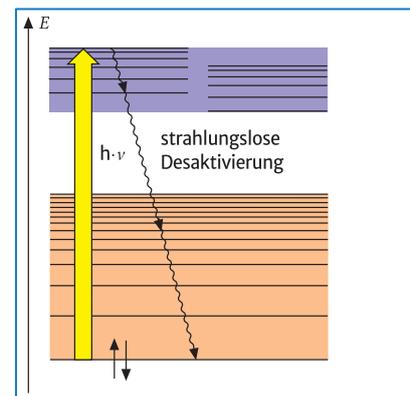
Es ist nicht sicher, ob das von einer Stoffprobe emittierte Licht wirklich nur aus der einen Farbe besteht, die wir mit bloßem Auge sehen. Anhand des durch ein Prisma oder Beugungsgitter erzeugten Spektrums wird deutlich, dass sowohl die Atom- als auch die Molekülspektren eine polychromatische (mehrfarbige) Zusammensetzung zeigen. **Atomspektren** bestehen aus scharfen, farbigen Linien, **Molekülspektren** dagegen aus farbigen Banden oder Zonen. Grund dafür ist, dass die elektronischen Energiezustände bei Atomen und Molekülen unterschiedlich "breit" sind. Bei Atomen sind sie sehr schmal. In einem Diagramm mit der Energie als Ordinate kann man sie durch scharfe, waagerechte Striche darstellen, die relativ weit voneinander entfernt sind. Da die elektronischen Übergänge genau den Energiedifferenzen zwischen diesen Energieniveaus entsprechen, treten in den Atomspektren nur scharfe Linien aus monochromatischem Licht auf.

In einem Molekül gebundene Atome führen Schwingungen aus. Daher gibt es bei Molekülen innerhalb jedes **elektronischen Zustands** (jeder Elektronenstufe) mehrere erlaubte **Schwingungszustände** (Schwingungsniveaus). In B1 sind die elektronischen Zustände durch breite farbige Balken, die Schwingungszustände durch relativ nah beieinanderliegende schwarze Striche innerhalb der Balken dargestellt. Übergänge zwischen Schwingungsniveaus derselben elektronischen Energiestufe erfolgen strahlungslos durch Aufnahme oder Abgabe von Wärme. Da zwischen den elektronischen Zuständen prinzipiell mehrere Übergänge – entsprechend den verschiedenen Schwingungsniveaus – möglich sind, können sowohl bei der Lichtabsorption als auch bei der Lichtemission Lichtquanten verschiedener, aber sehr ähnlicher Energien beteiligt sein. Die entsprechenden Linien im Spektrum liegen daher so dicht zusammen, dass sie als farbige Bande aus polychromatischem Licht erscheinen. Das bei der Fluoreszenz emittierte Licht entspricht Übergängen aus dem untersten Schwingungsniveau der "roten" in verschiedene Schwingungsniveaus der "violettten" Elektronenstufe (B1). Daher ist die Wellenlänge der Fluoreszenzstrahlung größer als die der absorbierten Strahlung.

Mit dem **Energiestufenmodell** lässt sich auch Farbigekeit durch Lichtabsorption erklären: Bei einem Farbstoff-Molekül, in dem es viele Schwingungszustände gibt, können Elektronen- und Schwingungsniveaus wie in B2 dargestellt werden. Wird ein solches Molekül durch Absorption eines Lichtquants elektronisch angeregt, kann es strahlungslos, unter Abgabe von Wärme, über die vielen erlaubten Schwingungsniveaus in den Grundzustand "herunterpurzeln". Die gesamte Energie des absorbierten Lichtquants wird dabei in Wärme umgewandelt.

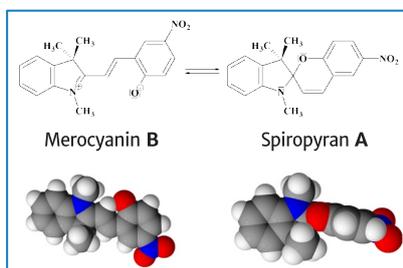


B1 Aufspaltung der elektronischen Energiezustände in Schwingungsniveaus und mögliche Übergänge bei der Fluoreszenz

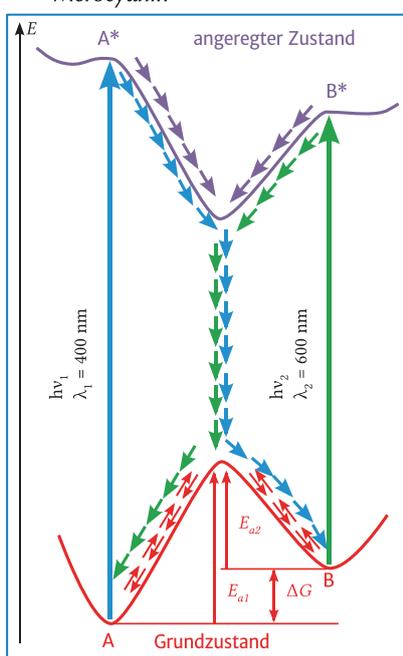


B2 Energiestufenmodell zur Lichtabsorption bei einem Farbstoff-Molekül

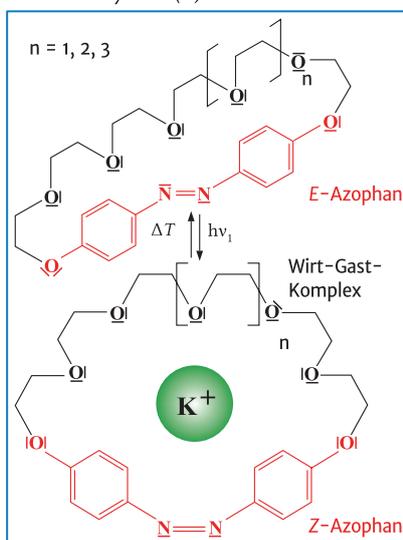
T5 Photochromie und molekulare Schalter



B1 Reaktionsgleichung und Modelle zur Isomerisierung Spiropyran \rightarrow Merocyanin



B2 Energiediagramm zum photochromen System Spiropyran (A) - Merocyanin (B) in Toluol



B3 Molekulare Schalter (rot) in Nano-Maschinen.

