



Photosynthese in Zahlen

3.000.000.000.000.000.000 l/a

700.000.000.000 t Biomasse pro Jahr

$\eta = 0,15\%$

Fachinhalte: Chemie & Biologie

Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese

Stoffkreislauf Photosynthese-Zellatmung in der Biosphäre

Experimente im Überblick

Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese

E1: Lampentest mit „intelligenter“ Folie (Wirkung von Licht verschiedener Farben)

E2: Lichtabsorption und -emission von Chlorophyllen und β -Carotin

E3: β -Carotin als Fluoreszenzlöcher und Photoprotektor für Chlorophyll

Stoffkreislauf Photosynthese-Zellatmung in der Biosphäre

E4: Basisexperiment Photo-Blue-Bottle PBB (Farbzyklen)

E5: Sauerstoff als Oxidationsmittel beim PBB Experiment

E6: Energetischer Antrieb beim PBB-Experiment

E7: Energiekonversion und -speicherung beim PBB Experiment

Equipment

Materialien Chlorophyll & β -Carotin Experimente

UV LE S1 LED Mit 3 Batterien ca. 11 €

Materialien Photo-Blue-Bottle Experimente

LE Multi-Color LED Rechargeable Flashlight ca. 20 €

Chemikalien für Workshop „Lichtlabor Pflanze“

Chemikalien für E1-E3

- Grünes Kürbiskernöl, verdünnt mit Aceton (1:1) oder Blattgrünextrakt z.B. in Ethanol
- Carotin-Kapseln, angestochen und Inhalt gelöst in Heptan oder Toluol

Chemikalien für die Photo-Blue-Bottle Lösung

- Proflavin hemisulfat (3,6-Diaminoacridin-hemisulfat), CAS 1811-28-5, z. B. Sigma Aldrich; 10 g für 45 €
- Ethylviologen dibromid (1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid), CAS 53721-12-3, z. B. Sigma Aldrich; 1 g für 46 €
- EDTA-Dinatriumsalz (Ethyldimaintetraessigsäure-dinatriumsalz), CAS 6381-92-6, z. B. Carl-Roth; 250 g für 36 €

Experimente E1 bis E3

E1 Lampentest

a) In Partnerarbeit wird die Wirkung der verschiedenen Lichtfarben der Taschenlampe (violett, rot, grün, blau, warmweiß und kaltweiß) auf die bereitgestellte „intelligenten Folie“ untersucht, indem die eingeschaltete LED-Lampe mit der entsprechend eingestellten Lichtfarbe jeweils 5 Sekunden lang auf die Folie gestellt und die Färbung der Folie beobachtet wird.

b) Die Ergebnisse werden diskutiert und eine Hypothese zur Erklärung dieser Ergebnisse wird entwickelt.

E2 Lichtabsorption und -emission von Chlorophyll und β -Carotin

a) Die eine Hälfte eines Filterpapiers wird mit der bereitgestellten β -Carotin-Lösung getränkt, die andere mit der bereitgestellten Kürbiskern-Aceton-Lösung.

b) Das so präparierte Filterpapier wird bei Tageslicht und im Licht einer großen UV-LED-Taschenlampe betrachtet. Die Unterschiede werden festgestellt.

Hinweis: Die Lösungen werden auch in E3 benötigt.

E3 β -Carotin als Fluoreszenzlöcher und Photoprotektor von Chlorophyll

Für diesen Versuch werden die beiden Lösungen aus E2 benötigt:

Lösung I: Kürbiskernöl/Aceton-Lösung bzw. Blattgrünextrakt in Ethanol

Lösung II: β -Carotin-Lösung

a) Ein Rundfilter (mit Durchmesser 11 cm) wird mithilfe einer Pipette mit Lösung I auf der ganzen Fläche getränkt. Nach kurzem Trocknen bzw. Abtupfen mit Papier wird das Filterpapier unter UV-Licht betrachtet.

b) Mit einem Kapillarschächchen wird auf die Mitte des Filterpapiers ein runder Fleck (Durchmesser ca. 5 mm) aus Lösung II aufgetragen. Nach Trocknen des Lösemittels wird das Filterpapier erneut im Licht der UV-Taschenlampe betrachtet.

c) Die eingeschaltete UV-LED-Taschenlampe wird mittig auf das Filterpapier gestellt und es wird 4 min lang bestrahlt.

d) Die gesamte Fläche des Rundfilters wird erneut im Licht der UV-Lampe betrachtet. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandelten Flächen werden festgestellt.

Auswertung Sekundarstufe I

Farben und Leuchtfarben Aufgabe A1

Alle Figuren der Aufgaben sind mit folgenden Beschriftungen versehen:

1. Die Farbe, die du siehst, wenn du das Licht durch ein Prisma leitest.

2. Die Farbe, die du siehst, wenn du das Licht durch ein Gitter leitest.

3. Die Farbe, die du siehst, wenn du das Licht durch ein Gitter leitest und es auf einen Schirm projizierst.

4. Die Farbe, die du siehst, wenn du das Licht durch ein Gitter leitest und es auf einen Schirm projizierst, nachdem es durch ein Filterpapier gegangen ist.

5. Die Farbe, die du siehst, wenn du das Licht durch ein Gitter leitest und es auf einen Schirm projizierst, nachdem es durch ein Filterpapier gegangen ist, nachdem es durch ein Filterpapier gegangen ist.

Farben und Leuchtfarben Aufgabe A2

A2 Beweise die Aussagen mit wahr oder falsch und begründe mit deinen Beobachtungen:

- Die Farbe, in der wir einen Stoff sehen, hängt nicht von dem Licht ab, das auf den Stoff fällt.
- Im Sonnenlicht zeigen Stoffe durch Absorption von Licht nur Farben die im Sonnenlicht enthalten sind.
- Im Licht der UV-LED-Lampe entstehen Stoffe durch Einstrahlung von Licht nur Leuchtfarben (Fluoreszenz), die im Licht der UV-LED-Lampe enthalten sind.
- Leuchtfarben entstehen, indem Stoffe energiereicheres Licht in energiereicheres umwandeln.

Chlorophyll und β -Carotin Aufgabe A4

A4 Bewerten Sie die folgenden Aussagen mit w(ahr) oder f(alsch) und begründen Sie mündlich mithilfe der experimentellen Beobachtungen aus E3

- Grünes Chlorophyll erzeugt rote Fluoreszenz.
- β -Carotin löscht die Fluoreszenz von Chlorophyll.
- Gelbes β -Carotin fluoresziert blau.
- Chlorophyll wird im starken Licht an der Luft zerstört (abgebaut).
- Chlorophyll erzeugt Fluoreszenz wenn es mit grünem Licht bestrahlt wird.
- β -Carotin beschleunigt den Abbau von Chlorophyll bei starkem Licht.
- β -Carotin hemmt den Abbau von Chlorophyll bei starkem Licht.

Material & Auswertung Sekundarstufe II

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Esculin (immobilisiert in Weizenkeim)

N. Meinel, S. Spahn, Y. Yurdanur, M.W. Tausch, „Photonen und Moleküle“ CHEMIE, Sonderheft (2017) M.W. Tausch, M. v. Wollastorf, C. Beckmann, S. Koenig, J. CHEMIE 2008, C. Beckmann, Sonderheft (2017, 2018)

Strukturelle Voraussetzungen für Fluoreszenz

grünes Chlorophyll fluoresziert rot

β -Carotin: keine Fluoreszenz

Fluoreszenz Abwärtskonvertierung von Photonen

A1 Erschließen Sie den Lehrfilm auf der Seite chemietitelt.uni-wuppertal.de und achten Sie dabei besonders auf die Umwandlung der Photonen bei der Fluoreszenz.

A2 Präsentieren Sie den Filmausschnitt, in dem die Abwärtskonvertierung von Photonen erklärt wird und überprüfen Sie, ob die Erklärung auf die Farbe bei der Fluoreszenz von Chlorophyll zutrifft.

A3 Begründen Sie, warum bei der Fluoreszenz gilt: $E_2 < E_1$ und $\lambda_2 > \lambda_1$.

Lehrfilm
Photosynthese – ein Fall für Zwei; Teil 2

A1 Erschließen Sie den Lehrfilm auf der Seite chemie.titl.uni-wuppertal.de und achten Sie dabei besonders auf die Umwandlung der Photonen bei der Fluoreszenz.

A2 Präsentieren Sie den Filmausschnitt, in dem die Eigenschaft des β -Carotins als Photoprotektor für Chlorophyll erläutert wird, und verknüpfen Sie die Erklärung mit Ihren Beobachtungen in dem durchgeführten Experiment.



Experimente E4 bis E7

E4 Photo-Blue-Bottle
Basisexperiment

a) In ein 5 ml-Schraubdeckelglaschen werden mithilfe der Plastikpipette 4 ml PBB-Lösung gegeben. Das Glaschen wird mit der Schraubkappe verschlossen und die Lösung mit einer blauen LED-Taschenlampe* bestrahlt, indem die Lampe direkt an das Glas gehalten wird. Es kann entweder von der Seite oder vom Boden des Glaschens bestrahlt werden. Die Veränderungen in der Lösung werden beobachtet.

b) Die LED-Lampe wird ausgeschaltet, wenn sich an der Lösung nichts mehr ändert. Das Glaschen wird auf dem Tisch stehen gelassen und die Lösung 20 sek lang beobachtet. Das Glaschen wird dann kräftig geschüttelt und es wird beobachtet, ob und was sich dabei ändert.

c) Die Folge a) und b) wird wiederholt.



E5 Photo-Blue-Bottle
Versuchsparameter Gas

Der Zyklus Blaufärbung – Gelbfärbung wird ca. 5 mal durchgeführt. Dabei wird die Dauer der Bestrahlung bis zur Blaufärbung sowie die Dauer des Schüttelns bis zur Gelbfärbung daraufhin untersucht, ob sich diese verändern („wird länger“ bzw. „wird kürzer“).

Tipps:

a) Das Schraubdeckelglaschen wird so mit PBB-Lösung gefüllt, dass nach Zuschrauben und Umkippen nur eine kleine Luftblase übrig bleibt (etwa so groß wie eine Erbse).

b) Es wird mit einer Lichtquelle (Sonne bzw. blaue LED) bis zur vollständigen Blaufärbung bestrahlt. Dann wird kräftig geschüttelt, bis sich die Lösung gelb gefärbt hat.



E6 Photo-Blue-Bottle
Versuchsparameter Lichtfarbe, andere Energieformen

Es wird untersucht

a) mit welchen Lichtfarben aus LED-Taschenlampen die Blaufärbung funktioniert und mit welchen nicht.

b) ob die Blaufärbung auch durch Wärmezufuhr angetrieben werden kann.



E7 Photo-Blue-Bottle
Forschung zur Energieumwandlung und -speicherung

a) Die photoelektrochemische Konzentrationszelle wird nach Anleitung zusammengebaut. Die zu bestrahlende Halbzelle wird an den Minuspol des Voltmeters angeschlossen. Die Schnappdeckelglaschen sollen zu etwa 2/3 mit PBB-Lösung gefüllt sein.

b) Die Bestrahlung wird eingeschaltet. Der Spannungsverlauf während der Blaufärbung in der linken Halbzelle wird beobachtet und notiert.

c) Das Licht wird ausgeschaltet, wenn die Lösung in der linken Halbzelle komplett blau ist. Spannung und Farbe der Lösung werden ca. 2 min lang beobachtet.

d) Die Konzentrationszelle wird auf der Tischfläche hin- und herbewegt, damit Luft in die Lösung eingetragen wird. Die Farbe der Lösung und der Spannungsverlauf werden dabei beobachtet.



Auswertung Sekundarstufe I

Photo-Blue-Bottle Aufgabe A5

A4 Bewerten Sie die folgenden Aussagen mit **w**(ahr), **f**(alsch) oder **?(unsicher)**. Begründen Sie mündlich mithilfe der experimentellen Beobachtungen aus E4, E5 und E6. Planen Sie Versuche, mit denen es möglich ist, die mit **?(unsicher)** bewerteten Aussagen zu klären, d.h. auch hier mit **w**(ahr) und **f**(alsch) zu bewerten.

- Die Reaktion Gelb → Blau benötigt Energiezufuhr, die Reaktion Blau → Gelb benötigt Luft.
- Die Reaktionszyklen Gelb → Blau → Gelb in E4 sind mindestens 10-mal wiederholbar.
- Die Reaktion Gelb → Blau funktioniert mit Licht jeder Farbe aus dem sichtbaren Spektrum.
- Die Reaktion Blau → Gelb findet nicht statt, wenn keine Luft über der Lösung vorhanden ist.
- Die Reaktion Gelb → Blau verläuft bei Energiezufuhr in Form von Licht oder Wärme.
- Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Sauerstoff.
- Die Reaktion Blau → Gelb verläuft unter Freisetzung von Energie.
- Die Reaktionszyklen im Photo-Blue-Bottle Experiment entsprechen dem natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung.



Photo-Blue-Bottle Aufgabe A6

A6 Nehmen Sie der Reihe nach Stellung zu den vier Fragen in der Lernaufgabe.



Lehrfilme
Photosynthese – Ein Fall für Zwei

Lehrfilme online auf chemie.titl.uni-wuppertal.de abrufbar.

Hinweis: Die Filme können auch mit Klassen aus der Sek. I angeschaut und besprochen werden (Vergleich der Experimente aus dem Film mit den durchgeführten Experimenten).



Arbeitsblatt Photo-Blue Bottle

Sek. I

Photo-Blue-Bottle
Ein Fall für Zwei Teil 2: die Blaufärbung und die Gelbfärbung

Photo-Blue-Bottle Experiment

A1 Beschreiben Sie die Folge der Reaktionschritte bei der photokatalytischen Reduktion von EV^{2+} zu $EV^{•-}$. Erklären Sie, warum die Reduktion von EV^{2+} zu $EV^{•-}$ erst nach der Absorption eines Photons (Lichtquants) erfolgen kann.

A2 Berechnen Sie das Verhältnis $c(\text{Red}) : c(\text{Ox})$ im PBB-Experiment, wenn in der Konzentrationszelle eine Spannung von $U = 300 \text{ mV}$ gemessen wird.

Arbeitsblatt Photo-Blue Bottle

Auswertung des Photo-Blue-Bottle zur Photosynthese

A1 Die Natur stellt uns CO₂ + H₂O + Licht zur Verfügung, um die Glukose zu synthetisieren. Wie wird die Energie für die Photosynthese übertragen? Erklären Sie die Reduktion der EV²⁺ im Photo-Blue-Bottle Experiment.

A2 Die Reaktion Gelb → Blau verläuft bei Energiezufuhr in Form von Licht oder Wärme. Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Sauerstoff.

A3 Nennen Sie die entsprechenden Stoffe und Stoffkreisläufe beim PBB-Experiment und beim Kreislauf Photosynthese/Atmung. Erläutern Sie, warum PBB ein Modellexperiment ist.

Material & Auswertung Sekundarstufe II

Chemikalien im Photo-Blue Bottle Experiment

A1 Erklären Sie, warum die Chemikalien Proflavin, Ethylviologen und EDTA wasserlöslich sind.

3 Chemikalien + Luft + Wasser

Photokatalysator Proflavin PF⁺
C1=CC=C2C(=C1)N=CN=C2

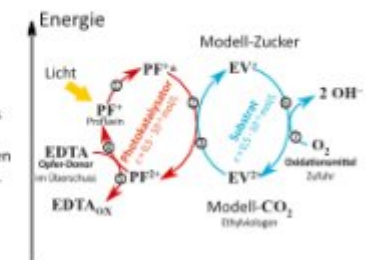
Opferdonor EDTA
[Na+].[Na+].[Na+].[Na+].[Na+].[Na+].[O-]C(=O)N(CC(=O)O)CC(=O)O

Substrat Ethylviologen EV²⁺
CC1=CC=C(C=C1)N(C)C=C2C=CC(=C2)N1

Gekoppelte Reaktionszyklen beim Photo-Blue Bottle Experiment

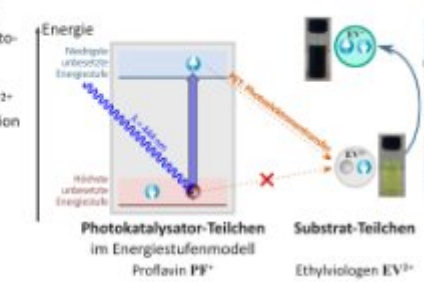
A2 Ordnen Sie die folgende Begriffe den passenden Zahlen auf den Pfeilen zu:

- Reduktion des Substrats EV^{2+} ,
- elektronische Anregung des Photokatalysators,
- Oxidation des reduzierten Substrats $EV^{•-}$,
- Elektronenübergang vom angeregten Photokatalysator auf das Substrat.



Photokatalyse bei einer Photoredoxreaktion

A3 Beschreiben Sie die Folge der Reaktionschritte bei der photokatalytischen Reduktion von EV^{2+} zu $EV^{•-}$. Erklären Sie, warum die Reduktion von EV^{2+} zu $EV^{•-}$ erst nach der Absorption eines Photons (Lichtquants) erfolgen kann.



Energiekonversion und -speicherung beim Photo-Blue Bottle Experiment

$EV^{2+} + e^- \rightleftharpoons EV^{•-}$

$E = E_{ox} - E_{red} - \frac{RT}{zF} \ln \frac{c(Ox)}{c(Red)}$

A4 Begründen Sie mithilfe der Nernst-Gleichung, warum die bestrahlte Halbzelle an den Minuspol des Digitalvoltmeters angeschlossen wird.

A5 Erläutern Sie, warum die PBB-Konzentrationszelle als „Solarakku“ bezeichnet werden kann.

A6 Berechnen Sie das Verhältnis $c(\text{Red}) : c(\text{Ox})$ im PBB-Experiment, wenn in der Konzentrationszelle eine Spannung von $U = 300 \text{ mV}$ gemessen wird.

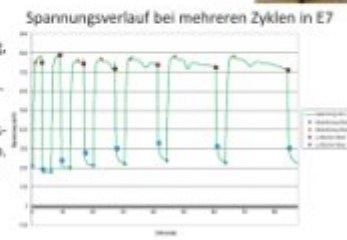
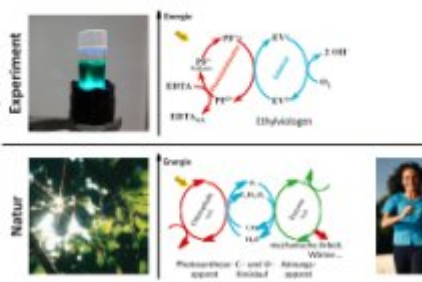


Photo-Blue-Bottle Modellexperiment für Photosynthese/Atmung?

A7 Nennen Sie die sich entsprechenden Stoffe und Stoffkreisläufe beim PBB-Experiment und beim Kreislauf Photosynthese/Atmung. Erläutern Sie, warum PBB ein Modellexperiment ist.



Analogien

	Photosynthese/Atmung Wirklichkeit	Photo-Blue-Bottle Modellexperiment
A8 Erläutern Sie die angeführten Analogien	Phänomene Beteiligung von: a) farbigen Stoffen (Chl, Car u.a.) b) Gasen und gelösten Stoffen c) Licht u.a. Energieformen	Phänomene Beteiligung von: a) farbigen Stoffen (PF, EV) b) Gasen und gelösten Stoffen c) Licht u.a. Energieformen
A9 Nennen Sie Unterschiede.	Stoffkreisläufe, Stoffe a) Kreisläufe von C, O, CH ₄ , ... b) Sauerstoffverbrauch bei der Ox.	Stoffkreisläufe, Stoffe a) Kreisläufe von EV und PF b) Sauerstoffverbrauch bei der Ox.
	Reaktionstypen, Energiekonversion a) Reduktion - enderg. / Licht b) Oxidation - exerg. / Wärme, Arbeit, ... c) Anregung, Photoelektronentransfer	Reaktionstypen, Energiekonversion a) Reduktion - enderg. / Licht b) Oxidation - exerg. / Wärme, Arbeit, ... c) Anregung, Photoelektronentransfer

Unterschiede

	Photosynthese/Atmung Wirklichkeit	Photo-Blue-Bottle Modellexperiment
A10 Erläutern Sie die angeführten Unterschiede.	Offenes System C- und O-Kreislauf Viele Stoffe und Reaktionschritte	Geschlossenes System C-Kreislauf Wenig Stoffe und Reaktionschritte

Arbeitsblatt
Photo-Blue Bottle

Arbeitsblatt
Photo-Blue Bottle

Lehrfilm
Photosynthese – ein Fall für Zwei; Teil 1

A11 Erschließen Sie den Lehrfilm auf der Seite chemie.titl.uni-wuppertal.de.
A12 Präsentieren Sie diesen Lehrfilm. Diskutieren und vergleichen Sie die Experimente und Behauptungen aus dem Film mit Ihren Experimenten und gewonnenen Erkenntnissen.

