



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Michael W. Tausch

Lichtlabor Pflanze und Künstliche Photosynthese

Zeitplan (3h)

- 1. INTRO-Vortrag „CHEMIE MIT LICHT“
Experimente & KONZEPTE (50 min)**

- 2. PRAKTIKUM (30 min):
Experimente E1-E3 & Auswertung Sek. I**
- 3. PLENUM (30 min):
Auswertung Sek. II & Theor. Vertiefung**
- 4. PRAKTIKUM (30 min):
Photo-Blue-Bottle Experimente E4-E7 & Auswertung Sek. I
Zusatz: Demo-Experiment: Photokatalytischer Wasserstoff**
- 5. PLENUM (20 min)
Auswertung Sek. II & Theor. Vertiefung**
- 7. Plenum (10 min)
Curriculare Integration im Chemieunterricht der Sek. I und Sek. II**





Lichtlabor Pflanze – Künstliche Photosynthese

Experimente und Fachinhalte aus MINT-Fächern

Experiment E1

Photonen & Moleküle
Relation:
Licht-Energie-
Farbe-Struktur

Experimente E2-E3 E4-E6

Energie
Licht → Licht,
chemische,
elektrische
Energie

Experimente E4-E6

**Kohlenstoff-
kreislauf in der
Biosphäre**
Photosynthese-
Atmung

Experimente und Fachinhalte aus:

- ▶ Chemie
- ▶ Biologie
- ▶ Physik
- ▶ Geographie

Experiment E7

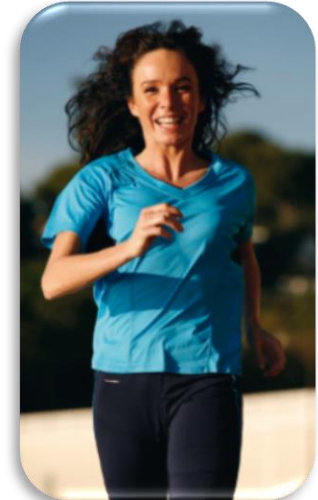
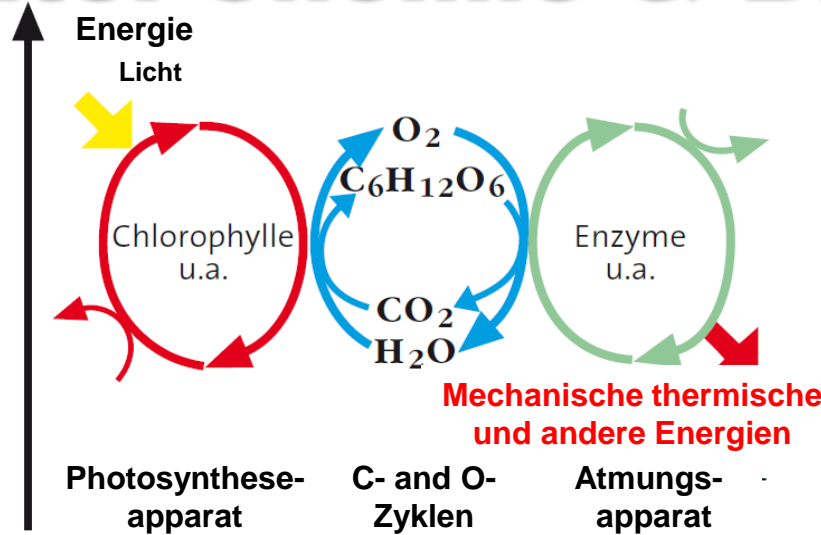
Elektrochemie
(Photo)Redox-
reaktionen
(Photo)Galvani-
sche Zellen