Spiropyran-Lösungen verhalten sich wie Chamäleons: Sie ändern ihre Farben in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen. Die reversible Farbänderung von Substanzen bei Licht und Dunkelheit oder Licht verschiedener Wellenlängen nennt man **Photochromie**. Das Isomeren-Paar Spiropyran-Merocyanin (B1) ist ein photochromes System. In Toluol- oder Xylol-Lösung erscheint dieses System bei Raumtemperatur und ohne Lichtbestrahlung farblos bis schwach gelb, weil sich das **chemische (thermodynamische) Gleichgewicht** einstellt, in dem das energieärmere Isomer, das Spiropyran A, stark überwiegt (B1, B2). Bei Bestrahlung mit weißem oder violettem Licht werden die Spiropyran-Moleküle elektronisch angeregt. Im angeregten Zustand "wandert" das Molekül entlang der violetten Energiekurve in B2 in Richtung Minimum, wobei sich die *Geometrie* des Moleküls und die *Bindungsverhältnisse* zwischen den Atomen ändern. Aus dem Minimum des angeregten Zustands "fällt" das Molekül in den Grundzustand und "landet" rechts neben dem Maximum der Energiekurve des Grundzustands. Von da aus führt der energetisch günstigste Weg ins Energieminimum des Isomers B, dem Merocyanin. Der beschriebene Weg über den *angeregten Zustand* entspricht den blauen Pfeilen in B2 und ist typisch für eine **photochemische Isomerisierung**. Die thermische Isomerisierung des Merocyanins zum Spiropyran verläuft dagegen ausschließlich im Grundzustand entlang der roten Kurve von B nach A. Die Aktivierungsenergie E_{a2} ist so gering, dass die Reaktion schon bei Raumtemperatur abläuft. Bei Dauerbestrahlung mit weißem oder blauem Licht überlagert sich die photochemische Isomerisierung $A \rightarrow B$ mit der thermischen und photochemischen Isomerisierung $B \rightarrow A$. Es stellt sich ein **photostationärer Zustand** ein, in dem Merocyanin überwiegt. Bestrahlt man dagegen mit gelbem Licht, so kann nur die Reaktion $B \rightarrow A$ thermisch oder photochemisch ablaufen (grüne Pfeile in B2). Es entsteht ein anderer photostationärer Zustand in dem Spiropyran überwiegt. Somit verhält sich das photochrome System Spiropyran-Merocyanin wie ein **molekularer Schalter**, der mit violettem Licht in die eine und mit rotem in die andere Richtung geschaltet werden kann. Derartige Schalter kommen in biologischen Systemen vor. Ein Beispiel ist *Retinal* im *Rhodopsin* aus den Stäbchenzellen der Netzhaut unserer Augen. In der Forschung versucht man, nach gleichem Prinzip wie in der Natur sogenannte Nano- oder molekulare Maschinen zu entwickeln, die mit Licht schaltbare Einheiten enthalten. Das in B3 dargestellte ringförmige System besteht aus einem *Kronenether*-Fragment und einer *Azobenzol*-Einheit als Schalter. Mit diesem können Alkalimetall-Ionen wie mit einem molekularen Trojanischen Pferd durch eine *Doppellipid*-Membran geschleust werden. Photochrome Systeme werden bei der Herstellung farb- und helligkeitsgetönter Gläser eingesetzt und könnten auch bei der reversiblen Datenspeicherung Anwendung finden.

T6 Farbe an - Farbe aus

Molekülstruktur und Farbigkeit

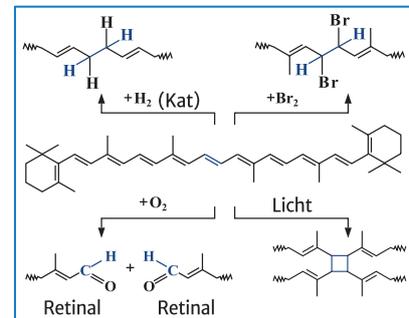
Bei Phenolphthalein kann man die Farbe durch Zugabe von Lauge „anschalten“, durch Zugabe von Säure "ausschalten". Farbloses Spiropyran lässt sich mit Licht viele Male blau „schalten“ und wird bei Dunkelheit spontan wieder farblos. Im Gegensatz dazu verliert β -Carotin bei Licht seine Farbigkeit unumkehrbar. Bei genauem Betrachten der Gerüstformeln erkennt man jedoch eine Gemeinsamkeit: Bei jedem der beteiligten Moleküle bzw. Molekül-Ionen hat die Formel der farbigen Form eine größere Anzahl an **konjugierten Doppelbindungen**, d. h. Einfach- und Doppelbindungen im Wechsel, als die farblose (vgl. B1, B2). Solche ausgedehnten Systeme konjugierter Doppelbindungen sind das charakteristische Strukturmerkmal für farbgebende Moleküle und werden als **Chromophore**¹ bezeichnet. Im β -Carotin-Molekül ist der Chromophor linear. Im Phenolphthalein-Dianion und beim Merocyanin-Molekül mit zwitterionischer Struktur schließen die Chromophore auch aromatische Ringe ein, zwischen denen die Bindungsdelokalisation nicht unterbrochen ist.