Unterricht
Sekundarstufe I

Curriculare Einbindung
Sekundarstufe I

Chemie, Sek. I

Chemie & Schule 3/2015

Lerninhalte
Anfängerniveau

Chemische Reaktion: Stoff- und Energieumwandlung

- Beteiligung der Energie als Licht

Oxidation/Reduktion:

- Sauerstofftheorie der Oxidation

Experimente

- Licht = treibende Kraft für chemische Reaktionen (Bildung einer blauen Substanz durch Bestrahlung mit blauem Licht)
- Sauerstoff als Oxidationsmittel (Zersetzung der blauen Substanz durch Reaktion mit Sauerstoff)

Konstruktivistische Lernschleife
Gliederung eines Unterrichtsbausteins in vier Segmente im Sinne forschend-entwickelnden Lernens

„Photosynthese und Atmung en miniature“
Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

Unterricht
Sekundarstufe II

Curriculare Einbindung
Sekundarstufe II

Chemie, Sek. II

Lerninhalte
Höheres Niveau

Redoxpotenziale – Abhängigkeit von ...

- ... dem Konzentrationsverhältnis des Redoxpaares c(Red/Ox), Nernst-Gleichung
- ... dem elektronischen Zustand der reduzierten Spezies „Red“: (Red/Ox) vs. (Red⁺/Ox)

Modellexperiment für natürliche und technische Vorgänge

- Analogie und Unterschiede zwischen dem PBB Experiment und dem natürlichen Kreislauf der Photosynthese und Zellatmung

Experimente

- Erweitertes PBB Experiment als elektrochemische Messvorrichtung
- PBB Experiment mit verschiedenen Photokatalysatoren, Substraten und Opferdonoren

Lerninhalte
Höheres Niveau

Redoxreaktionen = Elektronentransferreaktionen

- Elektronentransfer beim PBB Experiment – gekoppelte Reaktionszyklen
- Wirkungsmechanismus des Photokatalysators im PBB Experiment
- Energiekonversion und -speicherung im PBB Experiment

Relation: [Teilchen]Struktur - (Stoff)Eigenschaft

- ionische Struktur – Löslichkeit
- Konfiguration – Konformation
- Bindungsdelokalisation – Mesomerie – Lichtabsorption – Farbe

Experimente

- Bestrahlung der PBB Lösung mit violetterm, blauem, grünem und rotem Licht
- Absorptionsspektren von Proflavin (PF⁺) und Ethylviologen (EV²⁺ und EV^{•+})

Stationen, Sekundarstufe II
Mit einer Photo-Cat Box können die folgenden 6 Stationen teils mehrfach aufgebaut werden:

Stationen im Rotationsmodus
Sekundarstufe II

Alle Lernenden durchlaufen und bearbeiten alle Stationen

Stationen im Expertenmodus
Sekundarstufe II

Jeweils eine Gruppe Lernender bildet sich an einer Station zu „Experten“ aus und präsentiert anschließend ihre Experimente und Erkenntnisse der gesamten Lerngruppe



Lichtlabor Pflanze

Workshop

NEIK: Nachhaltige Experimente, Innovative Konzepte

Photosynthese

in Zahlen

3.000.000.000.000.000.000.000 J/a



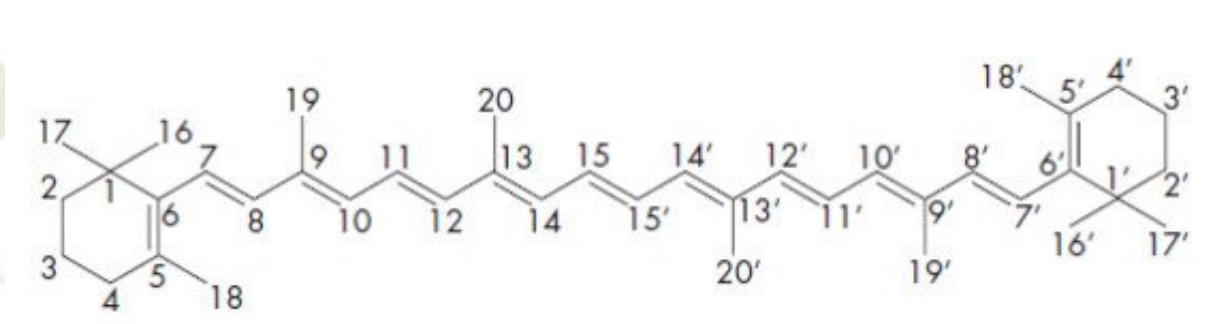
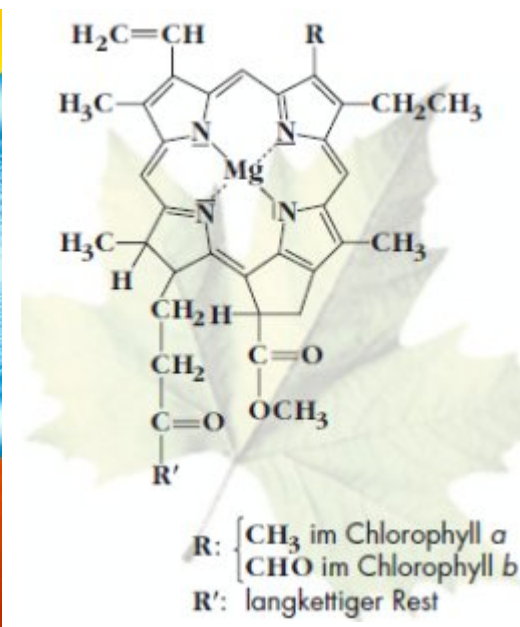
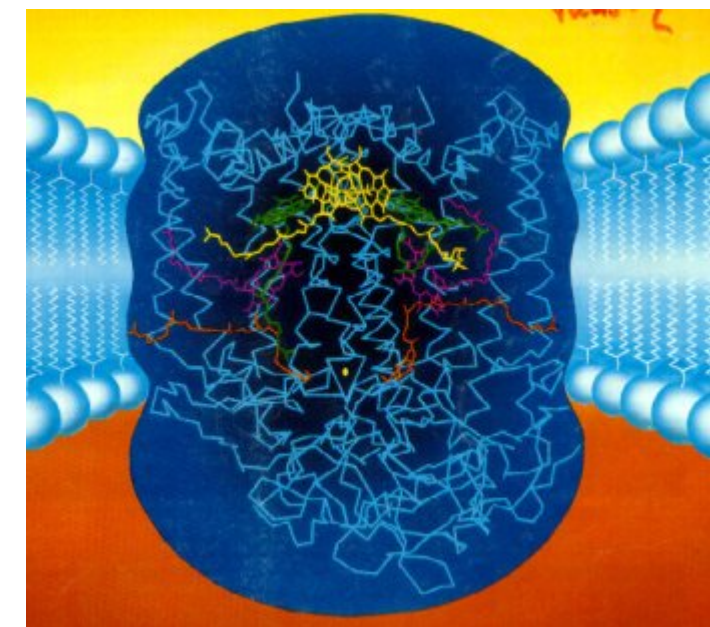
$\eta \approx 0,15\%$



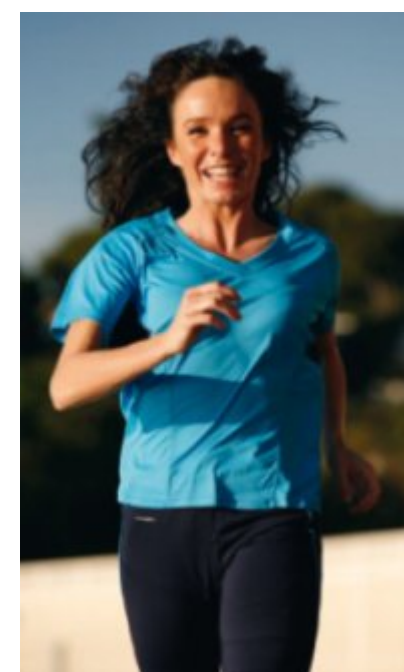
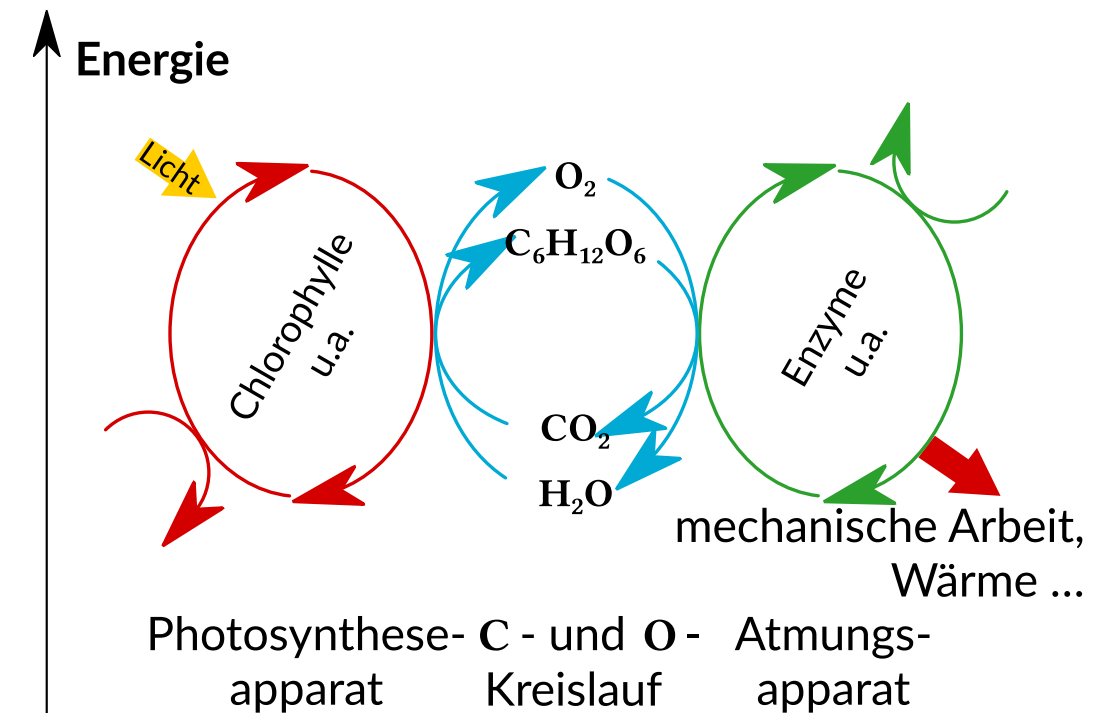
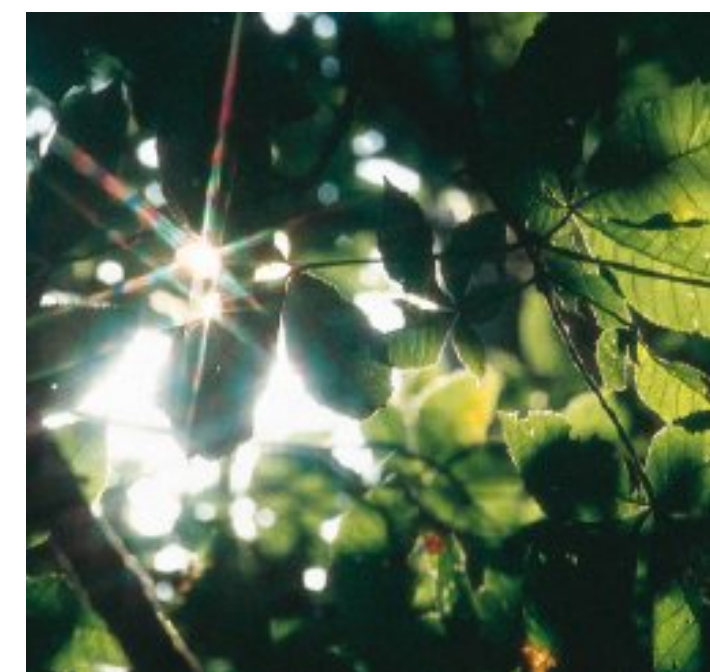
700.000.000.000 t
Biomasse pro Jahr

Fachinhalte: Chemie & Biologie

Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese



Stoffkreislauf Photosynthese-Zellatmung in der Biosphäre





Experimente

im Überblick

Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese

E1: Lampentest mit „intelligenter“ Folie (Wirkung von Licht verschiedener Farben)

E2: Lichtabsorption und -emission von Chlorophyllen und β -Carotin

E3: β -Carotin als Fluoreszenzlöcher und Photoprotektor für Chlorophylle

Stoffkreislauf Photosynthese-Zellatmung in der Biosphäre

E4: Basisexperiment Photo-Blue-Bottle PBB (Farbzyklen)

E5: Sauerstoff als Oxidationsmittel beim PBB Experiment

E6: Energetischer Antrieb beim PBB-Experiment

E7: Energiekonversion und -speicherung beim PBB Experiment

Equipment

Materialien

Chlorophyll & β -Carotin Experimente



Materialien

Photo-Blue-Bottle Experimente

LE Multi-Color LED
Rechargeable Flashlight
ca. 20 €



Chemikalien

für Workshop „Lichtlabor Pflanze“

Chemikalien für E1-E3

- Grünes Kürbiskernöl, verdünnt mit Aceton (1:1) *oder* Blattgrünextrakt z.B. in Ethanol
- Carotin-Kapseln, angestochen und Inhalt gelöst in Heptan oder Toluol

Chemikalien für die Photo-Blue-Bottle Lösung

- Proflavin hemisulfat (3,6-Diaminoacridin-hemisulfat),
CAS 1811-28-5, z. B. Sigma Aldrich; 10 g für 45 €
- Ethylviologen dibromid (1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid),
CAS 53721-12-3, z. B. Sigma Aldrich; 1 g für 46 €
- EDTA-Dinatriumsalz (Ethylendiamintetraessigsäure-dinatriumsalz),
CAS 6381-92-6, z. B. Carl-Roth; 250 g für 36 €

Experimente

E1 bis E3

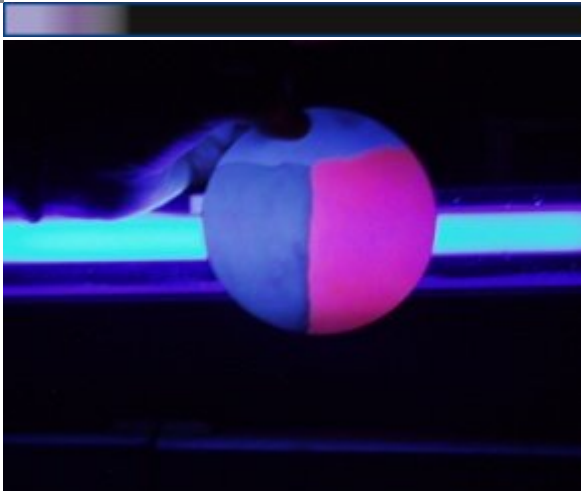
E1 Lampentest



- a) In Partnerarbeit wird die Wirkung der verschiedenen Lichtfarben der Taschenlampe (violett, rot, grün, blau, warmweiß und kaltweiß) auf die bereitgestellte "intelligenten Folie" untersucht, indem die eingeschaltete LED-Lampe mit der entsprechend eingestellten Lichtfarbe jeweils 5 Sekunden lang auf die Folie gestellt und die Färbung der Folie beobachtet wird.
- b) Die Ergebnisse werden *diskutiert* und eine Hypothese zur Erklärung dieser Ergebnisse wird *entwickelt*.

E2 Lichtabsorption und -emission

von Chlorophyll und β -Carotin



- Die eine Hälfte eines Filterpapiers wird mit der bereitgestellten β -Carotin-Lösung getränkt, die andere mit der bereitgestellten Kürbiskern-Aceton-Lösung.
- Das so präparierte Filterpapier wird bei Tageslicht und im Licht einer großen UV-LED-Taschenlampe betrachtet. Die Unterschiede werden festgestellt.

Hinweis: Die Lösungen werden auch in E3 benötigt.

E3 β -Carotin als Fluoreszenzlöscher

und Photoprotektor von Chlorophyll

Für diesen Versuch werden die beiden Lösungen aus E2 benötigt:

Lösung I: Kürbiskernöl/Aceton-Lösung bzw. Blattgrünextrakt in Ethanol

Lösung II: β -Carotin-Lösung

- Ein Rundfilter (mit Durchmesser 11 cm) wird mithilfe einer Pipette mit Lösung I auf der ganzen Fläche getränkt. Nach kurzem Trocknen bzw. Abtupfen mit Papier wird das Filterpapier unter UV-Licht betrachtet.
- Mit einem Kapillarröhrchen wird auf die Mitte des Filterpapiers ein runder Fleck (Durchmesser ca. 5 mm) aus Lösung II aufgetragen. Nach Trocknen des Lösemittels wird das Filterpapier erneut im Licht der UV-Taschenlampe betrachtet.
- Die eingeschaltete UV-LED-Taschenlampe wird mittig auf das Filterpapier gestellt und es wird 4 min lang bestrahlt.
- Die gesamte Fläche des Rundfilters wird erneut im Licht der UV-Lampe betrachtet. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandelten Flächen werden festgestellt.

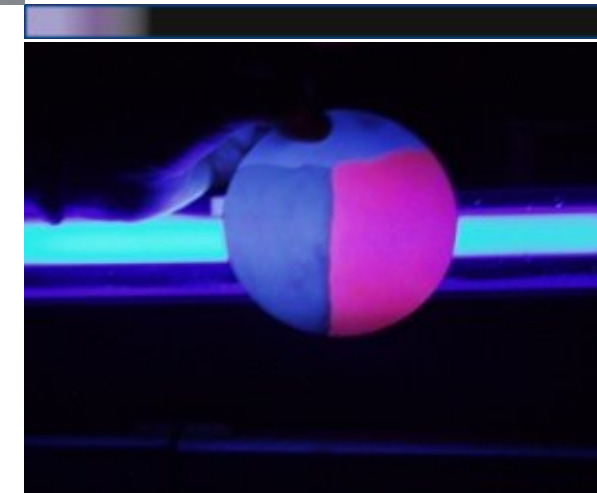
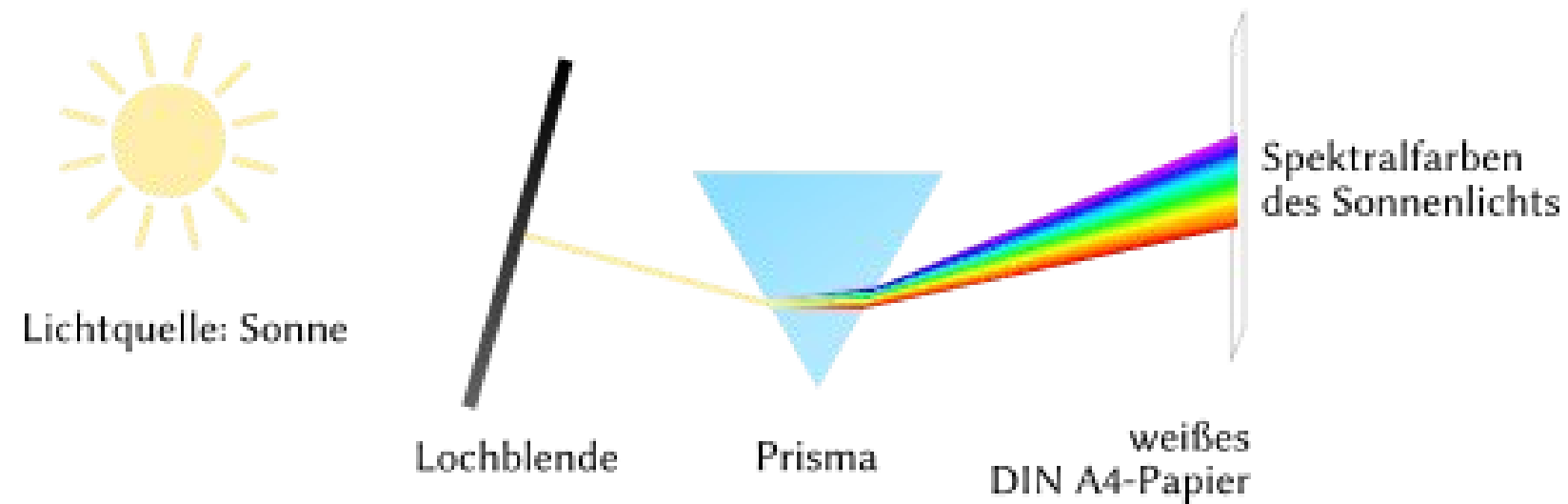


Auswertung

Sekundarstufe I

Farben und Leuchtfarben

Aufgabe A1



A1 Ergänze den Lückentext mit folgenden Begriffen:
Weißes Licht, grünes, rotes, Rotes Licht, Violett, Farben, Prismas, Regenbogens, Energieform, energiereicher, energieärmer, Spektralfarben, Spektrum, UV-LED-Lampe

..... lässt sich mithilfe eines in
alle des, zerlegen. Die
..... des weißen Lichts setzen sich wie rechts
dargestellt zusammen. Licht ist eine



Violettes Licht ist als Licht und
..... Licht.