**Künstliche
Photosynthese**
„grüner“
Wasserstoff

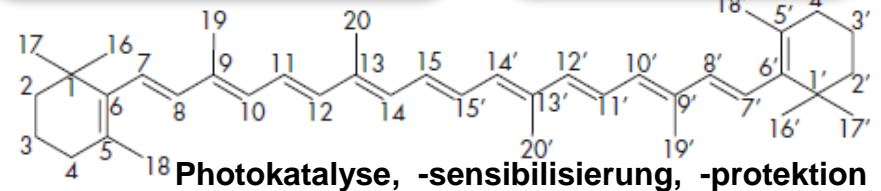
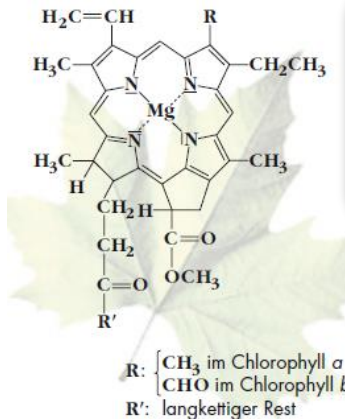
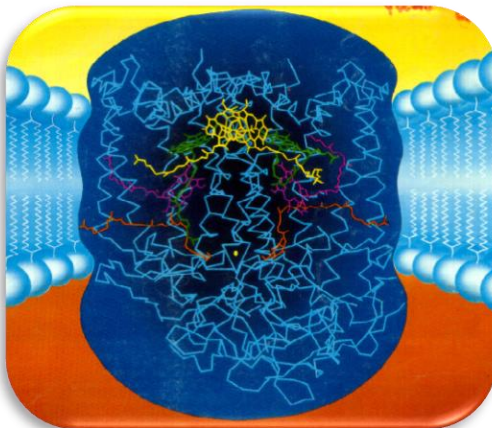
Experiment E8



Fachinhalte: Chemie & Biologie



Stoffkreislauf Photosynthese-Zellatmung in der Biosphäre



Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese



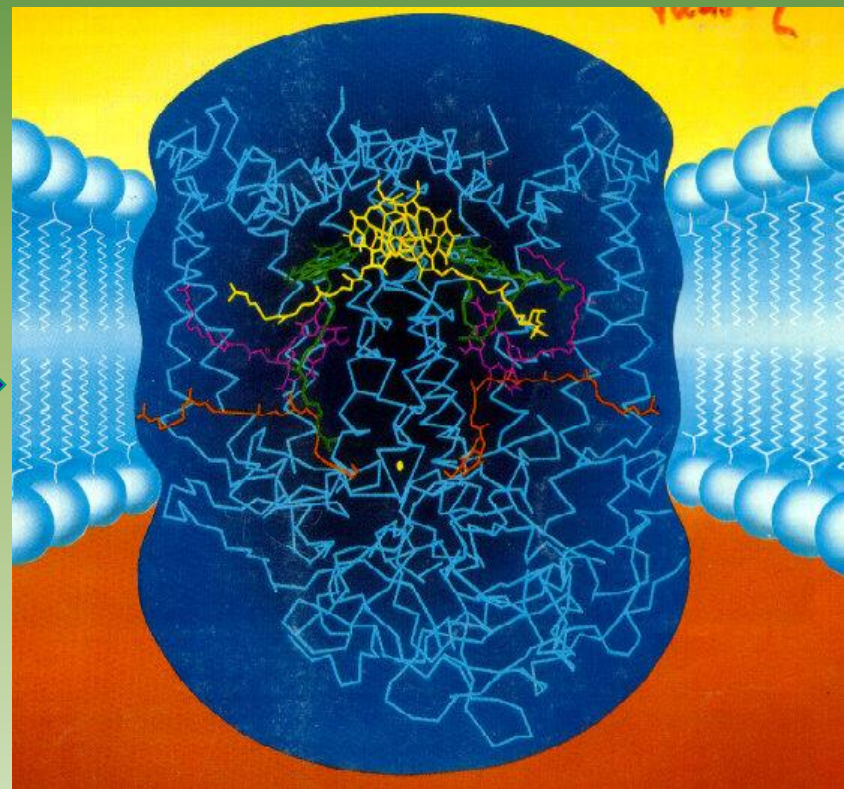
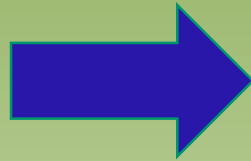
Natürliche Photosynthese in Zahlen