Am einfachsten lässt sich der Zusammenhang zwischen Farbe und Struktur an den linearen Chromophoren in Polyen- und Cyanin-Molekülen erkennen (B3, B4). In beiden Fällen kommt es über die gesamte Kette zu einer **Bindungsdelokalisation**, die sich durch **mesomere Grenzformeln** darstellen lässt. Anders als beim Benzol-Molekül trägt bei einem Polyen-Molekül nicht jede der beiden Grenzformeln aus B3 gleichermaßen zur Beschreibung der wirklichen Elektronenverteilung bei; der Beitrag der Zwitterion-Grenzformel ist wesentlich geringer. Dagegen beschreiben die beiden Grenzformeln für das Cyanin-Kation die Elektronenverteilung in etwa gleichem Maße. Entsprechend ist bei einem Cyanin-Kation der Bindungslängenausgleich zwischen Einfach- und Doppelbindung viel ausgeprägter als bei einem Polyen-Molekül (B4). Die Farbigkeit von Polyenen und Cyaninen hängt damit zusammen. Während bei Cyanin-Kationen bereits drei konjugierte Doppelbindungen Farbigkeit hervorrufen, sind bei Polyenen mindestens zehn konjugierte Doppelbindungen im Molekül erforderlich.

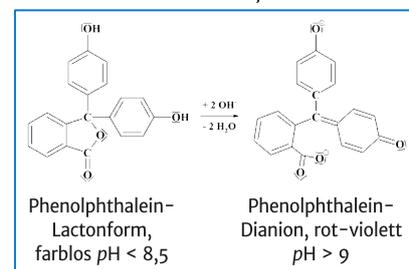
Allgemein ist neben der Ausdehnung des Chromophors auch seine Geometrie und die Präsenz von Elektronenpaar-Donator- und Elektronenpaar-Akzeptor-Gruppen in den Molekülen ausschlaggebend für die Farbigkeit der Stoffe. Donator-Gruppen an Chromophoren in Farbstoff-Molekülen bezeichnet man als **Auxochrome**², Akzeptor-Gruppen als **Antiauxochrome**.

¹ von *chroma* (griech.) = Farbe und *phoros* (griech.) = Träger

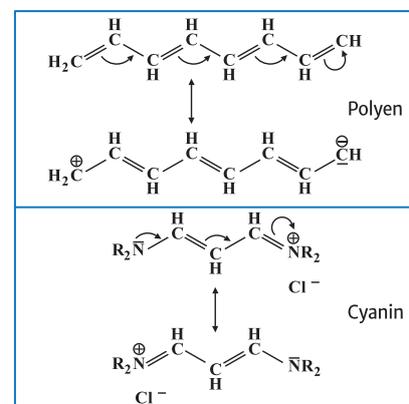
² von *auxanein* (griech.) = wachsen



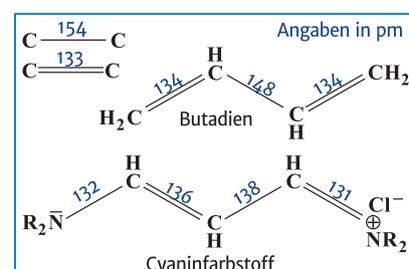
B1 Vereinfachte Valenzstrichformel und Reaktionen von β -Carotin



B2 Phenolphthalein-Molekül in der Lacton- und Dianion-Form.



B3 Mesomere Grenzformeln eines Polyen-Moleküls und eines Cyanin-Kations



B4 Bindungslängen in Molekülen mit konjugierten Doppelbindungen

Didaktische Hinweise

Einsatz der Versuche und Arbeitsblätter in der Sek. I

Die für die Sekundarstufe I ausgewiesenen Arbeitsblätter in beiden Teilen des *Photo-Mol* Koffers sind so konzipiert, dass sie sich für den Einsatz in den Einstiegskapiteln des Chemieunterrichts

- ▶ **Stoffe, Stoffeigenschaften** sowie
- ▶ **Chemische Reaktion**

eignen. Dabei geht es um innovative Aspekte betreffend die Farbe als Stoffeigenschaft und die Beteiligung von Licht als Energieform bei chemischen Reaktionen.

Wenngleich die **Farbe** eines Stoffes keine so charakteristische Eigenschaft ist wie beispielsweise die Dichte, die Schmelz- und die Siedetemperatur, so ist sie doch für die Identifizierung eines Stoffes und seine Beschreibung im „Steckbrief“ des Stoffes wichtig, weil es sich in der Regel um eine unmittelbar sinnlich wahrnehmbare Eigenschaft handelt. Allerdings zeigen die Versuche mit den Leuchtfarben, dass Stoffe auch „versteckte“ Farben haben können, die erst im violetten oder ultravioletten „Schwarzlicht“ sichtbar werden. Da solche Leuchtfarben heute bereits bei Kindern zu den Alltagserfahrungen gehören, wird mit Versuchen zur Fluoreszenz erst dann ein *Überraschungseffekt* (*Wow-Effekt*) zu erzielen sein, wenn ein völlig farbloser Stoff wie Esculin im violetten Licht der LED-Taschenlampe plötzlich eine leuchtende Farbe zeigt. In diesem Zusammenhang kann beispielsweise mit folgendem Text Bezug zu einem Märchen von Hans Christian Andersen genommen und eine *forschend-entwickelnde* Unterrichtssequenz nach dem Muster **Lesen** → **Fragen** → **Forschen** eingeleitet werden:



Lesen

Im Märchen „Des Kaisers neue Kleider“ fallen alle, auch der Kaiser selbst, zwei Betrügern auf den Leim. Diese hatten behauptet, die prächtigen Stoffe, aus denen sie die neuen Kleider für den Kaiser fertigen wollten, seien nur für kluge und gebildete Leute sichtbar. Als nun der Kaiser in seinen „neuen Kleidern“ auftrat, taten zunächst alle so, als wären sie entzückt von den tollen Gewändern, in denen der Kaiser angeblich gekleidet war. Keiner wollte zugeben, dass er nichts sah. Die anderen hätten ihn sonst für dumm gehalten. Der Schwindel flog auf, als ein Kind rief: „Aber er hat ja gar nichts an!“. Es dauerte nicht lange, bis alle sich eingestanden und auch offen zugaben, dass der Kaiser tatsächlich nackt war.