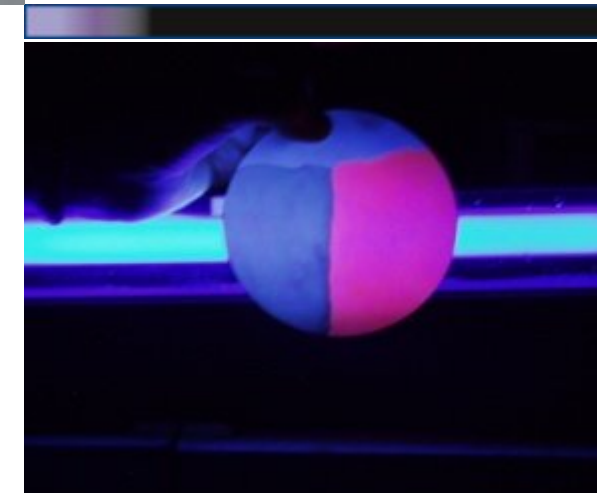
..... ist als grünes.
Die strahlt Licht aus, in dessen
..... alle Farben außer fehlen.

Farben und Leuchtfarben

Aufgabe A2

A2 Bezeichne die Aussagen mit wahr oder falsch und begründe mit deinen Beobachtungen:

- Die Farbe, in der wir einen Stoff sehen, hängt nicht von dem Licht ab, das auf den Stoff fällt.
- Im Sonnenlicht zeigen Stoffe durch **Absorption** von Licht nur **Farben** die im Sonnenlicht enthalten sind.
- Im Licht der UV-LED-Lampe erzeugen Stoffe durch **Emission** von Licht nur **Leuchtfarben (Fluoreszenz)**, die im Licht der UV-LED-Lampe enthalten sind.
- Leuchtfarben entstehen, indem Stoffe energiereicheres Licht in energieärmeres umwandeln.





Chlorophyll und β -Carotin

Aufgabe A4

A4 Bewerten Sie die folgenden Aussagen mit **w**(ahr) oder **f**(alsch) und *be-gründen* Sie mündlich mithilfe der experimentellen Beobachtungen aus E3

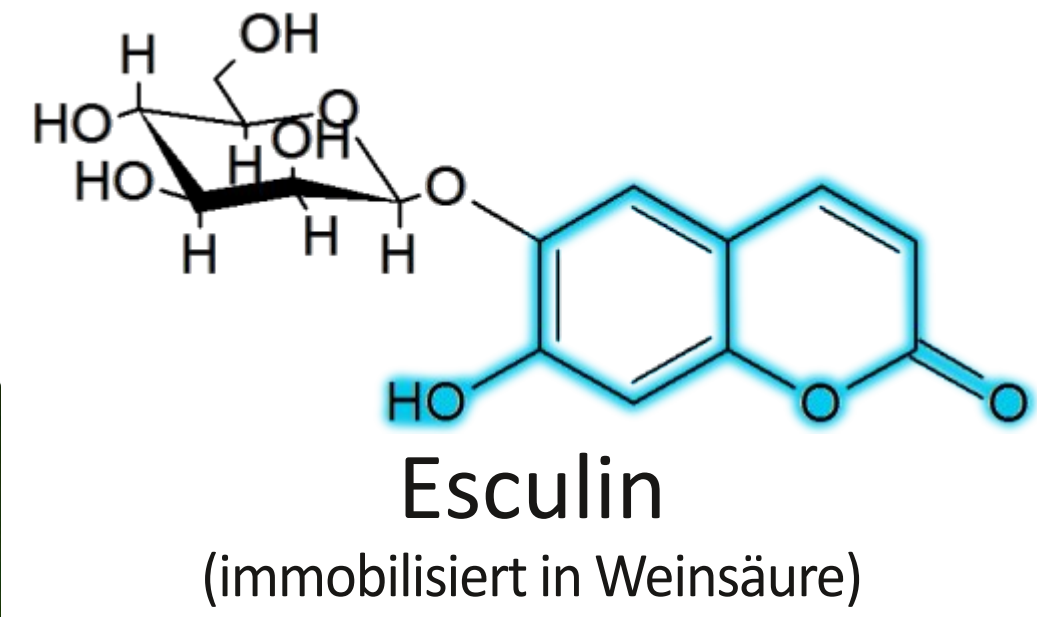
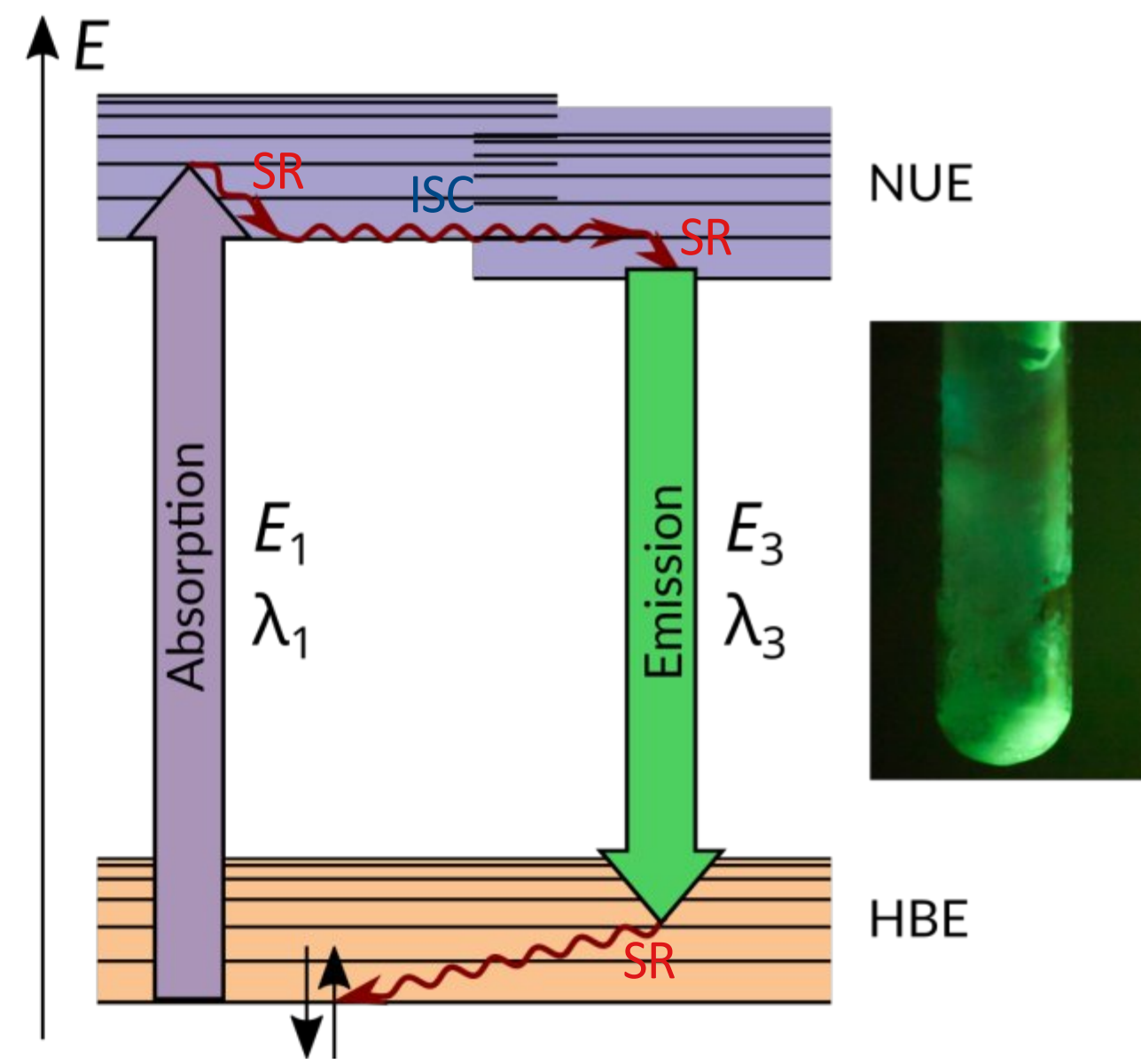
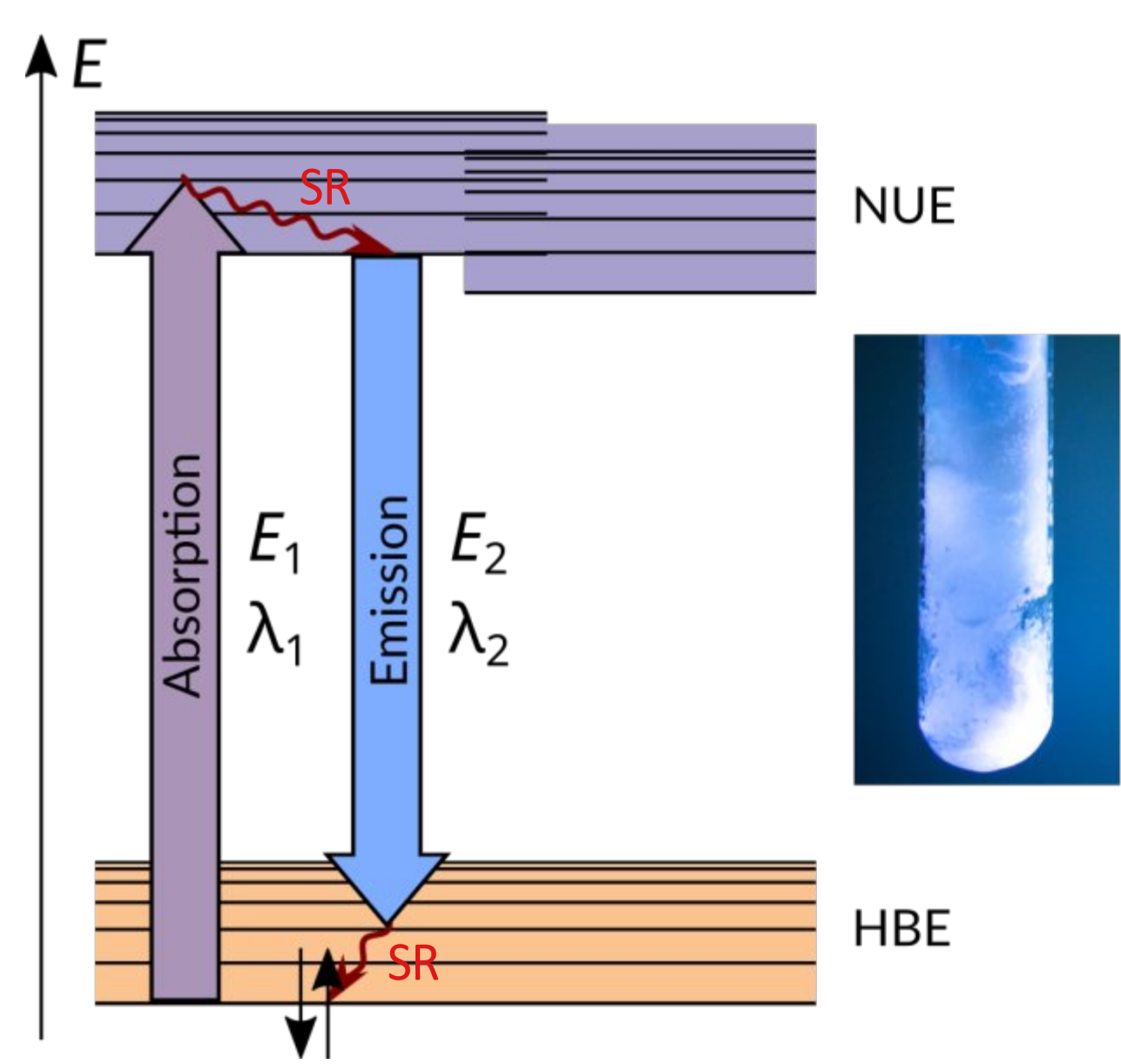
- Grünes Chlorophyll erzeugt rote Fluoreszenz.
- β -Carotin löscht die Fluoreszenz von Chlorophyll.
- Gelbes β -Carotin fluoresziert blau.
- Chlorophyll wird im starken Licht an der Luft zerstört (abgebaut).
- Chlorophyll erzeugt Fluoreszenz wenn es mit grünem Licht bestrahlt wird.
- β -Carotin beschleunigt den Abbau von Chlorophyll bei starkem Licht.
- β -Carotin hemmt den Abbau von Chlorophyll bei starkem Licht.



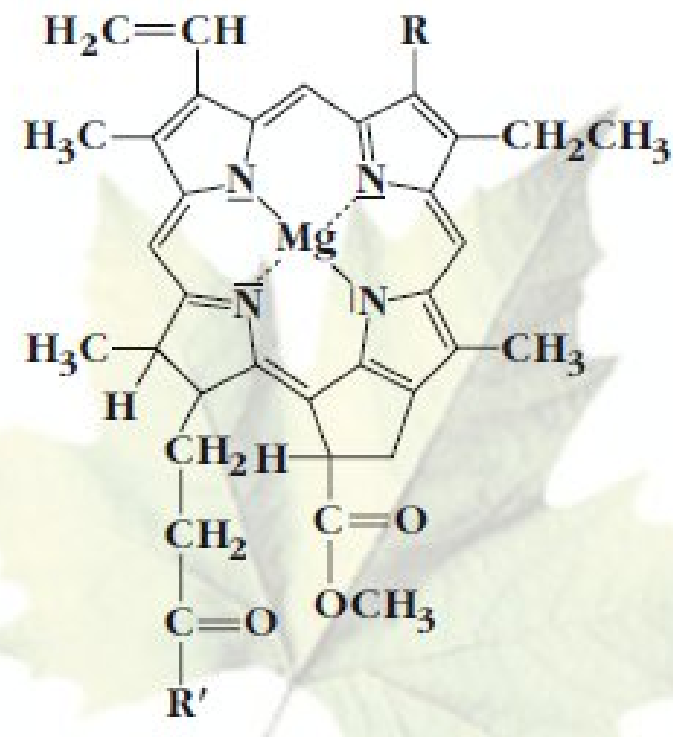
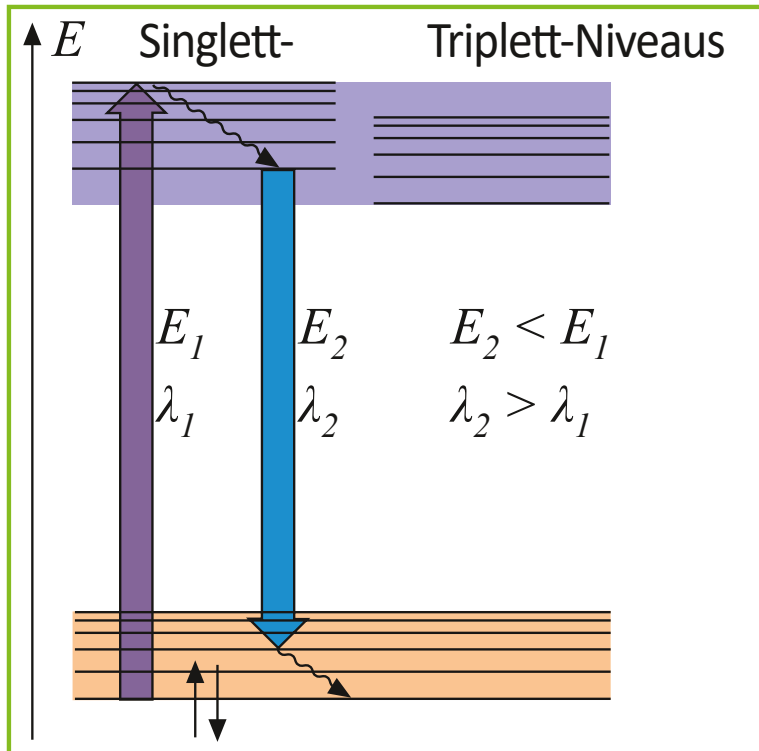
Material & Auswertung

Sekundarstufe II

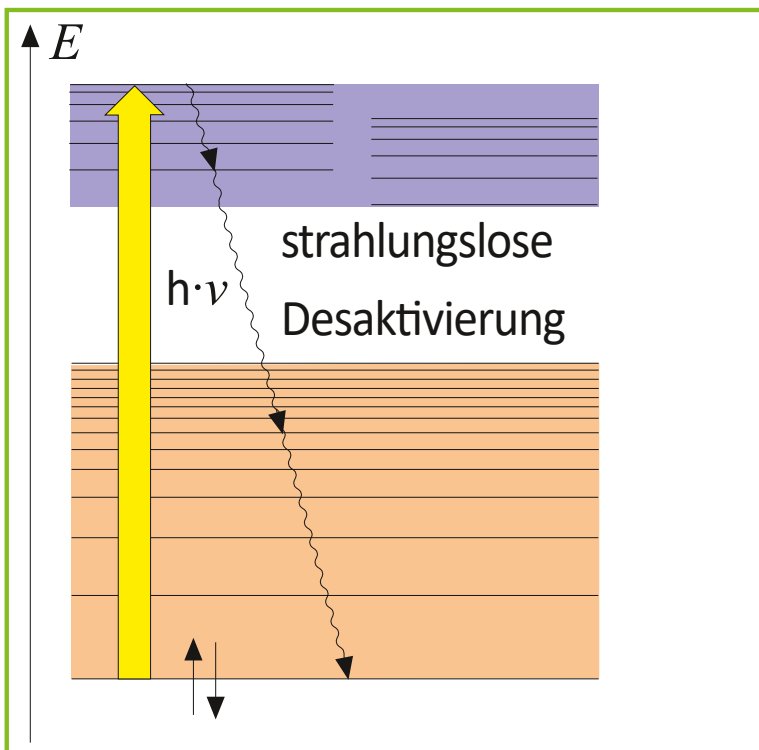
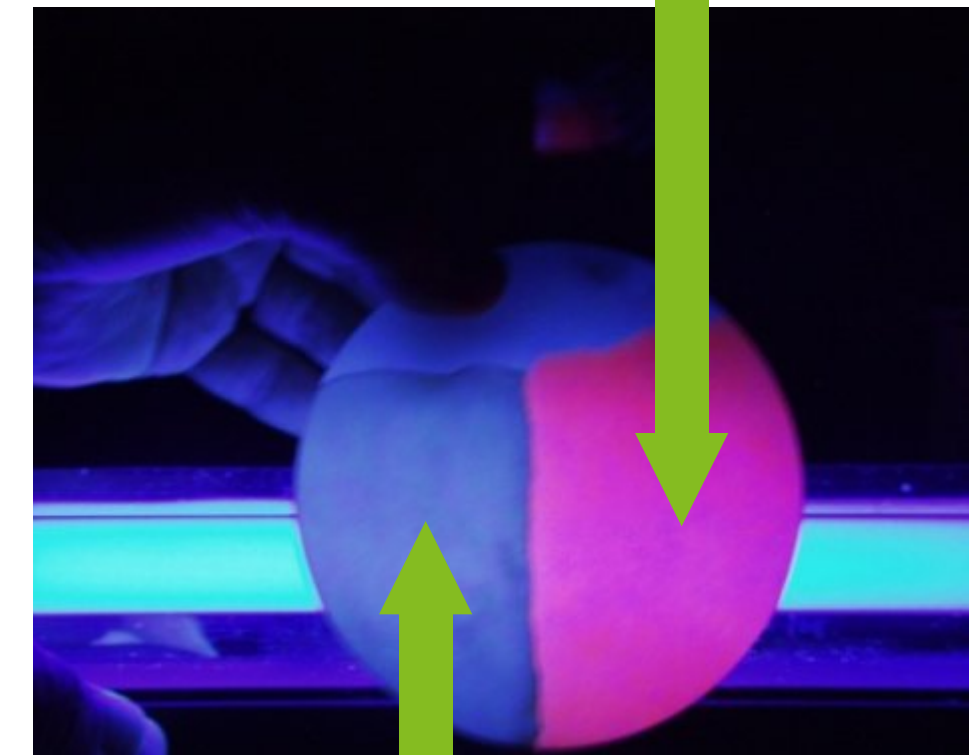
Fluoreszenz und Phosphoreszenz