700.000.000.000 t Biomasse/a *3.000.000.000.000.000.000.000 J/a* $\eta \approx 0,15\%$





Natürliche Photosynthese: Photoaktive Nanomaschine Reaktionszentrum mit Schlüsselfunktion



Nobelpreis für Chemie 1988

H.Michel, R.Huber, J.Deisenhofer

M. Huber, *Angew. Chem.* 107, 929 (1995)



Experiment E1



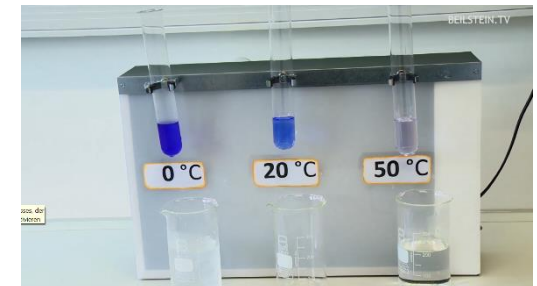
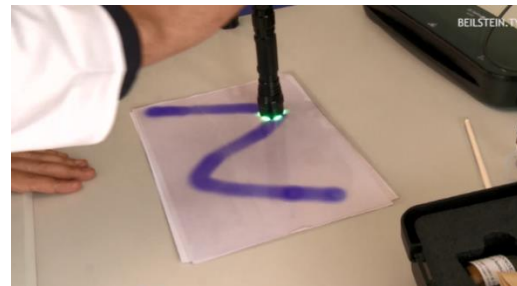
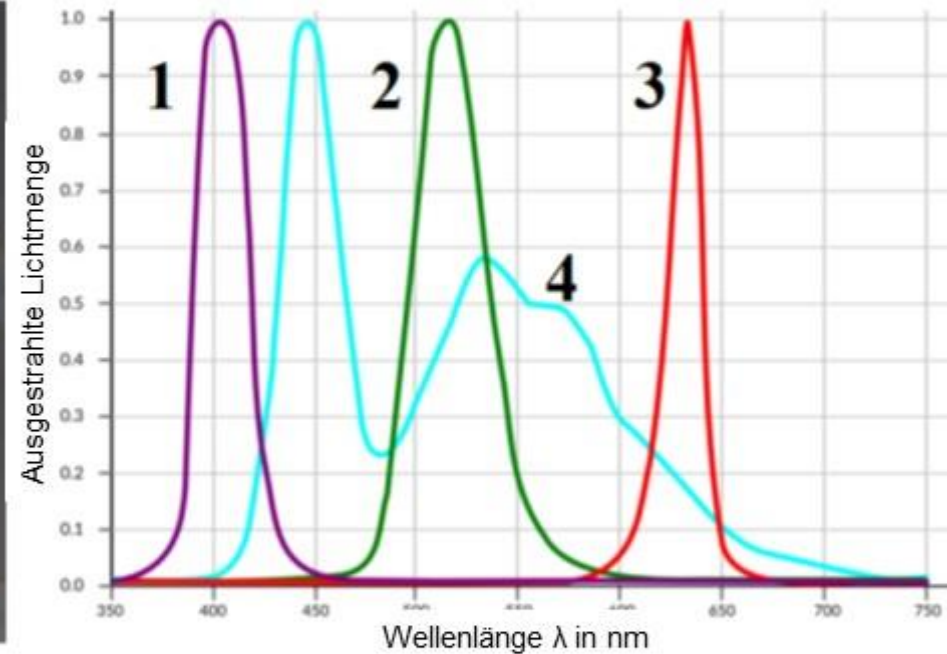
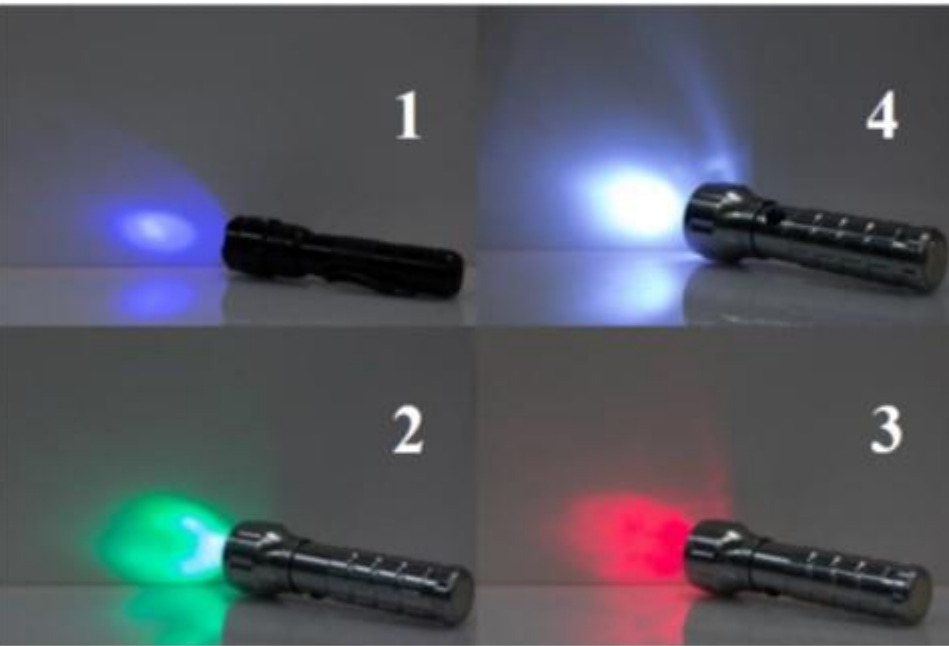
Demo-Versuch