Anders als im Märchen kann es sein, dass ein Stoff sich bei Tageslicht zwar nicht durch seine Farbe zu erkennen gibt, tatsächlich aber eine hat, wenn man ihn im „richtigen“ Licht betrachtet: Wenn man z. B. einen frisch angeschnittenen Kastanienzweig in ein Glas mit Wasser eintaucht, bleibt das Wasser farblos. Betrachtet man aber das Ganze im Licht einer violetten LED-Taschenlampe, so sieht man ein herrliches, blauweißes Leuchten. Es wird durch einen Stoff verursacht, der aus der Schnittfläche des Kastanienzweigs herausfließt und sich wolkenartig im Wasser ausbreitet. Es sieht aus, als würde der Kastanienzweig weinen und seine Tränen von der Stelle aus, an der er angeschnitten wurde, ins umgebende Wasser abgeben. Das können wir im Versuch „Weinender Kastanienzweig“ feststellen.

Fragen

- ▶ Wieso kann es mit der Farbe eines Stoffes genau umgekehrt sein als mit „des Kaisers neuen Kleidern“?
- ▶ Hat nun der „weinende Kastanienzweig“ aus diesem Versuch eine Farbe, oder nicht?

- ▶ Kann auch ein bereits bei Tageslicht farbiger Stoff im violetten Licht eine andere Farbe zeigen, d.h. in einer anderen Farbe fluoreszieren?
- ▶ Ist Fluoreszenz nur eine seltene Besonderheit bei einigen Stoffen aus Pflanzen, oder kommt diese Eigenschaft auch bei Stoffen aus Gegenständen unseres Alltags vor?
- ▶ Wieso können Stoffe auch im Tageslicht fluoreszieren, wo doch dafür violettes Licht oder UV-Licht notwendig ist?
- ▶ Warum verschwindet die Fluoreszenz beim Ausschalten des violetten oder ultravioletten Lichts? Wie kann man das Leuchten auch nach dem Ausschalten der Lampe erhalten?

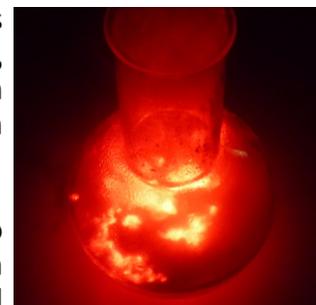
Forschen

Nachdem bereits im Anschluss an **Lesen** der „weinende Kastanienzweig“ experimentell untersucht wurde, können zur Erforschung der Antworten auf die **Fragen** die übrigen Experimente und Arbeitsblätter 1 bis 3 eingesetzt werden. Diese enthalten Versuche und kompetenzorientierte Aufgaben, die sich im Wesentlichen auf die Phänomenebene beziehen und deren Bearbeitung ohne chemische Formeln und Teilchenmodelle für Farbstoff-Moleküle auskommt.

Mit oder ohne Bezug zum Märchen kann die Fluoreszenz von Esculin im „weinenden Kastanienzweig“ genutzt werden, um Motivation dafür zu erzeugen, sich mit Leuchtfarben genauer auseinanderzusetzen. Es bietet sich an, Versuche mit Pflanzenfarbstoffen, Textmarkern und anderen Objekten, die Leuchtfarben enthalten, nach den Mustern von den Arbeitsblättern 3 und 4 im Teil „Photolumineszenz“ untersuchen zu lassen, teilweise auch als Versuche für zu Hause. Lampen für solche Experimente gibt es kostengünstig in Baumärkten (Schwarzlichtlampen) und im Elektro- und Online-Handel (UV-LED-Taschenlampen).

Bereits in der Sekundarstufe I ist es aus fachlicher Sicht unerlässlich und wird von den Lehrplänen explizit gefordert, bei der Einführung der **chemischen Reaktion** neben der **Stoffumwandlung** auch die **Energieumwandlung** hervorzuheben. Dabei wird die Beteiligung der Energieform **Licht** – anders als die Beteiligung von Wärme und elektrischer Energie – oft vernachlässigt. Auch wenn die meisten Lehrpläne die Lichtbeteiligung bei chemischen Reaktionen nicht ausdrücklich fordern, sollte an mindestens je einem Beispiel gezeigt werden, wie kaltes(!) Licht bei einer chemischen Reaktion verfügbar wird und wie Licht eine Reaktion antreiben kann.

Reaktionsbeispiele, bei denen Licht aus Reaktionen verfügbar wird, gibt es viele. Die entsprechenden *Chemolumineszenz*-Versuche sind sehr beliebt, aber unterschiedlich teuer, gefährlich und aufwendig. Eine Sammlung von Videos und Versuchsvorschriften mit Chemolumineszenz-Versuchen befindet sich auf dem USB-Datenträger des Photo-Mol Koffers.



Ein denkbar einfacher Versuch, bei dem Licht eine Reaktion antreibt, also eine *photochemische Reaktion*, ist mit der „intelligenten Folie“ aus dem Photo-Mol Koffer durchführbar¹. Damit können die Experimente und Aufgaben von den Arbeitsblättern 1 bis 3 im Teil „Photochromie“ bearbeitet werden. Auch hier kommt man (wie bei den Versuchen und Aufgaben zu den Leuchtfarben) ohne Formeln und Reaktionsgleichungen aus, entfacht jedoch die Motivation für lichtgetriebene Reaktionen und erzeugt anschlussfähiges Wissen für später.

¹ Es wird empfohlen, die „intelligente Folie“ mit einem Projektkurs, einer Arbeitsgemeinschaft oder einem Sek. II – Kurs in einer Stückzahl herzustellen, die für den Einsatz in Gruppenversuchen auch in der Sek. I ausreicht. Mit diesem Satz von „intelligenten Folien“ kann über einen längeren Zeitraum in mehreren Lerngruppen gearbeitet werden.

Wenn die oben diskutierten Experimente und Inhalte zur Beteiligung der Energieform Licht bei chemischen Reaktionen sowie die Experimente und Aufgaben zur Erzeugung und den Eigenschaften von Leuchtfarben früh in den Chemieunterricht integriert werden, stellt man sinnvolle und einprägsame *Quervernetzungen* zu den Fächern Biologie und Physik her. Das ist ganz im Sinne der „Philosophie“ innovativer Lehrpläne aller MINT-Fächer.