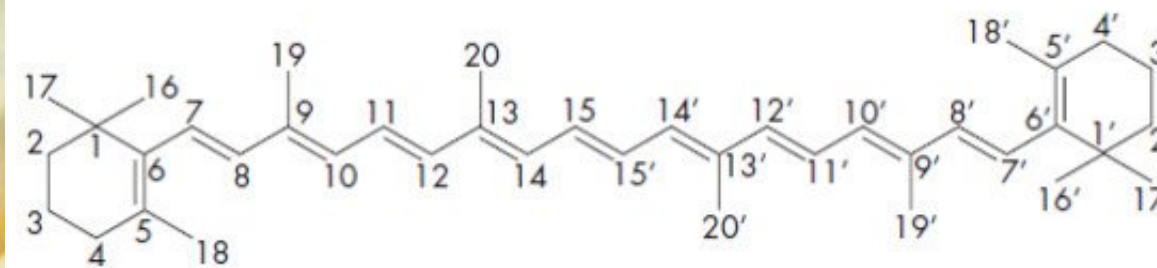
Strukturelle Voraussetzungen für Fluoreszenz



grünes Chlorophyll
fluoresziert rot



β -Carotin: keine Fluoreszenz

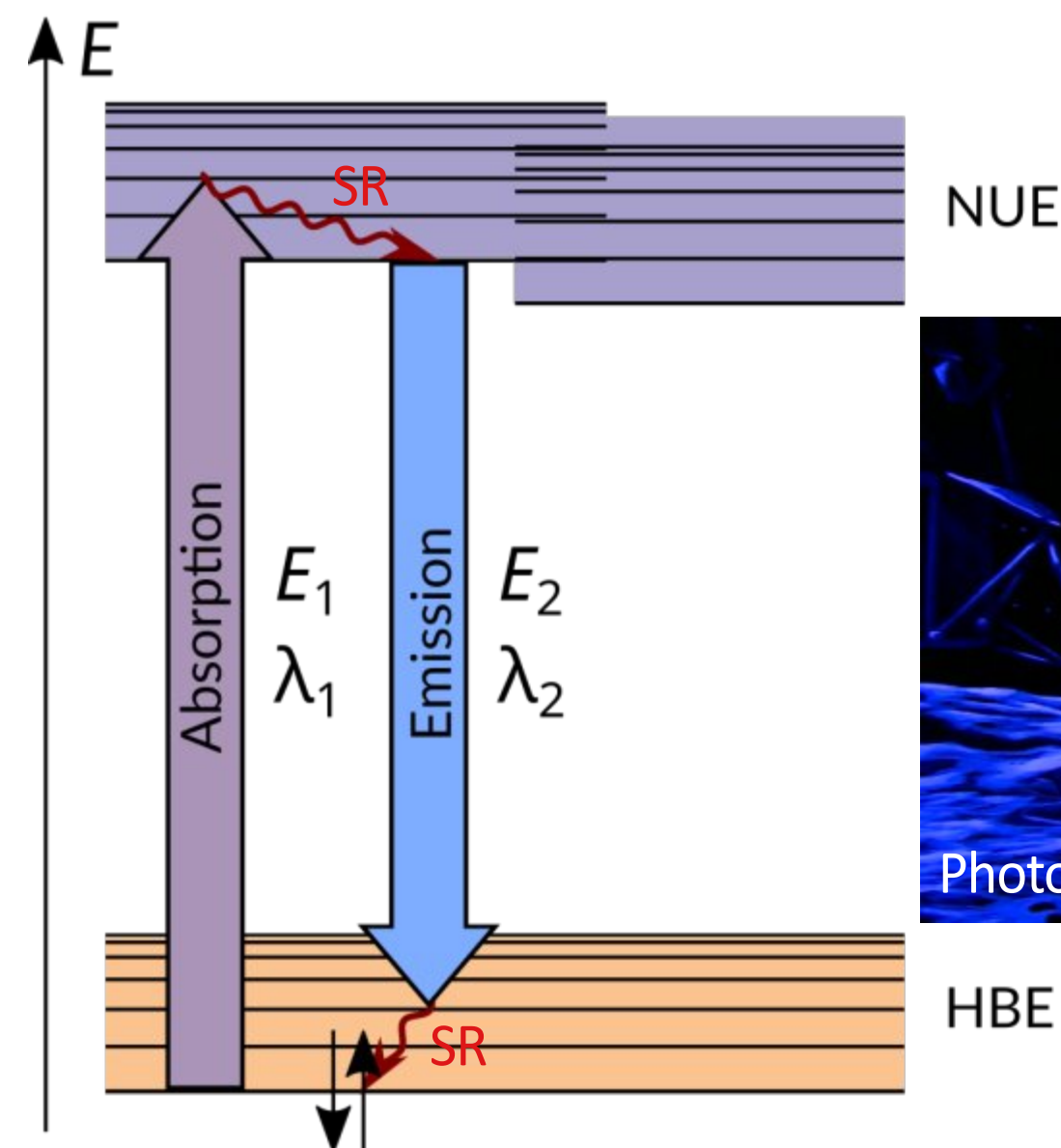


N. Meuter, S. Spinnen Y. Yurdanur, M.W. Tausch, „Photonen und Moleküle“, *CHEMKON*, Sonderheft (2017)
M.W. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.), *CHEMIE 2000+*, C.C.Buchner, Bamberg (2007...2014)

Fluoreszenz

Abwärtskonvertierung von Photonen

- A1** *Erschließen* Sie den Lehrfilm auf der Seite chemiemitlicht.uni-wuppertal.de und achten Sie dabei besonders auf die Umwandlung der Photonen bei der Fluoreszenz.
- A2** *Präsentieren* Sie den Filmausschnitt, in dem die Abwärtskonvertierung von Photonen erklärt wird und *überprüfen* Sie, ob die Erklärung auf die Farbe bei der Fluoreszenz von Chlorophyll zutrifft.
- A3** *Begründen* Sie, warum bei der Fluoreszenz gilt: $E_2 < E_1$ und $\lambda_2 > \lambda_1$.



Lehrfilm

Photosynthese – ein Fall für Zwei; Teil 2

A1 *Erschließen* Sie den Lehrfilm auf der Seite chemiemitlicht.uni-wuppertal.de und achten Sie dabei besonders auf die Umwandlung der Photonen bei der Fluoreszenz.

A2 *Präsentieren* Sie den Filmausschnitt, in dem die Eigenschaft des β -Carotins als Photoprotektor für Chlorophyll erläutert wird, und *verknüpfen* Sie die Erklärung mit Ihren Beobachtungen in dem durchgeführten Experiment.





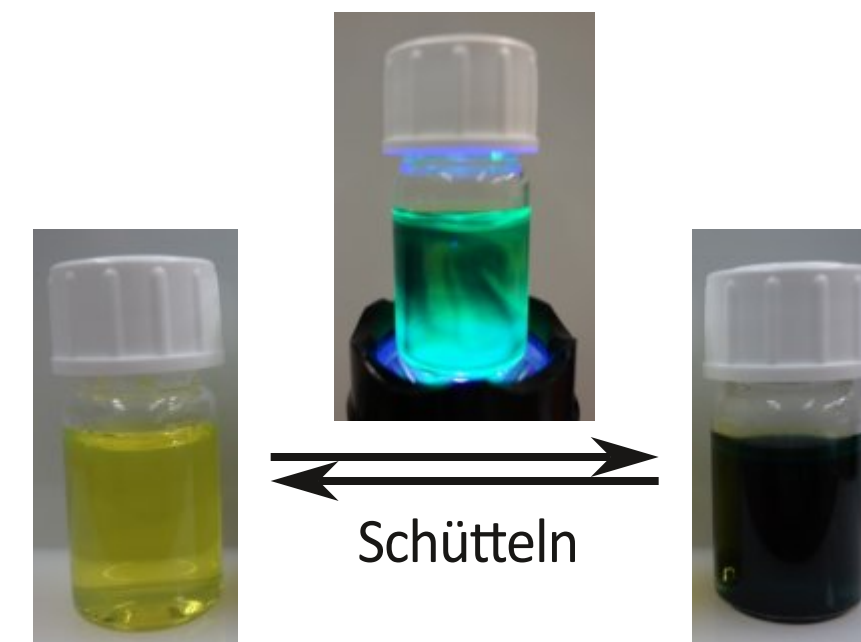
Experimente

E4 bis E7

E4 Photo-Blue-Bottle

Basisexperiment

- In ein 5 mL-Schraubdeckelgläschen werden mithilfe der Plastikpipette 4 mL PBB-Lösung gegeben. Das Gläschen wird mit der Schraubkappe verschlossen und die Lösung mit einer blauen LED-Taschenlampe* bestrahlt, indem die Lampe direkt an das Glas gehalten wird. Es kann entweder von der Seite oder vom Boden des Gläschens bestrahlt werden. Die Veränderungen in der Lösung werden beobachtet.
- Die LED-Lampe wird ausgeschaltet, wenn sich an der Lösung nichts mehr ändert. Das Gläschen wird auf dem Tisch stehen gelassen und die Lösung 20 sek lang beobachtet. Das Gläschen wird dann kräftig geschüttelt und es wird beobachtet, ob und was sich dabei ändert.
- Die Folge a) und b) wird wiederholt.



* die Bestrahlung kann auch im Freien mit Sonnenlicht durchgeführt werden

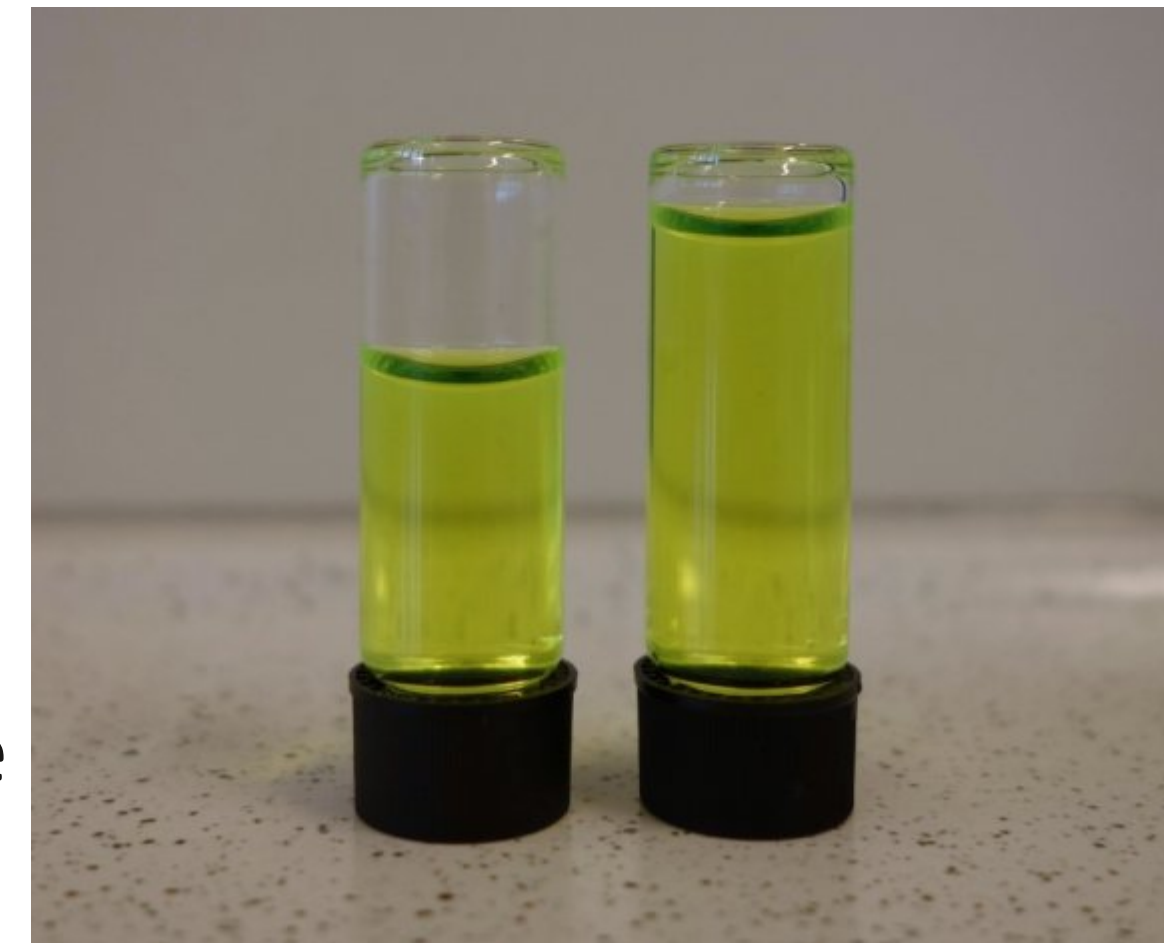
E5 Photo-Blue-Bottle

Versuchsparameter Gas

Der Zyklus Blaufärbung – Gelbfärbung wird ca. 5 mal durchgeführt. Dabei wird die Dauer der Bestrahlung bis zur Blaufärbung sowie die Dauer des Schüttelns bis zur Gelbfärbung daraufhin untersucht, ob sich diese verändern („wird länger“ bzw. „wird kürzer“).

Tipps:

- Das Schraubdeckelgläschen wird so mit PBB-Lösung gefüllt, dass nach Zuschrauben und Umkippen nur eine kleine Luftblase übrig bleibt (etwa so groß wie eine Erbse).
- Es wird mit einer Lichtquelle (Sonne bzw. blaue LED) bis zur vollständigen Blaufärbung bestrahlt. Dann wird kräftig geschüttelt, bis sich die Lösung gelb gefärbt hat.



E6 Photo-Blue-Bottle

Versuchsparameter Lichtfarbe, andere Energieformen

Es wird untersucht

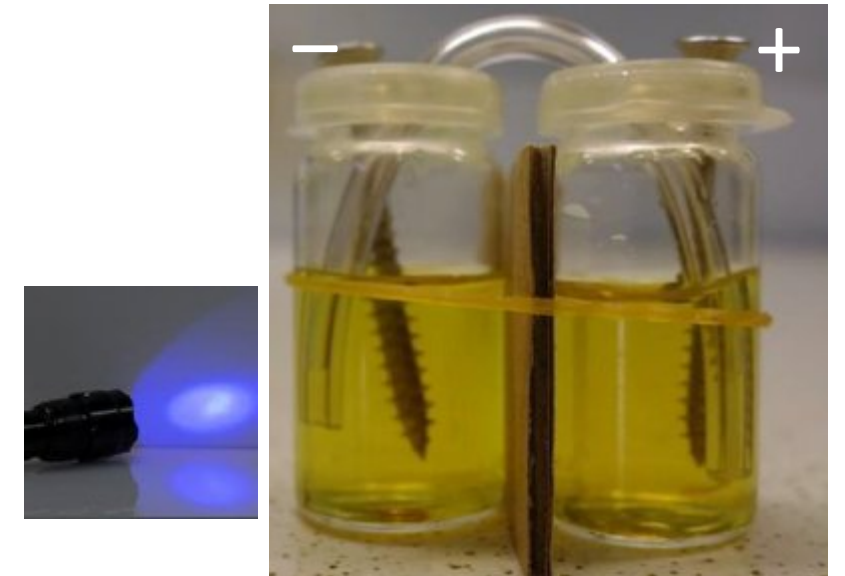
- mit welchen Lichtfarben aus LED-Taschenlampen die Blaufärbung funktioniert und mit welchen nicht.
- ob die Blaufärbung auch durch Wärmezufuhr angetrieben werden kann.



E7 Photo-Blue-Bottle

Forschung zur Energieumwandlung und -speicherung

- Die photoelektrochemische Konzentrationszelle wird nach Anleitung zusammengebaut. Die zu bestrahlende Halbzelle wird an den Minuspol des Voltmeters angeschlossen.
Die Schnappdeckelgläschen sollen zu etwa 2/3 mit PBB-Lösung gefüllt sein.
- Die Bestrahlung wird eingeschaltet. Der Spannungsverlauf während der Blaufärbung in der linken Halbzelle wird beobachtet und notiert.
- Das Licht wird ausgeschaltet, wenn die Lösung in der linken Halbzelle komplett blau ist. Spannung und Farbe der Lösung werden ca. 2 min lang beobachtet.
- Die Konzentrationszelle wird auf der Tischfläche hin- und herbewegt, damit Luft in die Lösung eingetragen wird. Die Farbe der Lösung und der Spannungsverlauf werden dabei beobachtet.

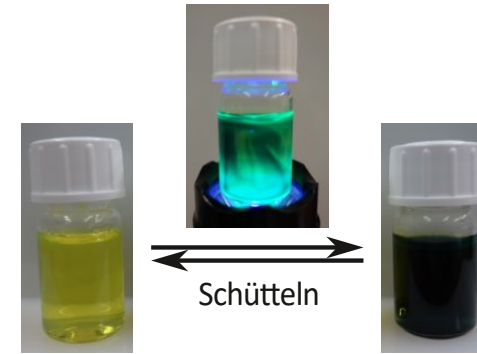


Auswertung

Sekundarstufe I

Photo-Blue-Bottle

Aufgabe A5



A4 Bewerten Sie die folgenden Aussagen mit **w**(ahr), **f**(alsch) oder **?**(unsicher). *Begründen* Sie mündlich mithilfe der experimentellen Beobachtungen aus E4, E5 und E6. *Planen* Sie Versuche, mit denen es möglich ist, die mit **?**(unsicher) bewerteten Aussagen zu klären, d.h. auch hier mit **w**(ahr) und **f**(alsch) zu bewerten.

- Die Reaktion Gelb \rightarrow Blau benötigt Energiezufuhr, die Reaktion Blau \rightarrow Gelb benötigt Luft.
- Die Reaktionszyklen Gelb \rightarrow Blau \rightarrow Gelb in E4 sind mindestens 10-mal wiederholbar.
- Die Reaktion Gelb \rightarrow Blau funktioniert mit Licht jeder Farbe aus dem sichtbaren Spektrum.
- Die Reaktion Blau \rightarrow Gelb findet nicht statt, wenn keine Luft über der Lösung vorhanden ist.
- Die Reaktion Gelb \rightarrow Blau verläuft bei Energiezufuhr in Form von Licht oder Wärme.
- Die Reaktion Blau \rightarrow Gelb benötigt Sauerstoff.
- Die Reaktion Blau \rightarrow Gelb verläuft unter Freisetzung von Energie.
- Die Reaktionszyklen im Photo-Blue-Bottle Experiment entsprechen dem natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung.

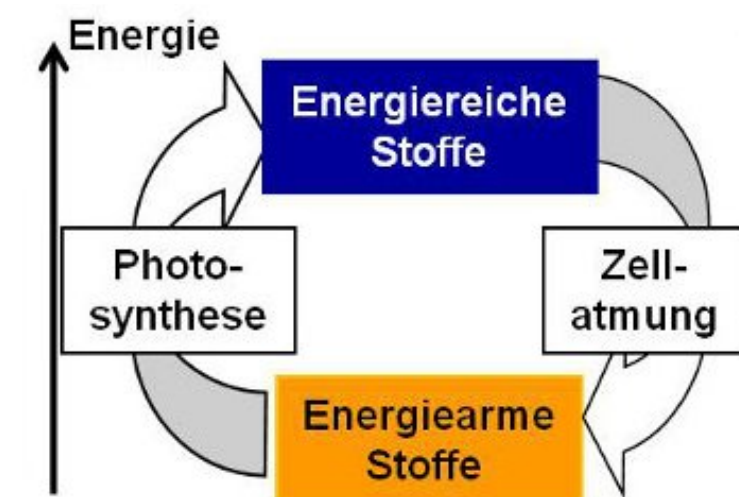
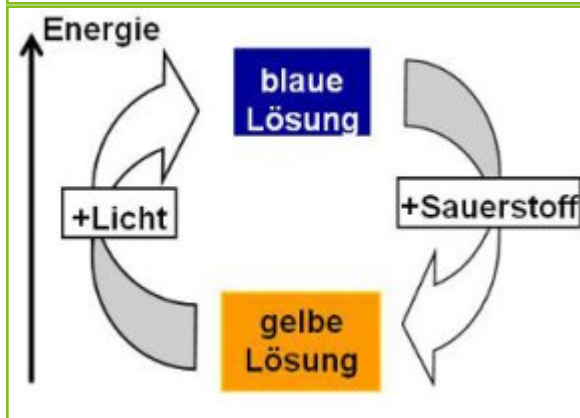


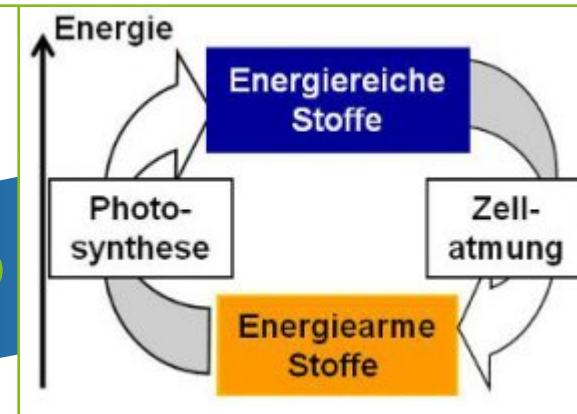
Photo-Blue-Bottle

Aufgabe A6

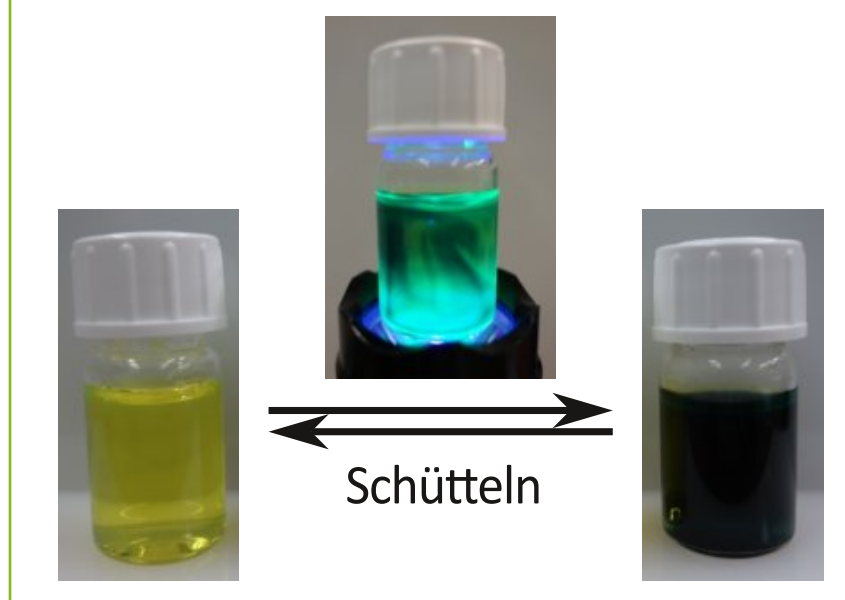
3. Ist dieses Schema den Fakten aus dem PBB-Experiment **angepasst**? Wenn ja, warum?



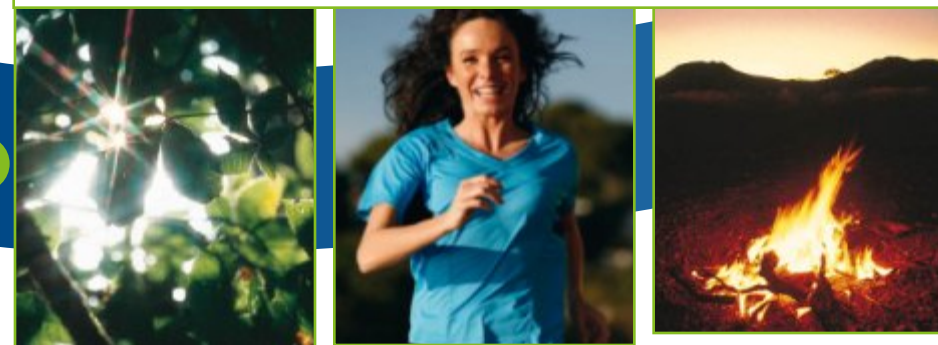
4. Die **Anwendung** der experimentellen Fakten führt zu dieser Erkenntnis. Ist sie für mich neu?



2. Welche **experimentellen Fakten** bestätigen und welche widerlegen mein Vorwissen?



1. **Was wusste ich vor** diesem Forschertag über den Zusammenhang: Photosynthese-Atmung-Verbrennung



A6 Nehmen Sie der Reihe nach *Stellung* zu den vier Fragen in der Lernschleife.

Lehrfilme

Photosynthese – Ein Fall für Zwei



Lehrfilme online auf chemiemitlicht.uni-wuppertal.de abrufbar.

Hinweis: Die Filme können auch mit Klassen aus der Sek. I angeschaut und besprochen werden (Vergleich der Experimente aus dem Film mit den durchgeführten Experimenten).

Arbeitsblatt

Photo-Blue Bottle

Sek. I

Photo-Blue-Bottle

Ein Modellexperiment für Stoff- und Energieumsätze

benötigtes
Vorwissen

Oxidation als Sauerstoff-
aufnahme (und Reduktion)

Luftzusammensetzung

Reaktionsschemata

Photosynthese (Biologie)

Photo-Blue-Bottle-Experiment

E1 Untersuche mit den dir bereitgestellten Geräten (Heizplatte, Taschenlampe mit Farbwechsel, UV-Taschenlampe), mit welchen Energieformen (Wärme, Licht) du eine Stoffumwandlung (chemische Reaktion) in dem Schraubdeckelglas antreiben kannst. Dabei solltest du die Bildung eines blauen Stoffes in der gelben Lösung beobachten. Dokumentiere deine Beobachtungen mithilfe der Tabelle.

Hinweis: Lichtfarben des sichtbaren Spektrums



Energieform	Farbe/Temperatur	Beobachtung

Photo-Blue-Bottle: G → B

Photo-Blue-Bottle: B → G

E2 Bewerte die folgenden Aussagen mit **w**(ahr), **f**(alsch) oder **u**(nsicher). Begründe mit Hilfe von experimentellen Beobachtungen. Plane Experimente mit denen ist möglich ist die mit **u** bewerteten Aufgaben zu klären.

Die Reaktion Gelb(e Lösung) → Blau(e Lösung) ...

- ... benötigt Energiezufuhr.
- ... funktioniert mit jeder Farbe aus dem sichtbaren Licht.
- ... findet nicht statt, wenn keine Luft über der Lösung ist.
- ... läuft nur bei Temperaturen über 5 °C ab.
- ... verläuft unter Freisetzung von Energie.
- ... benötigt keine Luft.

Die Reaktion Blau(e Lösung) → Gelb(e Lösung) ...

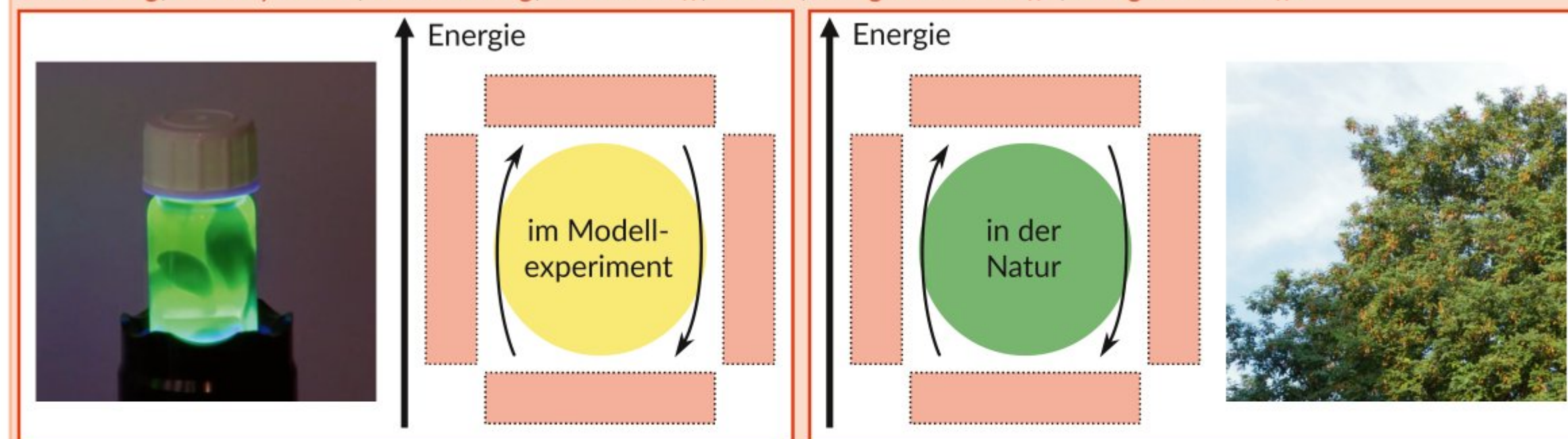
- ... verläuft durch einfaches Schütteln.
- ... verläuft auch, wenn keine Luft über der Lösung ist.
- ... läuft **nicht** bei Energiezufuhr in Form von Licht ab.
- ... benötigt Luft.
- ... verläuft unter Freisetzung von Energie.
- ... benötigt nur den Sauerstoff aus der Luft.

Arbeitsblatt

Photo-Blue Bottle

Auswertung: Von Photo-Blue-Bottle zur Photosynthese

A1 Die Reaktionszyklen Gelb → Blau → Gelb im Photo-Blue-Bottle Experiment sind ein Modell für den natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung. Ergänze die Rechtecke in der Abbildung mit folgenden Begriffen: *gelbe Lösung*, *Zellatmung*, *Photosynthese*, *blaue Lösung*, *+ Sauerstoff*, *+ Licht*, *energiereiche Stoffe*, *energiarme Stoffe*



A2 Entscheide und begründe, welche der Pfeile in den Abbildungen von A1 eine Oxidation und welche eine Reduktion darstellen.

A3 Gib Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem Modellexperiment und dem natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung an.

A4 Beurteile das Modellexperiment, indem du Vor- und Nachteile nennst.

Für besonders Schnelle:

A5 Nenne alle Energieformen, die du bisher in den naturwissenschaftlichen Fächern kennengelernt hast. Gib eine Einsatzmöglichkeit und die Funktion der jeweiligen Energieform an.

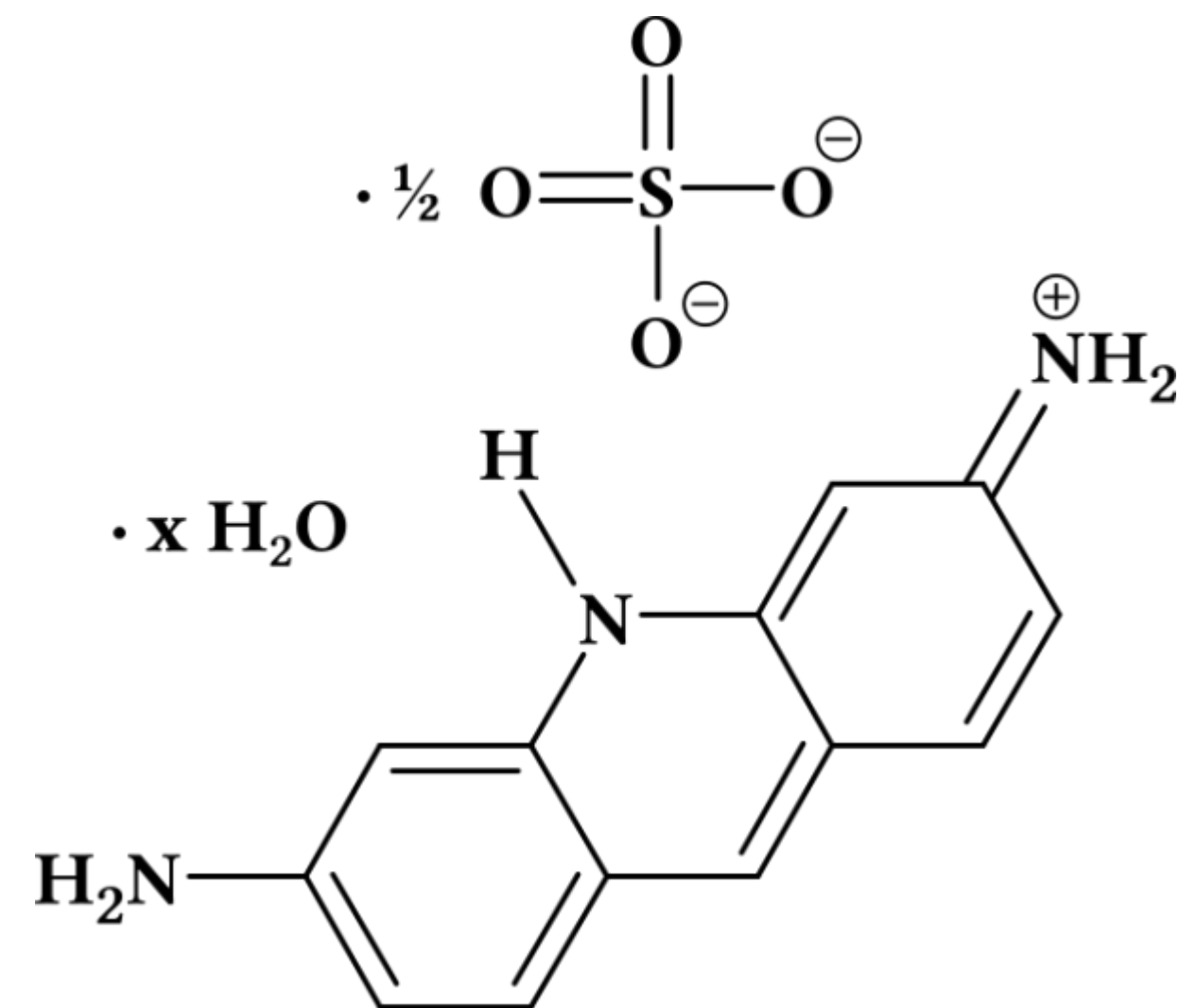
Material & Auswertung

Sekundarstufe II

Chemikalien

im Photo-Blue Bottle Experiment

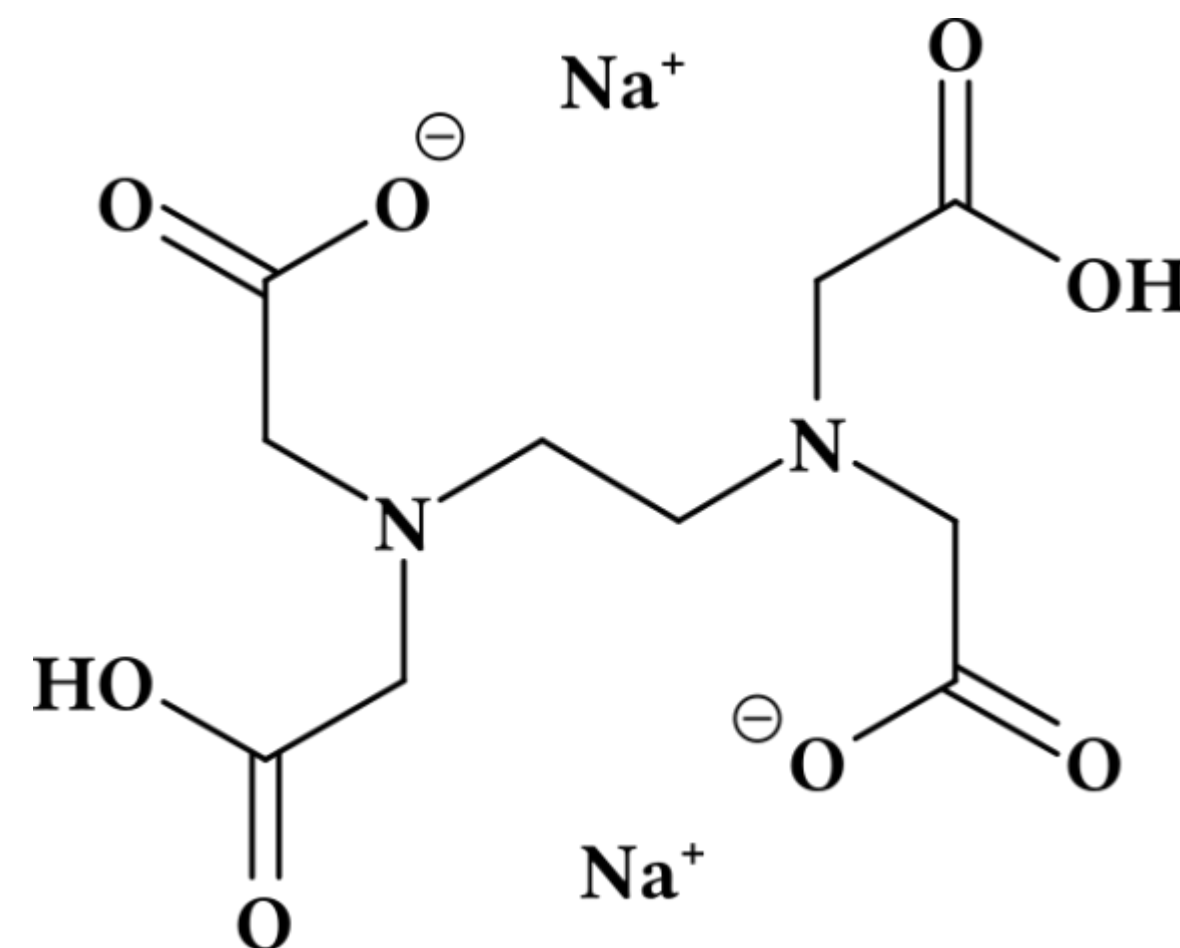
A1 Erklären Sie, warum die Chemikalien Proflavin, Ethylviologen und EDTA wasserlöslich sind.