Einsatz der Versuche und Arbeitsblätter in der Sek. II

Die für die Sekundarstufe II ausgewiesenen Arbeitsblätter in beiden Teilen der *Photo-Mol* Koffers sind als Anschluss an die Arbeitsblätter der Sekundarstufe I konzipiert. Es wird daher empfohlen, das Vorwissen zu den Leuchtfarben und zur Beteiligung von Licht an chemischen Reaktionen zu erkunden und gegebenenfalls die Materialien für die Sekundarstufe als Wiederholung aufzugreifen.

Unter Bezug auf die Themengebiete der Sekundarstufe II eignen sich die Experimente und Arbeitsblätter des **Photolumineszenz**-Teils des *Photo-Mol* Koffers für folgende Inhalte:

- ▶ **Farbigkeit durch Lichtabsorption vs. Lichtemission (Lumineszenz)**
- ▶ **Photolumineszenz durch Fluoreszenz vs. Phosphoreszenz**
- ▶ **Quantifizierung der Energie, Energiestufenmodell für Atome und Moleküle**
- ▶ **elektronischer Grundzustand vs. angeregte Zustände in Molekülen**
- ▶ **Elektronenzustände vs. Schwingungszustände in Molekülen**
- ▶ **Relation: Molekülstruktur – Lichtabsorption**
- ▶ **Relation: Molekülstruktur – Lichtemission**
- ▶ **Beeinflussung der Fluoreszenz und Phosphoreszenz durch pH-Wert, Temperatur, Löse-
mittel und Feststoffmatrix**
- ▶ **Anwendungen der Fluoreszenz und Phosphoreszenz**

Bei dieser Aufzählung stehen offensichtlich die Farbigkeit von Stoffen und ihre Erklärung auf der Teilchenebene im Mittelpunkt. Im Chemieunterricht wird die Farbigkeit seit ca. 100 Jahren fast ausschließlich auf die Lichtabsorption durch Moleküle zurückgeführt. Entsprechend fordern die meisten Lehrpläne im Inhaltsfeld „Farbstoffe“ lediglich die Relation Molekülstruktur – Lichtabsorption, die verschiedenen Farbstoffklassen und Färbeverfahren; die meisten Schulbücher beschränken sich ebenfalls darauf. Allerdings ist das nicht mehr zeitgemäß, weil es die Alltagspräsenz von fluoreszierenden und phosphoreszierenden Stoffen nicht berücksichtigt und noch weniger die innovativen Anwendungen dieser Farbstoffe mit besonderen Funktionen. Man ordnet sie daher den so genannten *funktionellen Farbstoffen* zu. Indem bei der oben angeführten Aufzählung auf Alltagserfahrungen und Anwendungen eingegangen wird und jeweils *Gegenüberstellungen*, z.B. Lichtabsorption vs. Lichtemission, hervorgehoben werden, trägt der Photolumineszenz-Teil des *Photo-Mol* Koffers zur curricularen Innovation des Chemieunterrichts im Inhaltsfeld der Farbstoffe bei. In den meisten Bundesländern handelt es sich dabei um ein *obligatorisches Inhaltsfeld*.

In einigen wenigen Bundesländern, wo das nicht der Fall ist, eignen sich die Experimente und Arbeitsblätter aus dem Photolumineszenz-Teil für die Erschließung, Erweiterung und Vertiefung von Fachinhalten, die anderen obligatorischen Inhaltsfeldern zugeordnet sind, beispielsweise der *Energetik*. Die Quantifizierung der Energie, die Wechselwirkung zwischen Photonen und Molekülen, die Energiekonversion, die dabei stattfindet und die Energiebilanzen bei diesen Prozessen stellen didaktische Möglichkeiten dar, diese innovativen Inhalten aus der Perspektive der Energetik zu erschließen.

Die Experimente und Arbeitsblätter des **Photochromie**-Teils eignen sich in der Sekundarstufe II für die Erschließung einiger grundlegender Fachinhalte, die auch in den Lehrplänen als chemische *Basiskonzepte* ausgewiesen sind, beispielsweise

- ▶ **Energetik chemischer Reaktionen,**
- ▶ **chemisches Gleichgewicht** und
- ▶ **Relation (Molekül)Struktur - Stoff(Eigenschaften).**

Konkrete Fachinhalte zu diesen Basiskonzepten können mithilfe des *Photo-Mol* Koffers anhand einfacher Experimente (Ausnahme: das Experiment zur Herstellung der „intelligenten Folie“) erschlossen werden. Die Beobachtungen aus diesen Experimenten führen unmittelbar und treffsicher zu den angestrebten theoretischen Konzepten und Modellen. Im Sinne eines einprägsamen, anschlussfähigen und nachhaltigen Lernprozesses wird empfohlen, auch hier Gegenüberstellungen hervorzuheben, beispielsweise:

- ▶ **thermische Reaktionen vs. photochemische Reaktionen - phänomenologisch**
- ▶ **thermische Reaktionen vs. photochemische Reaktionen - modelltheoretisch**
- ▶ **chemisches Gleichgewicht vs. photostationäres Gleichgewicht - phänomenologisch**
- ▶ **chemisches Gleichgewicht vs. photostationäres Gleichgewicht - modelltheoretisch**
- ▶ **Photochromie vs. Solvatochromie - phänomenologisch**
- ▶ **Photochromie vs. Solvatochromie - modelltheoretisch**
- ▶ **Photoaktiver vs. pH-aktiver molekularer Schalter - phänomenologisch**
- ▶ **Photoaktiver vs. pH-aktiver molekularer Schalter - modelltheoretisch**

Bei dieser Aufzählung wird das *allgemeine didaktische Prinzip* sichtbar, einen Begriff semantisch dadurch zu präzisieren, dass man ihn mit seinem *komplementären Gegenüber* in Beziehung setzt. Dieses Prinzip ist beim Lernen der Chemie sehr effizient. Begriffspaare wie Analyse - Synthese, Oxidation - Reduktion, Donator - Akzeptor, hydrophil - hydrophob, nucleophil - elektrophil etc. lassen sich besser merken und auch kreativer anwenden als jeweils nur einer der beiden Begriffe aus einem Paar. Die Arbeitsblätter im *Photo-Mol* Koffer sind so konzipiert, dass die oben angedeuteten *Vergleiche* in den Aufgaben entweder explizit gefordert werden, oder anhand anderer Operatoren beim Lösen der Aufgaben erschlossen werden müssen.