Photokatalysator

Proflavin PF⁺

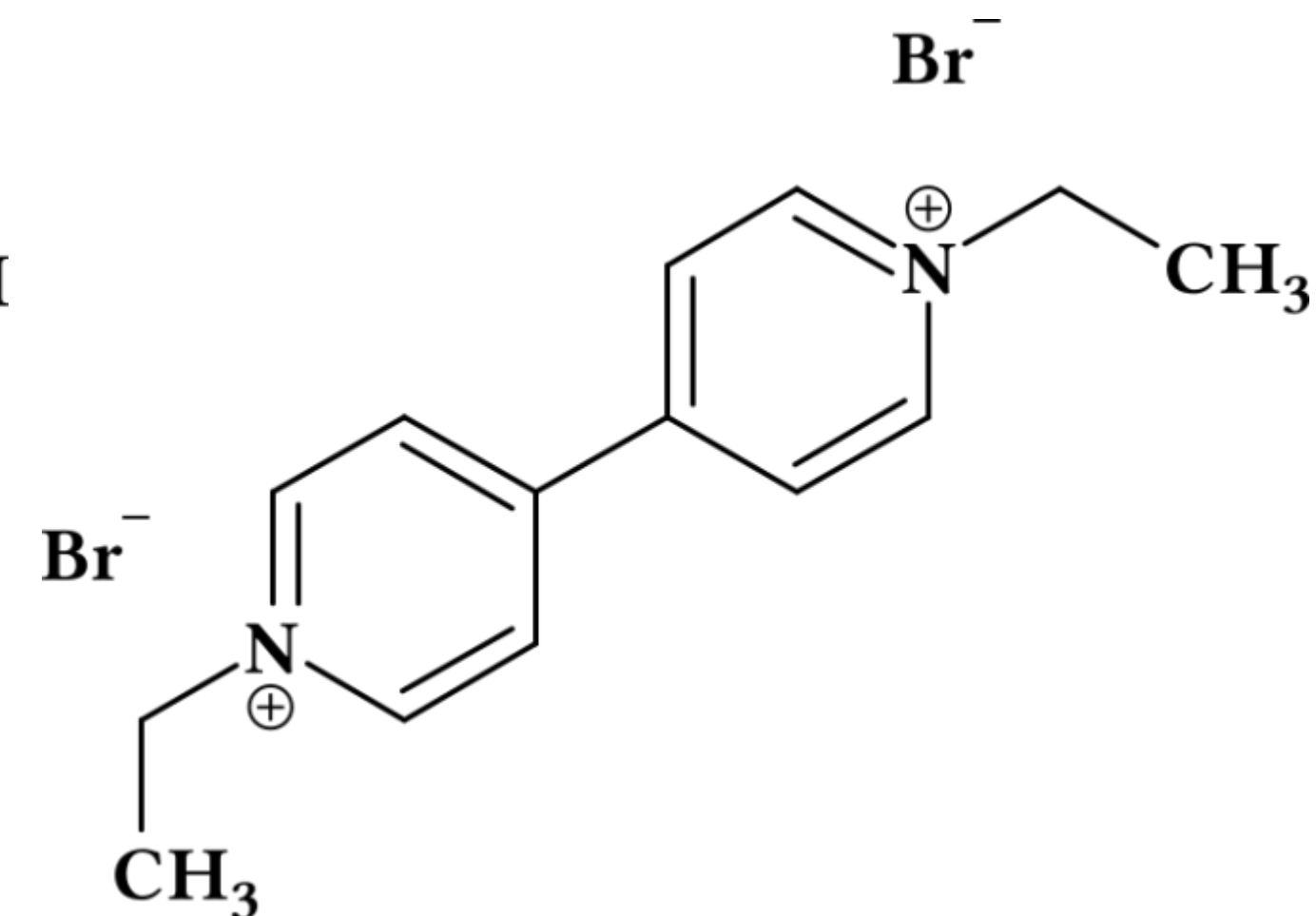
Diaminoacridin-hemisulfat



Opferdonor

EDTA

Ethylendiaminotetraessigsäure-dinatriumsalz



Substrat

Ethylviologen EV²⁺

1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid

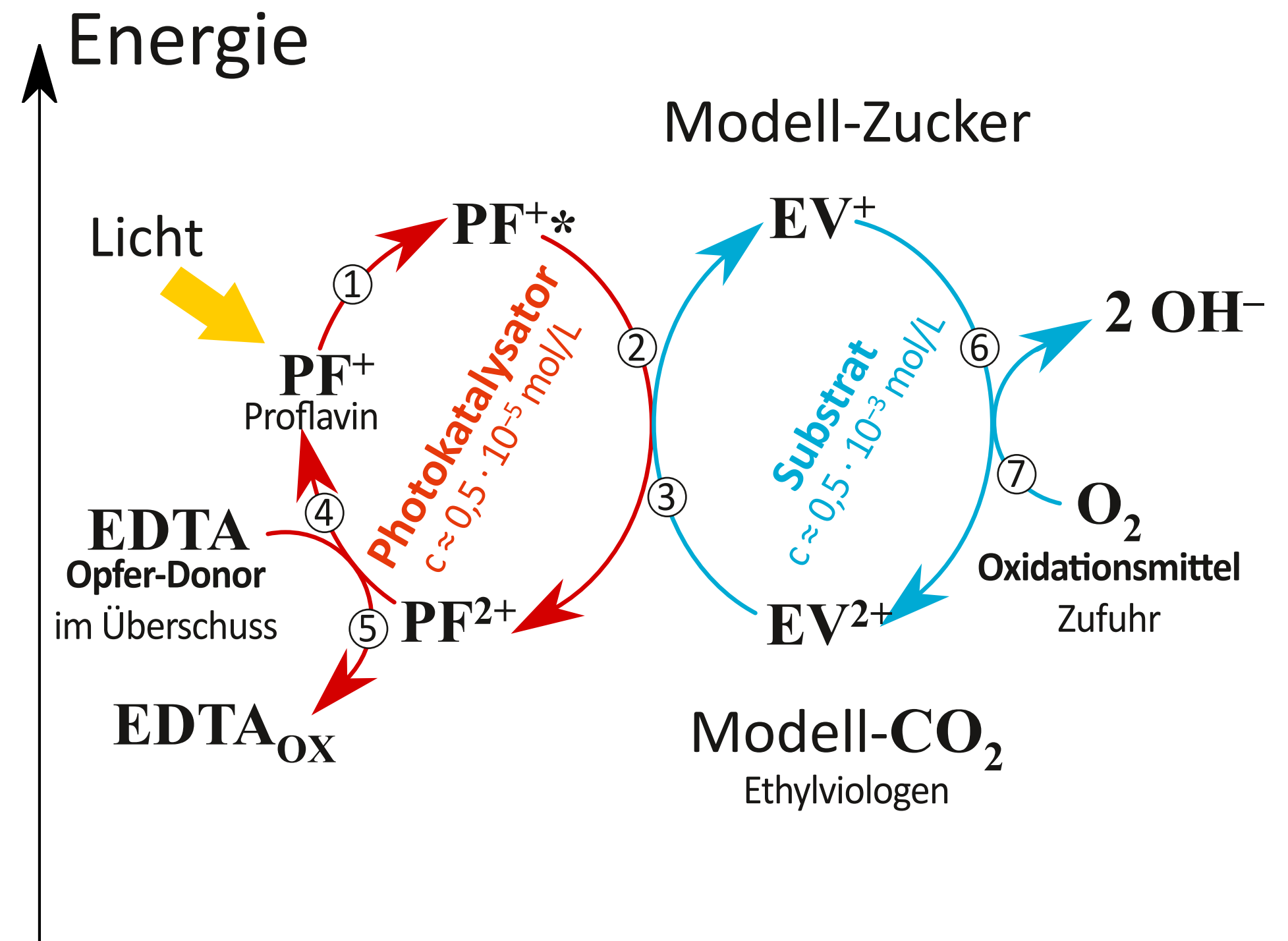
3 Chemikalien + Luft + Wasser

Gekoppelte Reaktionszyklen

beim Photo-Blue Bottle Experiment

A2 Ordnen Sie die folgende Begriffe den passenden Zahlen auf den Pfeilen zu:

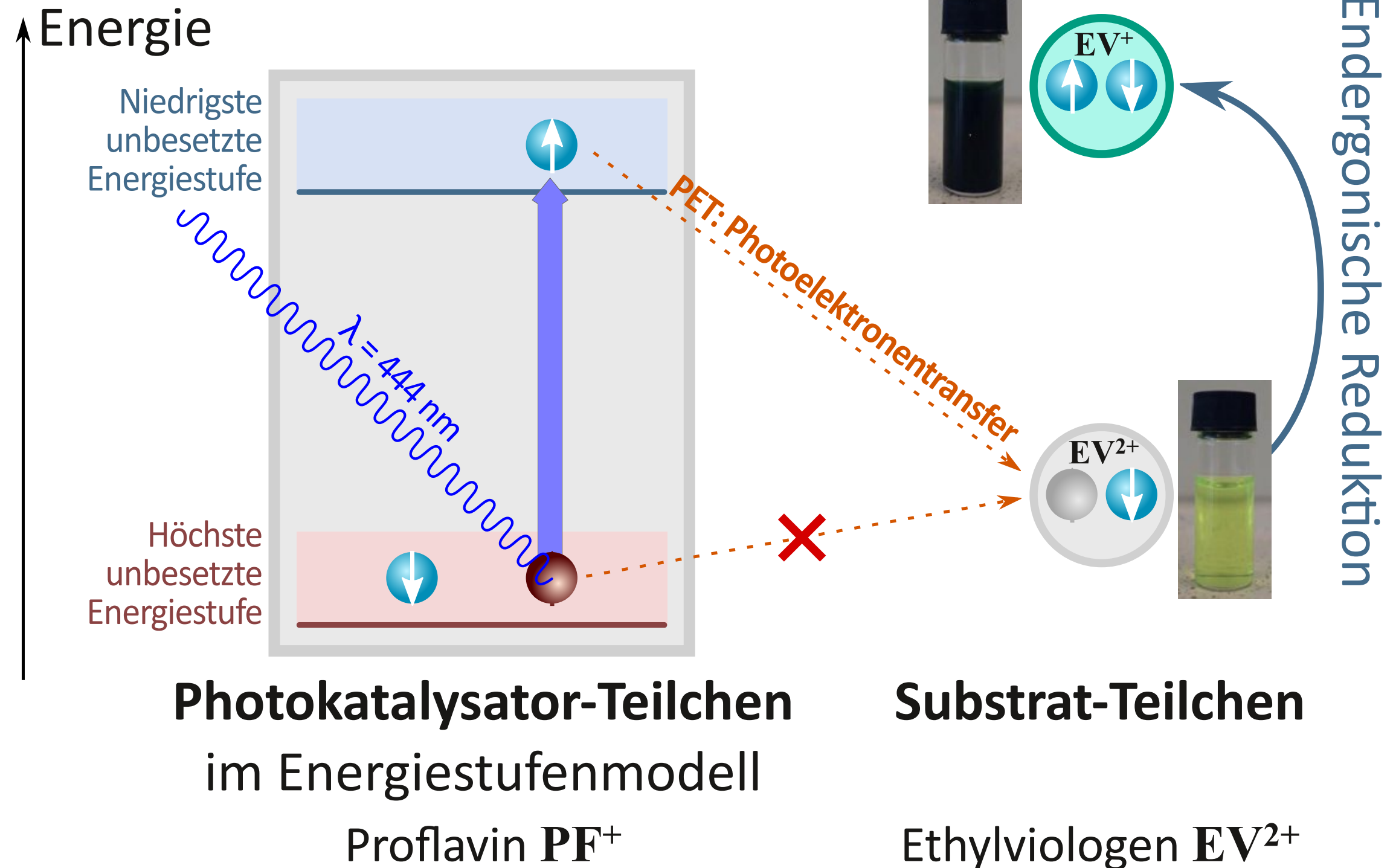
- Reduktion des Substrats EV^{2+} ,
- elektronische Anregung des Photokatalysators,
- Oxidation des reduzierten Substrats EV^+ ,
- Elektronenübergang vom angeregten Photokatalysator auf das Substrat.



Photokatalyse

bei einer Photoredoxreaktion

A3 Beschreiben Sie die Folge der Reaktionsschritte bei der photokatalytischen Reduktion von EV^{2+} zu EV^+ . Erklären Sie, warum die Reduktion von EV^{2+} zu EV^+ erst nach der Absorption eines Photons (Lichtquants) erfolgen kann.

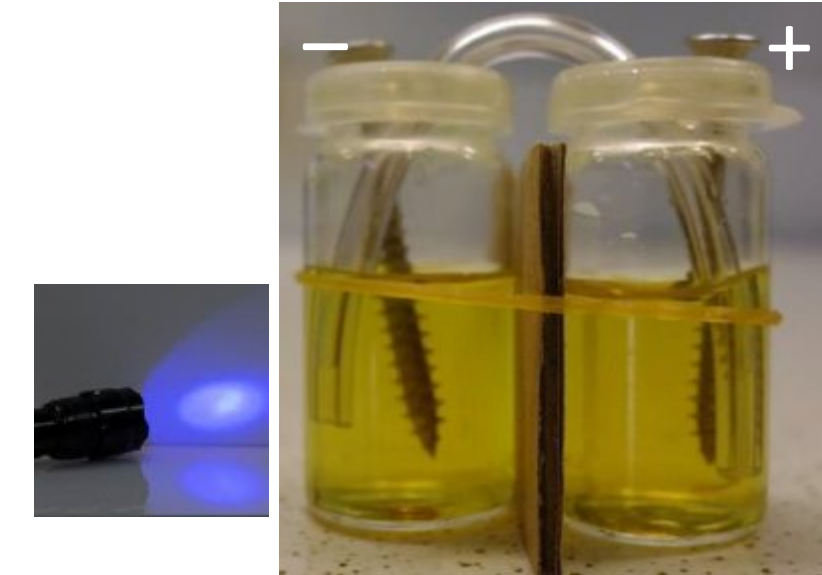


Energiekonversion und -speicherung

beim Photo-Blue Bottle Experiment



$$E = E_0 + \frac{0,059 \text{ V}}{z} \cdot \lg \frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}$$



A4 Begründen Sie mithilfe der NERNST-Gleichung, warum die bestrahlte Halbzelle an den Minuspol des Digitalvoltmeters angeschlossen wird.

A5 Erläutern Sie, warum die PBB-Konzentrationszelle als „Solarakku“ bezeichnet werden kann.

A6 Berechnen Sie das Verhältnis $c(\text{Red}) : c(\text{Ox})$ im PBB-Experiment, wenn in der Konzentrationszelle eine Spannung von $U = 300 \text{ mV}$ gemessen wird.

Spannungsverlauf bei mehreren Zyklen in E7

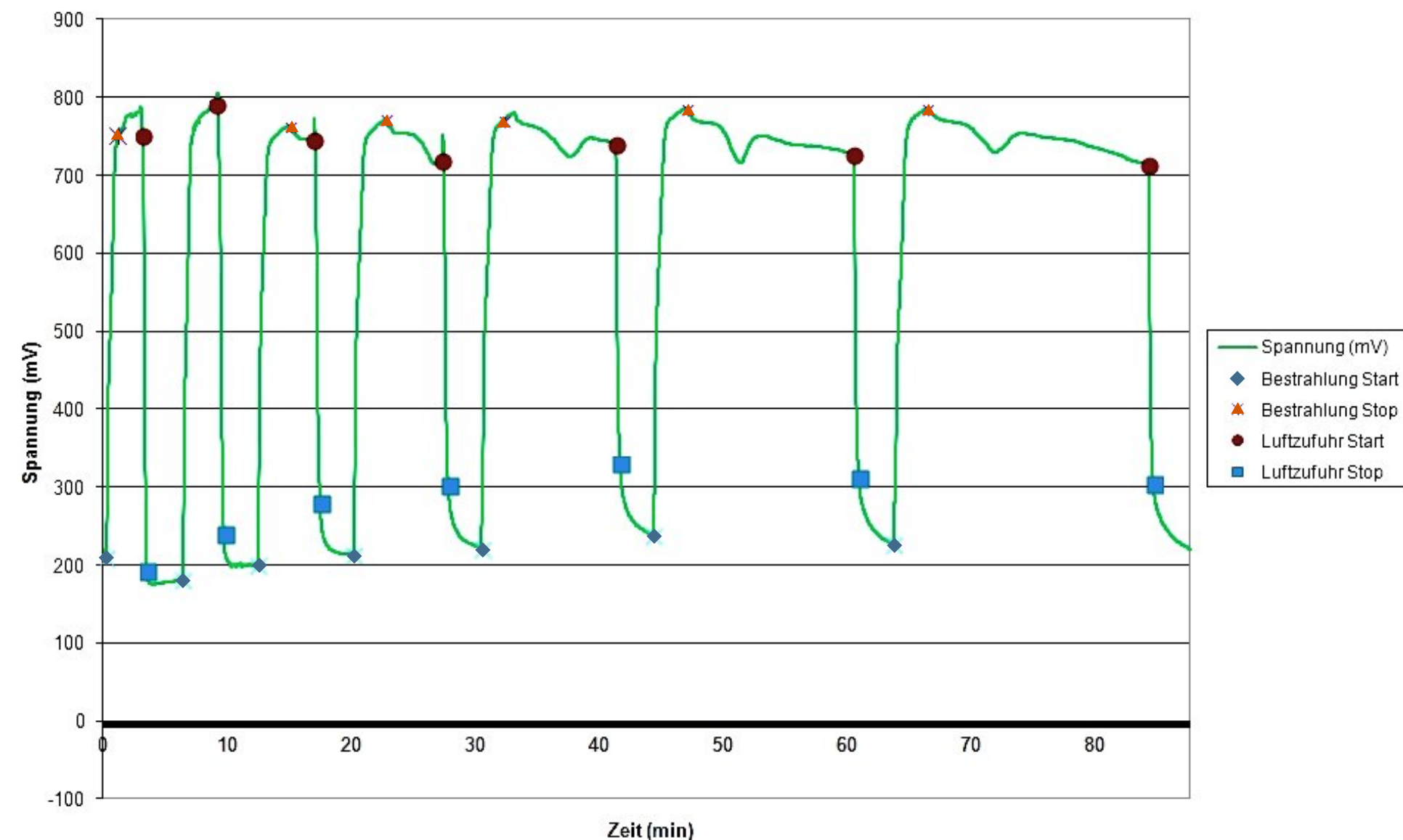
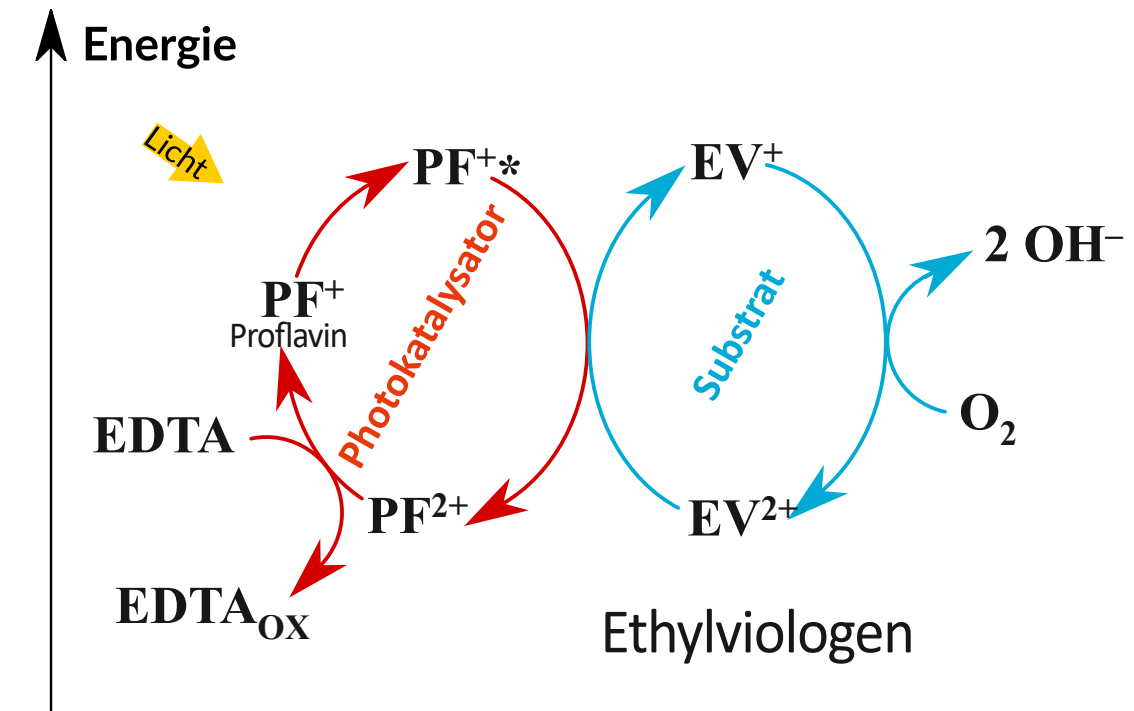


Photo-Blue-Bottle

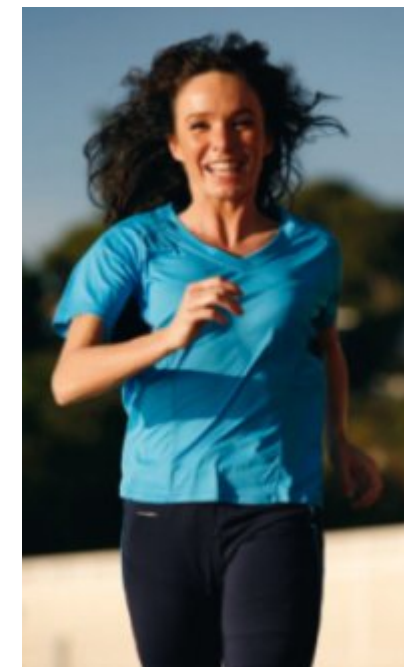
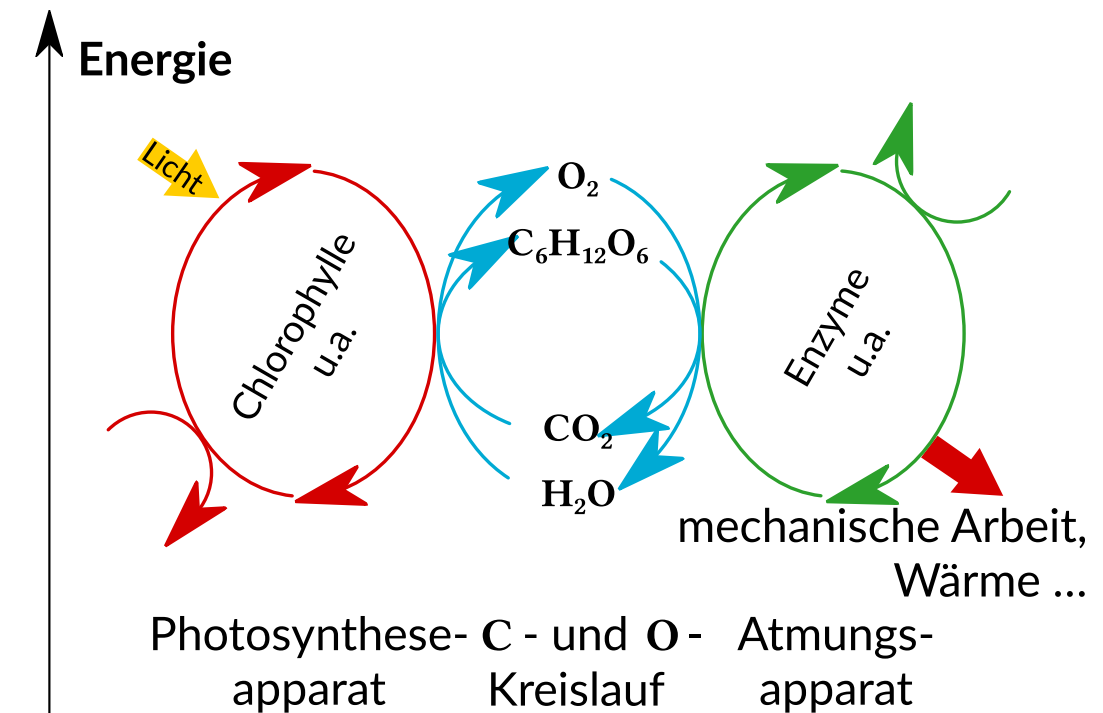
Modellexperiment für Photosynthese/Atmung?

A7 Nennen Sie die sich entsprechenden Stoffe und Stoffkreisläufe beim PBB-Experiment und beim Kreislauf Photosynthese/Atmung. Erläutern Sie, warum PBB ein **Modellexperiment** ist.

Experiment



Natur



Analogien

A8 Erläutern

Sie die angeführten Analogien

A9 Nennen

Sie Unterschiede.

Photosynthese/Atmung

Wirklichkeit

Phänomene

Beteiligung von:

- a) farbigen Stoffen (Chl, Car u.a.)
- b) Gasen und gelösten Stoffen
- c) Licht u.a. Energieformen

Stoffkreisläufe, Stoffe

- a) Kreisläufe von C, O, Chl, ...
- b) Sauerstoffverbrauch bei der Ox.

Reaktionstypen, Energiekonversion

- a) Reduktion - enderg. / Licht
- b) Oxidation - exerg. / Wärme, Arbeit, ...
- c) Anregung, Photoelektronentransfer

Photo-Blue-Bottle

Modellexperiment

Phänomene

Beteiligung von:

- a) farbigen Stoffen (PF, EV)
- b) Gasen und gelösten Stoffen
- c) Licht u.a. Energieformen

Stoffkreisläufe, Stoffe

- a) Kreisläufe von EV und PF
- b) Sauerstoffverbrauch bei der Ox.

Reaktionstypen, Energiekonversion

- a) Reduktion - enderg. / Licht
- b) Oxidation - exerg. / Wärme, Arbeit, ...
- c) Anregung, Photoelektronentransfer

Unterschiede

A10

Erläutern
Sie die an-
geführten
Unter-
schiede.

Photosynthese/Atmung
Wirklichkeit

Offenes System
C- und O-Kreislauf
Viele Stoffe und Reaktionsschritte

Photo-Blue-Bottle
Modellexperiment

Geschlossenes System
C-Kreislauf
Wenig Stoffe und Reaktionsschritte

Arbeitsblatt

Photo-Blue Bottle

Sek. II

Photo-Blue-Bottle

Ein Modellexperiment zur Energieumwandlung und -speicherung in einer lichtgetriebenen Konzentrationszelle

benötigtes Vorwissen

galvanische Zelle

Konzentrationszelle

Photosynthese (Biologie, Sek. I)

NERNST-Gleichung (nur für E3)

P(hoto)-B(lue)-B(ottle)-Basisexperiment

PBB – Lehrfilmanalyse

L1



Recherchieren Sie im Lehrfilm „Ein Fall für Zwei – Teil1“ die sich entsprechenden Stoffe und Stoffkreisläufe beim PBB-Experiment und beim natürlichen Kreislauf Photosynthese*/Zellatmung* und unterscheiden Sie zwischen energiereichen und energiereichen Stoffen.

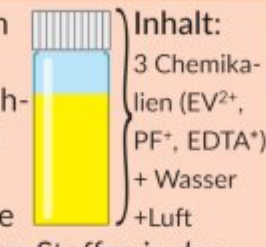
L2 Maßgeblich für die Konzentrationszelle ist das Verhältnis $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)}$ des Substrats. Skizzieren und beschriften Sie in Anlehnung an den Lehrfilm einen Versuchsaufbau zur photoelektrochemischen Konzentrationszelle*. Stellen Sie die Oxidations- und Reduktionsreaktion des Substrats dar.

L3 Beschreiben Sie den Vorgang der Energieumwandlung und -speicherung in der photoelektrochemischen Konzentrationszelle.

L4 Erklären Sie den Zusammenhang zwischen der galvanischen Zelle aus dem Lehrfilm und der Photosynthese.

Für besonders Schnelle:
L5|E5 Zeigen Sie Grenzen des Modellexperiments* auf.

B1 Untersuchen Sie mit den Ihnen bereitgestellten Geräten (Heizplatte, Taschenlampe mit Farbwechsel, UV-Taschenlampe), wie Sie im Schraubdeckelglas eine Stoffumwandlung antreiben können. Diese wird durch die Bildung eines blauen Stoffes in der gelben Lösung sichtbar.



Hinweis: Lichtfarben des sichtbaren Spektrums

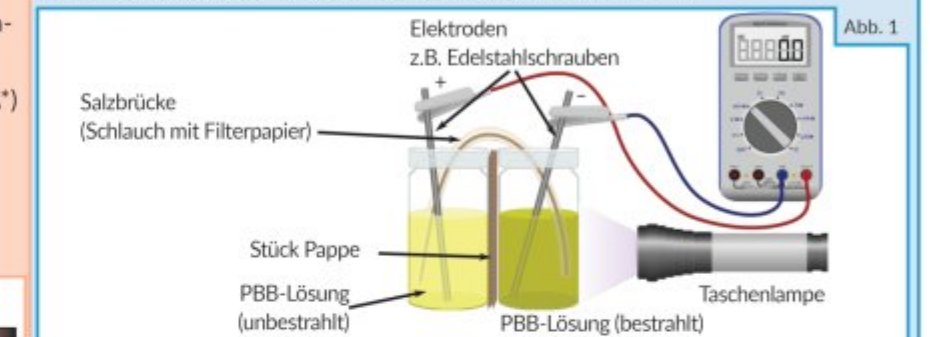


B2 Wahre oder Falsche Aussage? Überprüfen Sie Ihre Entscheidungen jeweils, wenn möglich, experimentell oder schlagen Sie ein Experiment vor.

- Die Reaktion Gelb(e Lösung) → Blau(e Lösung) benötigt Energiezufuhr in Form von Wärme.
- Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Lichtenergie.
- Der Reaktionszyklus Gelb → Blau → Gelb ist nur zweimal möglich.
- Die Reaktion Blau → Gelb findet nicht statt, wenn keine Luft über der Lösung vorhanden ist.
- Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Sauerstoff.
- Das PBB-Experiment ist ein Modell für den natürlichen Kreislauf Photosynthese*/Zellatmung*.
- Die blaue Lösung ist energiereicher als die gelbe Lösung.

PBB – Energieumwandlung und -speicherung

E1 Photoelektrochemische Konzentrationszelle*



Bauen Sie wie in Abb.1 das Experiment auf und schalten Sie die Lampe ein. Beobachten Sie 3 min die Färbung und die Spannung. Schalten Sie die Lampe aus und beobachten Sie weitere 3 min. Nennen Sie alle im Experiment vorkommenden Energieformen.

E2 Beim Spannungsaufbau läuft in Lösung folgende Reduktion ab: $\text{EV}^{2+} + e^- \xrightarrow{\text{Licht}} \text{EV}^+$. Maßgeblich für die Konzentrationszelle ist das Verhältnis $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)}$. Erläutern Sie unter Angabe von Reaktionsgleichungen die an den Elektroden stattfindenden chemischen Vorgänge in der Konzentrationszelle.

E3 In der Konzentrationszelle wird eine Spannung von 200 mV gemessen. Berechnen Sie $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)}$ in der bestrahlten Halbzelle ($E^0(\text{EV}^{2+}/\text{EV}^+) = -0,45 \text{ V}$). Nehmen Sie an, dass in der unbestrahlten Halbzelle gilt: $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)} = 10^{10}$. Vergleichen Sie die Konzentrationsverhältnisse $\frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}$ in den beiden Halbzellen und begründen Sie den Unterschied.

E4 Das Experiment E1 funktioniert auch mit Sonnenlicht. Beurteilen Sie die Bezeichnung der PBB-Konzentrationszelle als „Solarakku“* und diskutieren Sie die gesellschaftliche Relevanz der Gewinnung und Speicherung elektrischer Energie aus Solarenergie.

Arbeitsblatt

Photo-Blue Bottle

Sek. II (Bio & Ch)

Photo-Blue-Bottle

Ein Modellexperiment zum Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur

benötigtes Vorwissen → Photosynthese (Bio, Sek. I)

Energiefluss und Stoffkreisläufe (Bio, Sek. I)

Reaktionsschemata (Chemie, Sek. I)

Photosynthese (Bio, Sek. II)

Das P(hoto)-B(lue)-B(ottle)-Experiment

Auswertung A

A1



Erklären Sie mit Hilfe des Lehrfilms „Photosynthese - Ein Fall für Zwei - Teil 1“ den Vorgang des Farbwechsels der Lösung und beschreiben Sie die Energieumwandlung innerhalb eines Reaktionszyklus Gelb → Blau → Gelb.

A2 Erläutern Sie, warum das PBB-Experiment* ein Modellexperiment* für den natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung ist.

A3 Beurteilen Sie das Modellexperiment PBB im Hinblick auf seine Qualität und Grenzen der Veranschaulichung des natürlichen Kreislaufs Photosynthese*/Zellatmung*.

Zusatz für den Biologieunterricht:

A4 Reduzieren Sie die in dem Lehrfilm (und in der Auswertung aus B1) aufgeführten Kreisläufe so weit, dass das Modellexperiment auch in der Unterstufe im Biologieunterricht eingesetzt werden kann. Hilfreiche Begriffe: energiearme/energiereiche Stoffe, Licht, Photosynthese, Zellatmung, Sauerstoff, gelbe/blaue Lösung.

E1 Untersuchen Sie mit den Ihnen bereitgestellten Geräten (Heizplatte, Taschenlampe mit Farbwechsel, UV-Taschenlampe), wie Sie im Schraubdeckelglas eine Stoffumwandlung antreiben können. Diese wird durch die Bildung eines blauen Stoffes in der gelben Lösung sichtbar.

Inhalt:
3 Chemikalien (EV²⁺, PF⁺, EDTA*)
+ Wasser
+Luft

Hinweis: Lichtfarben des sichtbaren Spektrums



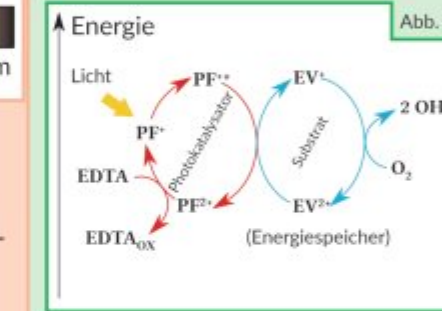
E2 **W**ahre oder **F**alsche Aussage?

Überprüfen Sie Ihre Entscheidungen jeweils, wenn möglich, experimentell oder schlagen Sie ein Experiment vor.

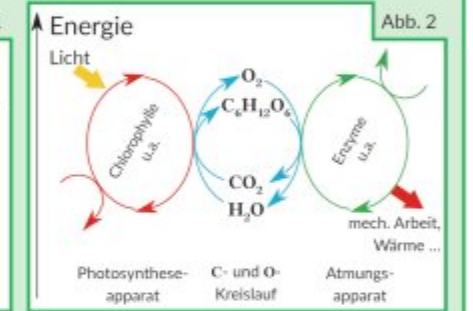
- Die Reaktion Gelb(e Lösung) → Blau(e Lösung) benötigt Energiezufuhr.
- Die Reaktion Gelb → Blau funktioniert nicht mit Licht jeder Farbe aus dem sichtbaren Spektrum.
- Die Reaktion Blau → Gelb benötigt nur Bewegungsenergie.
- Der Reaktionszyklus Gelb → Blau → Gelb ist nur zweimal möglich.
- Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Sauerstoff.
- Die Reaktionszyklen im Photo-Blue-Bottle-Experiment entsprechen dem natürlichen Kreislauf Photosynthese*/Zellatmung*.
- Die Reaktion Gelb → Blau läuft nur bei Temperaturen über 5 °C ab.

Auswertung B

B1 im Modellexperiment



in der Natur



Nennen Sie die sich entsprechenden Stoffe und Stoffkreisläufe beim PBB-Experiment* (Abb. 1) und beim natürlichen Kreislauf Photosynthese*/Zellatmung* (Abb. 2).

B2 Benennen Sie alle in den Zyklen vorkommenden Energieformen und beschreiben Sie die Energieumwandlung während eines Photosynthese/Zellatmung-Kreislaufs.

B3 Erläutern Sie, warum das PBB-Experiment ein Modellexperiment* für den natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung ist. Zeigen Sie Grenzen des Modellexperiments auf.

Zusatz für den Biologieunterricht:

B4 Abb.2 ist eine mögliche Modelldarstellung für den natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung. Entwickeln Sie unter Bezugnahme auf Ihre Erkenntnisse aus B3 eine alternative Modelldarstellung und vergleichen Sie sie mit der aus Abb.2.

Lehrfilm

Photosynthese – ein Fall für Zwei; Teil 1

A11 *Erschließen* Sie den Lehrfilm auf der Seite chemiemitlicht.uni-wuppertal.de.

A12 *Präsentieren* Sie diesen Lehrfilm.

Diskutieren und vergleichen Sie die Experimente und Behauptungen aus dem Film mit Ihren Experimenten und gewonnenen Erkenntnissen.





Unterricht

Sekundarstufe I

Curriculare Einbindung

Sekundarstufe I

Chemie, Sek. I

Stoffe
Stoffeigenschaften
*Farben und
Leuchtfarben*

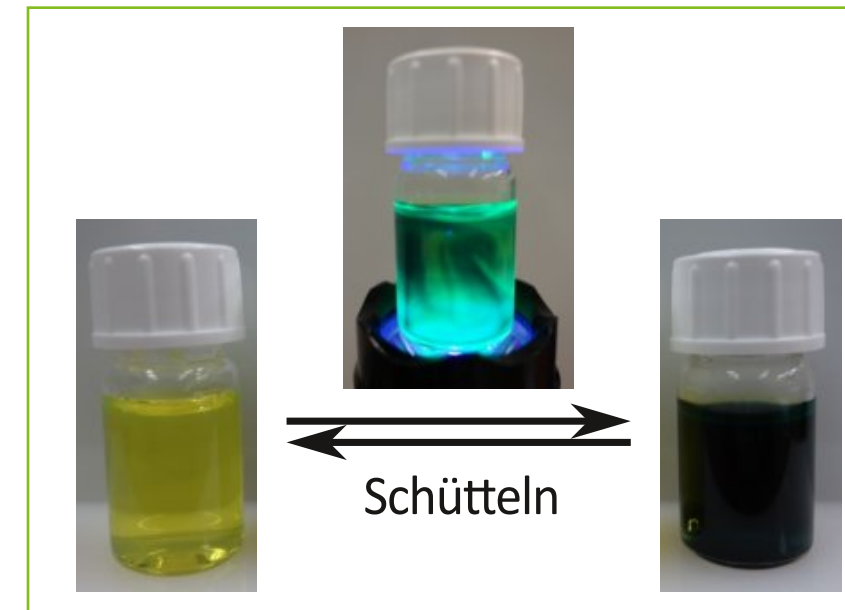


Chemie & Schule 3/2015

Chemische Reaktionen
Stoff- und Energieum-
wandlungen
Wärme, Licht, etc.



Luft und Verbrennung
als Sauerstoffaufnahme
Energieumsätze bei
Oxidation u. Reduktion



M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrman-
Linde, S. Krees (Hrsg.), **CHEMIE 2000+**,
C.C.Buchner, Bamberg (2007...2014)

Lerninhalte

Anfängerniveau

Chemische Reaktion: Stoff- und Energieumwandlung

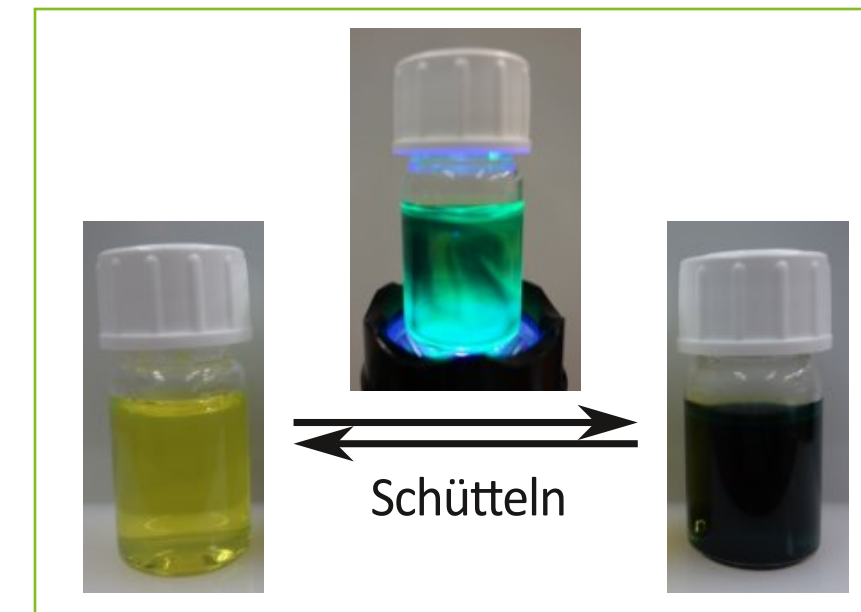
- Beteiligung der Energie als Licht

Oxidation/Reduktion:

- Sauerstofftheorie der Oxidation

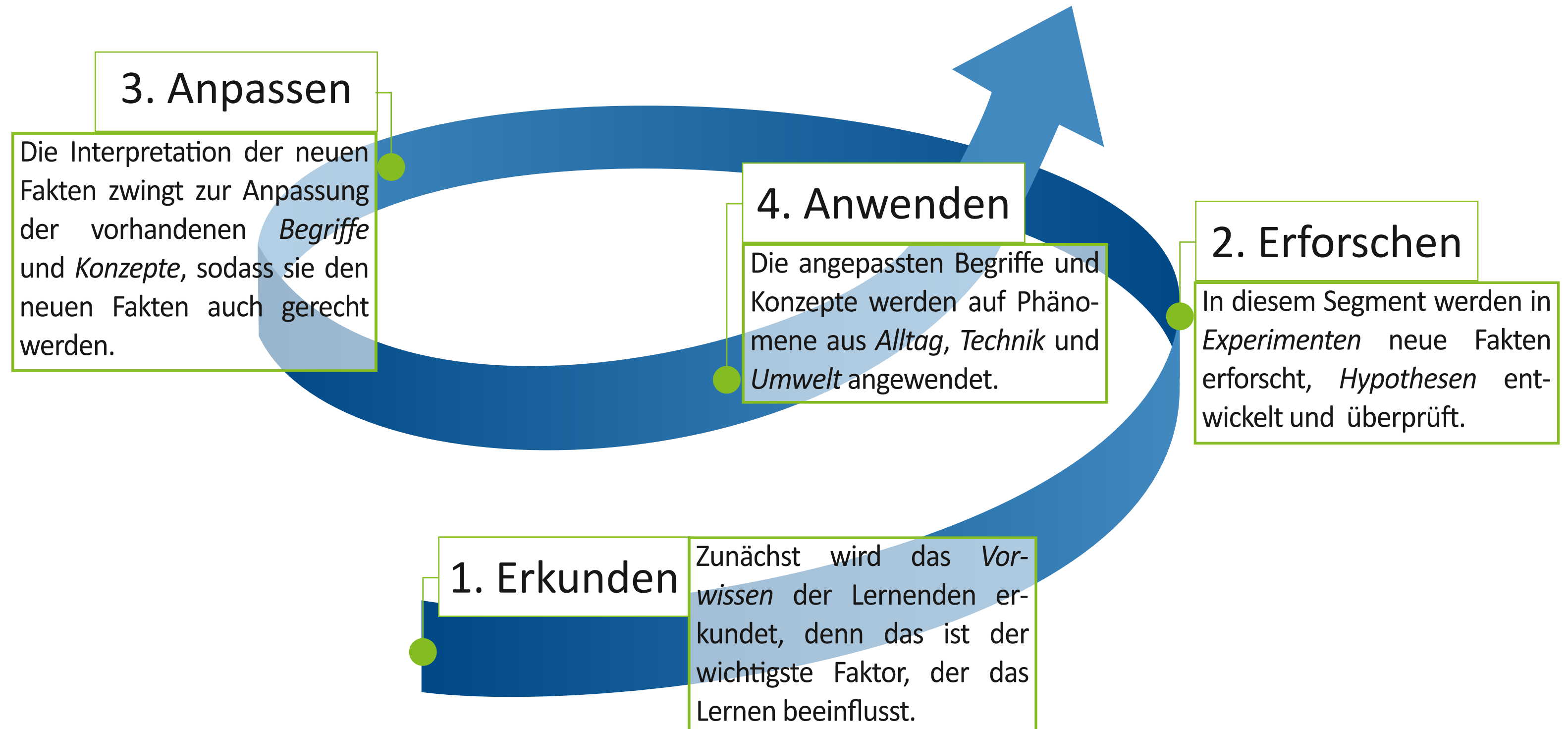
Experimente

1. Licht = *treibende Kraft* für chemische Reaktionen
(Bildung einer blauen Substanz durch Bestrahlung mit blauem Licht)
2. Sauerstoff als Oxidationsmittel
(Zersetzung der blauen Substanz durch Reaktion mit Sauerstoff)