Einsatz der Versuche und Arbeitsblätter in fächerübergreifenden Projektkursen

Zusätzlich zu den oben für die Sek. I und Sek. II angeführten didaktischen Hinweisen gelten für fächerübergreifende Projektkurse noch folgende ganz besonders:

- ▶ In beiden Teilen des Koffers Photolumineszenz und Photochromie gibt es enge Verknüpfungen zur Physik und zur Biologie sowohl auf Sek. I- als auch auf Sek.II-Niveau.
- ▶ Anders als im regulären Chemieunterricht können die Experimente und Materialien aus dem Koffer in Projektkursen ohne Zeitnot und Lehrplanzwang ausführlich bearbeitet werden.

Weitere Einsatzmöglichkeiten des Photo-Mol Koffers

Über die Kursarbeit hinaus bietet es sich an, Teile des Koffers für *Jugend-forscht Arbeiten*, *Facharbeiten* und *Arbeitsgemeinschaften* bereitzustellen.

Im **Lehramtsstudium** kann der *Photo-Mol* Koffer in **Praktika für schulorientiertes Experimentieren** und in **Didaktik-Seminaren** eingesetzt werden. Ausgehend von den Experimente, die im Koffer beschrieben und didaktisch ausgewertet sind, lassen sich Themen für **Abschlussarbeiten** (Bachelor- und Master-Thesis) ableiten.

Weinender Kastanienzweig

Tätigkeitsbeschreibung

Ein Kastanienzweig wird schräg angeschnitten und in einem abgedunkelten Raum im Licht einer violetten LED-Taschenlampe in einen mit Wasser gefüllten Glaszylinder eingetaucht.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

Kastanienzweig, Wasser

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig.

Fluoreszein in Lösung

Tätigkeitsbeschreibung

Etwa 2 mg Fluoreszein-Natriumsalz werden in ca. 50 mL dest. Wasser gelöst. Die Lösung wird im Tageslicht und im Dunkeln unter dem Licht einer violetten LED-Taschenlampe betrachtet. Anschließend wird die Lösung auf drei Reagenzgläser aufgeteilt. Das erste wird mit weiteren 2 mg Fluoreszein versetzt, das zweite wird mit Wasser aufgefüllt. Das dritte gilt als Referenz. Die Reagenzgläser werden im Tageslicht und im Dunkeln im Licht der violetten LED-Taschenlampe betrachtet.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

Fluoreszein-Natriumsalz, Wasser

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig

Fluoreszenzfarben von Alltagsgegenständen

Tätigkeitsbeschreibung

Diverse ungiftige Naturprodukte und Alltagsgegenstände, wie z. B. Spielzeuge, Pflanzenteile, Geldscheine, Textilien, Farben aus Textmarkern und andere, werden daraufhin untersucht, ob sie im Licht einer violetten LED-Taschenlampe das Phänomen der Fluoreszenz aufzeigen.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

ungiftige Naturprodukte, Alltagsgegenstände

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig.

Reifungsprozess einer Banane unter UV-Licht

Tätigkeitsbeschreibung

Der Reifungs- und Überreifungsprozess einer noch grünen Banane wird über mehrere Tage fotografisch unter Tageslicht und unter dem Licht einer violetten LED-Taschenlampe dokumentiert.

Hinweis: Die Banane ist zu entsorgen, bevor sich Schimmel auf der Schale bildet.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

Banane

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig.

Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäurematrix - SI

Tätigkeitsbeschreibung

In ein großes Reagenzglas werden 5 g Weinsäure gegeben und vorsichtig über der Flamme eines Bunsenbrenners erhitzt, bis eine klare Schmelze erhalten wurde. In die noch klare Schmelze werden ca. 2 mg Fluorescein-Natriumsalz bzw. 5 mg Esculin gegeben und durch Schütteln gelöst. Die Schmelze wird durch Schräghalten und Drehen des Reagenzglases großzügig an der Wand des Reagenzglases verteilt. Nach dem Erstarren und Abkühlen der Schmelze beobachtet man genau, wie die Probe im abgedunkelten Raum unter dem Licht der violetten Taschenlampe aussieht und auch was geschieht, nachdem die Lampe ausgeschaltet wurde. Der Vorgang wird wiederholt, nachdem die Probe auf in einem Eis-Wasser-Salzbad auf ca. 0 °C abgekühlt wurde.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: Ja

L(+)-2,3-Dihydroxybutansäure

AGW: - **H319**
P280, P305+P351+P338, P337+P313



Fluorescein-Natriumsalz, Esculin, Eis, Wasser, Natriumchlorid

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: Ja	Brandgefahr: Nein	Sonstige Gefahren: Ja
Gefahren durch Hautkontakt: Ja	Explosionsgefahr: Nein	Verbrennungsgefahr

Substitution möglich: Nein

Andere Stoffe als Weinsäure bergen entweder ein höheres Gefährdungspotential oder Fluorescein zeigt in diesen keine Phosphoreszenz.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Folgende Schutzmaßnahmen sind zu beachten:

Mindeststandards (TRGS 500)							Weitere Maßnahmen: keine
	Schutzbrille	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandschutzmaßnahmen	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fluorescein in wässriger Lösung und bei Zugabe von Aceton

Tätigkeitsbeschreibung

2 mg Fluorescein-Mononatriumsalz werden in ca. 50 mL dest. Wasser gelöst. Von dieser Lösung wird so viel in zwei Reagenzgläser gegeben, dass diese ca. 2 cm hoch gefüllt sind. In ein Reagenzglas wird in 5 mL-Portionen Wasser, in das andere Aceton gegeben und jedes Mal geschüttelt. Die Fluoreszenzen der beiden Lösungen unter dem Licht der violetten Taschenlampe wird nach jeder Zugabe geprüft. Der Versuch wird gestoppt, sobald die Reagenzgläser voll sind.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: Ja

Aceton AGW: 1200 mg/m ³	H225, H319, H336, EUH066 P210, P243, P305+P351+P338, P301+P315	Propanon   GEFÄHR
--	--	--

Fluorescein-Natriumsalz, Wasser

AGW: -

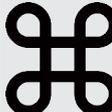
Gefahren durch Einatmen: Ja	Brandgefahr: Ja	Sonstige Gefahren: Nein
Gefahren durch Hautkontakt: Ja	Explosionsgefahr: Nein	

Substitution möglich: Nein

Andere Lösemittel zeigen entweder nicht das gewünschte Ergebnis oder bergen ein höheres Gefährdungspotential.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Folgende Schutzmaßnahmen sind zu beachten:

Mindeststandards (TRGS 500)	 Schutzbrille	 Schutzhandschuhe	 Abzug	 geschlossenes System	 Lüftungsmaßnahmen	 Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen: keine
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäurematrix - SII

Tätigkeitsbeschreibung

In ein großes Reagenzglas werden 5 g Weinsäure gegeben und vorsichtig über der Flamme eines Bunsenbrenners erhitzt, bis eine klare Schmelze erhalten wurde. In die noch klare Schmelze werden ca. 2 mg Fluorescein-Natriumsalz bzw. 5 mg Esculin gegeben und durch Schütteln gelöst. Die Schmelze wird durch Schräghalten und Drehen des Reagenzglases großzügig an der Wand des Reagenzglases verteilt. Die Schmelze wird erstarren und die Probe im abgedunkelten Raum unter dem Licht der violetten Taschenlampe betrachtet. Es wird darauf geachtet, was geschieht, nachdem die Lampe ausgeschaltet wurde. Der Vorgang wird wiederholt, nachdem die Probe auf Raumtemperatur abgekühlt ist und nachdem sie in einem Eis-Wasser-Salzbad auf ca. 0 °C abgekühlt wurde.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Ja*

L(+)-Weinsäure; Edukt

AGW: - H319
P280, P305+P351+P338, P337+P313

Weinsäure



Fluorescein-Natriumsalz; Edukt, Esculin; Edukt, Eis, Wasser, Natriumchlorid

AGW: -

Esculin- bzw. Fluorescein-Phosphoreszenz-Probe; Produkt

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Ja*
Gefahren durch Hautkontakt: *Ja*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

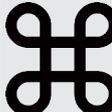
Sonstige Gefahren: *Ja*
Verbrennungsgefahr

Substitution möglich: *Nein*

Andere Stoffe als Weinsäure bergen entweder ein höheres Gefährdungspotential oder Fluorescein zeigt in diesen keine Phosphoreszenz.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Folgende Schutzmaßnahmen sind zu beachten:

Mindeststandards (TRGS 500)							Weitere Maßnahmen: keine
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Echtfarben-Emissionsspektren

Tätigkeitsbeschreibung

Mit Hilfe eines optischen Gitters, einer Spaltblende und einer Fluoreszenzprobe, die zusammen auf einer optischen Bank aufgebaut werden, werden die Echtfarben-Emissionsspektren sichtbar gemacht. Die Fluoreszenzprobe wird dabei mit einer UV-Handlampe ($\lambda = 366 \text{ nm}$) im 90° -Winkel angestrahlt. Als Proben werden verdünnte Lösungen von Aesculin und Fluoreszein, sowie Proben von Esculin und Fluoreszein in Weinsäure-Matrix verwendet.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

Fluoreszein-Natriumsalz, Esculin, Wasser

AGW: -

Esculin- bzw. Fluoreszein-Phosphoreszenz-Probe

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig

Herstellung der „intelligenten Folie“ im Schülerversuch

Tätigkeitsbeschreibung

Zwei Kopierfolien in DIN-A5-Größe werden an allen Seiten ohne Lücke mit etwas dickerem Gewebeklebeband auf einer Arbeitsfläche fixiert. In ca. 15 mL Xylol werden 50 mg Spiropyran (1',3'-Dihydro-1',3',3'-trimethyl-6-nitrospiro[2H-1-benzopyran-2,2'-[2H]indol]) gelöst und in die Lösung wird stückeweise ca. 3,5 bis 4 g Styropor gegeben, bis eine zähflüssige, noch gießbare Masse erhalten wird. Etwa die Hälfte der Masse wird am oberen Ende der einen im Hochformat liegenden DIN-A5-Kopierfolie gegeben. Die andere Hälfte auf die andere Folie. Mit einem langen Glasstab, den man vorsichtig über das Gewebeklebeband auf beiden Seiten legt, verteilt man die Masse auf der gesamten Folie. Die so hergestellte Schicht lässt man für ca. 40 min unter dem Abzug trocknen.

Das Klebeband wird entfernt und die beschichteten Folien werden einlaminiert.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: Ja

1,3,3-Trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrylospiran; Edukt

AGW: -

Xylol, Isomerengemisch; Edukt

AGW: 440 mg/m³ **H226, H312+H332, H315, H319, H335, H373, H304**
P210, P260, P301+P310, P303+P361+P353,
P305+P351+P338, P331, P405, P501



Styropor, Kopierfolie, Laminierfolie; Edukte, Intelligente Folie; Produkt

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: Ja

Gefahren durch Hautkontakt: Ja

Brandgefahr: Ja

Explosionsgefahr: Nein

Sonstige Gefahren: Nein

Substitution möglich: Nein

Andere Edukte bergen ein höheres Gefährdungspotential oder ändern die Grundeigenschaften des Versuchs, so dass die didaktische Prägnanz verloren geht.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Folgende Schutzmaßnahmen sind zu beachten:

Mindest-standards (TRGS 500)							Weitere Maßnahmen: keine
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Versuche mit der "intelligenten Folie" bei Sonnenlicht und mit LEDs

Tätigkeitsbeschreibung

Die "intelligente Folie" wird mit Sonnenlicht bestrahlt und zum Entfärben ins Dunkle gelegt. Dieser Vorgang wird mit und ohne (selbst hergestellten) Schablonen wiederholt. In einem weiteren Versuchsteil werden verschiedenfarbige LED-Taschenlampen (Violett, Rot/Weiß/Grün) benutzt, um Blaufärbungen auf der Folie zu erzeugen oder um zu festzustellen, dass dies mit bestimmten Lichtfarben nicht möglich ist.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

Intelligente Folie

AGW: -

Sonnenlicht, Schablonen, LED-Taschenlampen

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig

Lichtantrieb, Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit

Tätigkeitsbeschreibung

In einem Reagenzglas mit Schraubdeckelverschluss werden einige Körnchen Spiropyran (1',3'-Dihydro-1',3',3'-trimethyl-6-nitrospiro[2H-1-benzopyran-2,2'-[2H]indol]) in 4 mL Xylol gelöst und das Reagenzglas verschlossen. Verschiedenfarbige LED-Taschenlampen werden seitlich direkt an das Reagenzglas gehalten, um zu sehen, bei welcher Lichtfarbe sich die Spiropyran-Lösung verfärbt.

In einem zweiten Versuchsteil wird die Lösung auf zwei Reagenzgläser mit Schraubdeckelverschluss aufgeteilt. Ein Reagenzglas wird in ein Becherglas mit warmem Wasser (ca. 60 °C) gestellt, das andere bei Raumtemperatur belassen. Die Geschwindigkeit bis zur Blaufärbung im Sonnenlicht oder im Licht der violetten LED-Taschenlampe wird beobachtet, sowie die Zeit, die bis zur Entfärbung der Proben im Dunklen vergeht. Anschließend wird die Probe bei Raumtemperatur in einem Eis-Wasser-Salzbad gekühlt und es werden ebenfalls die Zeiten bis zur Färbung und Entfärbung gemessen.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: Ja

1,3,3-Trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrylospiran

AGW: -

Xylol, Isomerengemisch

AGW: 44,0 mg/m³

H226, H312+H332, H315, H319, H335, H373, H304
P210, P260, P301+P310, P303+P361+P353,
P305+P351+P338, P331, P405, P501



GEFAHR

Eis, Wasser (Raumtemperatur), Wasser (60 °C), Natriumchlorid

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: Ja

Brandgefahr: Ja

Sonstige Gefahren: Nein

Gefahren durch Hautkontakt: Ja

Explosionsgefahr: Nein

Substitution möglich: Nein

Andere Lösemittel bergen ein höheres Gefährdungspotential oder ändern die Grundeigenschaften des Versuchs, so dass die didaktische Prägnanz verloren geht.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Folgende Schutzmaßnahmen sind zu beachten:

Mindeststandards (TRGS 500)	 Schutzbrille	 Schutzhandschuhe	 Abzug	 geschlossenes System	 Lüftungsmaßnahmen	 Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen: keine
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Photostationäres Gleichgewicht

Tätigkeitsbeschreibung

Auf der "intelligenten Folie" wird mit der violetten LED-Taschenlampe ein blaues Rechteck der Größe 3 x 6 cm erzeugt. Die Hälfte der blauen Fläche wird mit Alufolie abgedeckt, auf die andere wird die eingeschaltete grüne LED-Taschenlampe gestellt. Nach zwei Minuten wird die beleuchtete und die unbeleuchtete Fläche miteinander verglichen. Der Versuch wird wiederholt und die eingeschaltete grüne Taschenlampe für 15 Minuten auf der Folie belassen.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Nein*

Intelligente Folie

AGW: -

LED-Taschenlampen

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Nein*
Gefahren durch Hautkontakt: *Nein*

Brandgefahr: *Nein*
Explosionsgefahr: *Nein*

Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Keine Gefährdungsbeurteilung nötig

Solvatochromie

Tätigkeitsbeschreibung

In einem Reagenzglas mit Schraubdeckelverschluss werden einige Körnchen Spiropyran (1',3'-Dihydro-1',3',3'-trimethyl-6-nitrospiro[2H-1-benzopyran-2,2'-[2H]indol]) in 4 mL Ethanol gelöst und das Reagenzglas verschlossen. Das Reagenzglas wird in ein Becherglas mit warmem Wasser (ca. 60 °C) gestellt und die Geschwindigkeit bis zur Blaufärbung im Sonnenlicht oder im Licht der violetten LED-Taschenlampe beobachtet. Es wird auch geprüft ob sich die Proben im Dunkeln entfärben und wieviel Zeit dabei vergeht. Anschließend wird die Probe bei Raumtemperatur und in einem Eis-Wasser-Salzbad gekühlt auf die gleiche Weise untersucht.

Tätigkeit mit Gefahrstoffen: *Ja*

1,3,3-Trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrylospiran

AGW: -

Ethanol

AGW: 960 mg/m³

H225, H319
P210, P233, P241, P280,
P305+P351+P338, P501



GEFAHR

Eis, Wasser (Raumtemperatur), Wasser (60 °C), Natriumchlorid

AGW: -

Gefahren durch Einatmen: *Ja*
Gefahren durch Hautkontakt: *Ja*

Brandgefahr: *Ja*
Explosionsgefahr: *Nein*

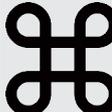
Sonstige Gefahren: *Nein*

Substitution möglich: *Nein*

Andere Lösemittel bergen ein höheres Gefährdungspotential oder ändern die Grundeigenschaften des Versuchs, so dass die didaktische Prägnanz verloren geht.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Folgende Schutzmaßnahmen sind zu beachten:

Mindeststandards (TRGS 500)	 Schutzbrille	 Schutzhandschuhe	 Abzug	 geschlossenes System	 Lüftungsmaßnahmen	 Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen: keine
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