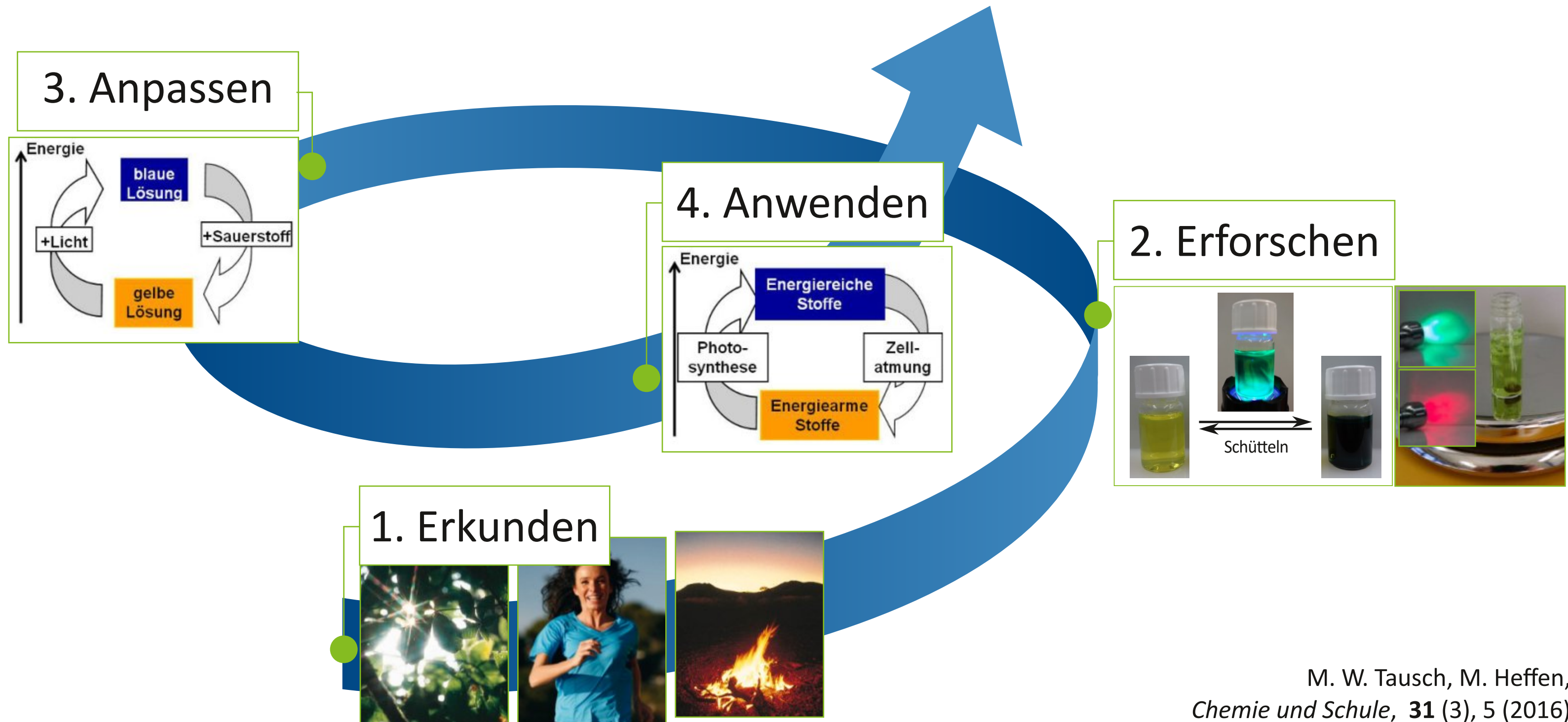
Konstruktivistische Lernschleife

Gliederung eines Unterrichtsbausteins in *vier* Segmente im Sinne *forschend-entwickelnden* Lernens



„Photosynthese und Atmung *en miniature*“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I



Unterricht

Sekundarstufe II

Curriculare Einbindung

Sekundarstufe II

Chemie, Sek. II

Chemische Gleichgewichte

*Isomere, molekulare Schalter
photostationärer Zustand*

Energetik chemischer Reaktionen

*Lichtquanten, $E = h \cdot \nu$
Basiskonzept: A/A^**

Stoffkreisläufe

*Photosynthese –
Atmung*

Redoxreaktionen

*(allgemein)
exergonische und
endergonische*

Elektrochemie, Galvanische Zellen

*Konzentrationszellen
Nernst-Gleichung*

Aromaten, Farbstoffe

*Photo-, Chemo-,
Elektrolumineszenz,
funktionelle Farbstoffe*

Kunststoffe
*(elektr. leitende)
OLEDs & OPV*



M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.), **CHEMIE 2000+**, C.C. Buchner, Bamberg (2007...2014)

Lerninhalte

Höheres Niveau

Redoxpotenziale – Abhängigkeit von ...

- ... dem Konzentrationsverhältnis des Redoxpaares $c(\text{Red}/\text{Ox})$, Nernst-Gleichung
- ... dem elektronischen Zustand der reduzierten Spezies „Red“: (Red/Ox) vs. (Red^*/Ox)



Modellexperiment für natürliche und technische Vorgänge

- Analogie und Unterschiede zwischen dem PBB Experiment und dem natürlichen Kreislauf der Photosynthese und Zellatmung

Experimente

1. Erweitertes PBB Experiment als elektrochemische Messvorrichtung
2. PBB Experiment mit verschiedenen Photokatalysatoren, Substraten und Opferdonoren

Lerninhalte

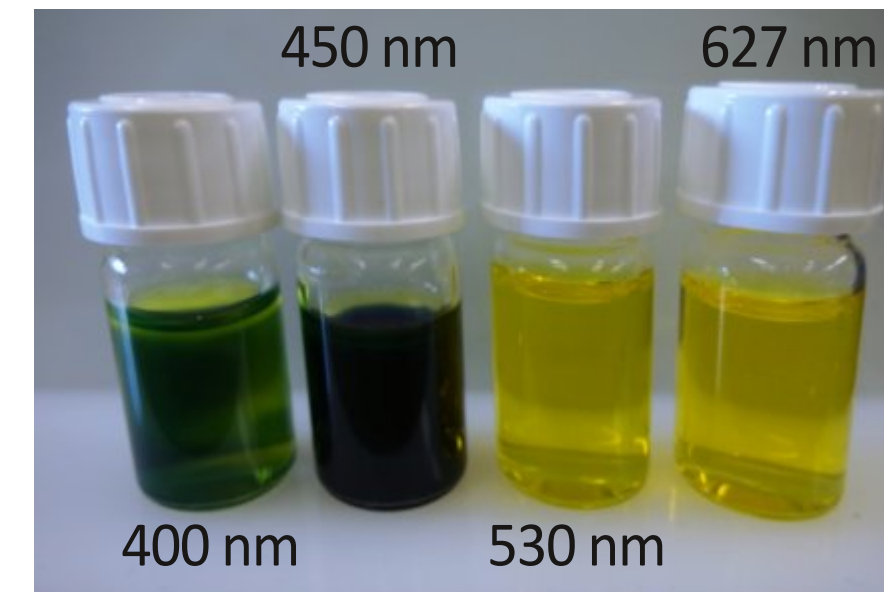
Höheres Niveau

Redoxreaktionen = Elektronentransferreaktionen

- Elektronentransfer beim PBB Experiment – gekoppelte Reaktionszyklen
- Wirkungsmechanismus des Photokatalysators im PBB Experiment
- Energiekonversion und -speicherung im PBB Experiment

Relation: (Teilchen)Struktur - (Stoff)Eigenschaft

- ionische Struktur – Löslichkeit
- Konfiguration – Konformation
- Bindungsdelokalisation – Mesomerie – Lichtabsorption – Farbe

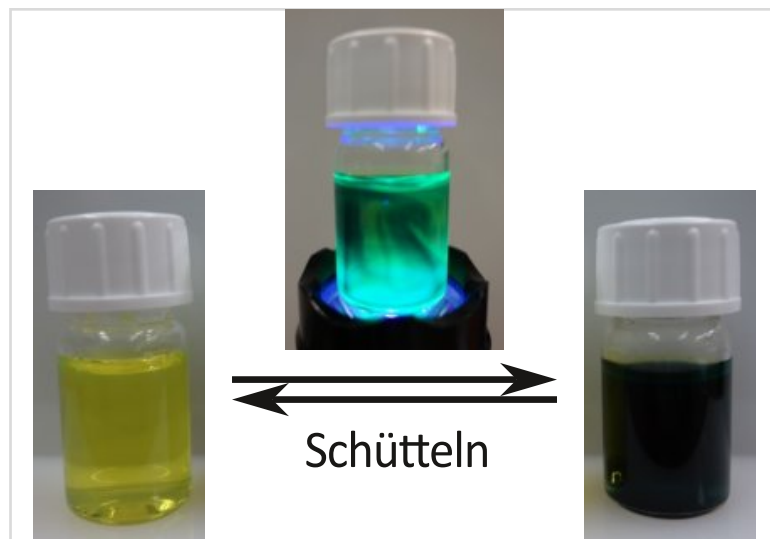


Experimente

1. Bestrahlung der PBB Lösung mit violetterm, blauem, grünem und rotem Licht
2. Absorptionsspektren von Proflavin (PF^+) und Ethylviologen (EV^{2+} und EV^+)

Stationen, Sekundarstufe II

Mit *einer* Photo-Cat Box können die folgenden 6 Stationen teils *mehrfach* aufgebaut werden:



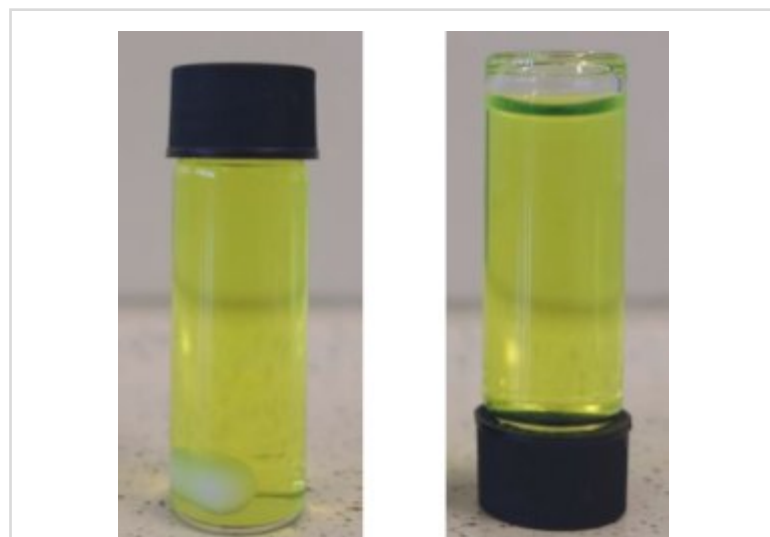
Station 1



Station 3



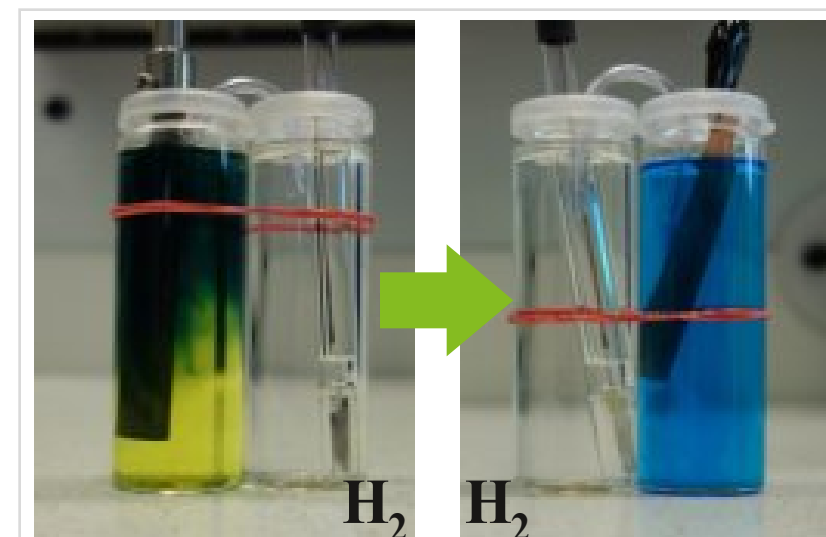
Station 5



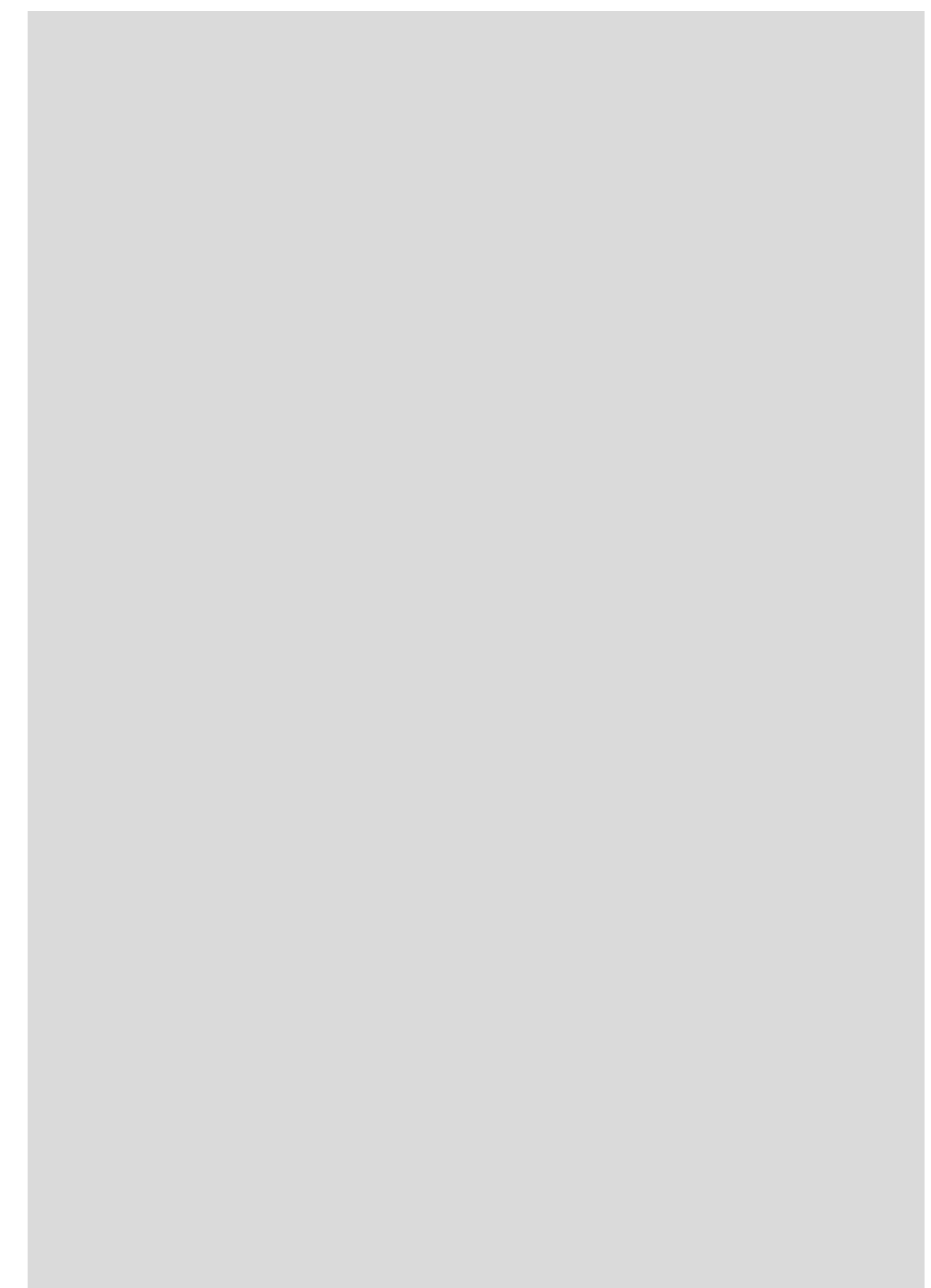
Station 2



Station 4



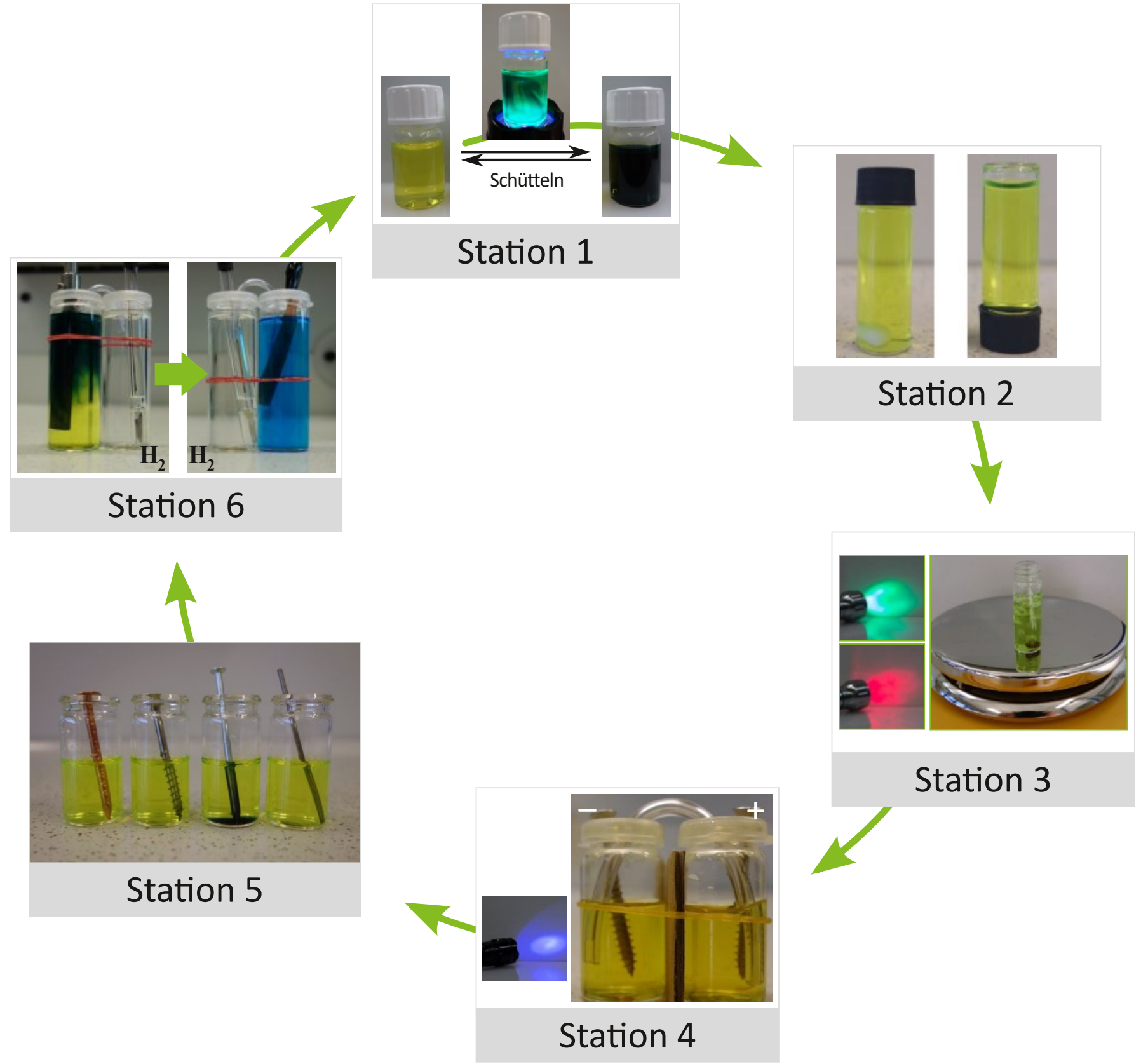
Station 6



Stationen im Rotationsmodus

Sekundarstufe II

Alle Lernenden durchlaufen
und bearbeiten *alle* Stationen



Stationen im Expertenmodus

Sekundarstufe II

Jeweils eine Gruppe Lernender bildet sich an *einer* Station zu „Experten“ aus und präsentiert anschließend ihre Experimente und Erkenntnisse der gesamten Lerngruppe