mit LED Taschenlampen und Spiropyran aus dem **Photo-Mol Koffer** [1]

[1] <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/experimentierkoffer-materialiensets/qr-31-experimentierkoffer-photo-mol/>

Lampentest

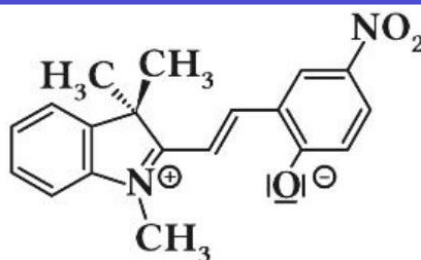
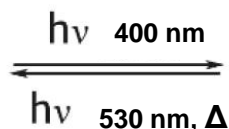
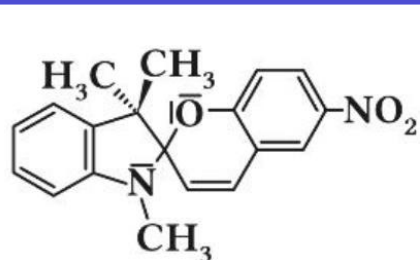
Demo-Versuche: „intelligente Folie“ und Spiropyran-Lösung





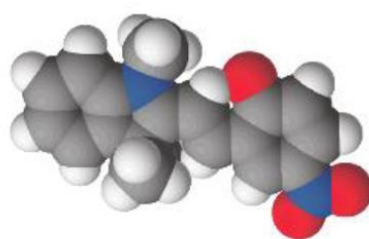
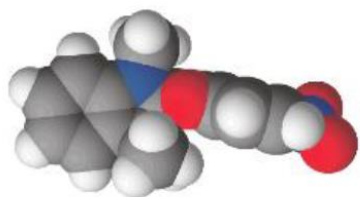
Auswertung E1 & Adressierbare Lerninhalte

Spiropyran - ein didaktisches Juwel



Spiropyran

Merocyanin



Adressierbare Lehrinhalte in der Sek. II:

- ⇒ Molekulare Schalter; ⇒ Photochromie; ⇒ Solvatochromie; ⇒ AIE;
- ⇒ Relation: Molekülstruktur / Lichtabsorption und -emission / Farbe;
- ⇒ Reaktionswege photochemischer und thermischer Reaktionen;
- ⇒ Abhängigkeit: Reaktionsgeschwindigkeit / Temperatur
- ⇒ Thermodynamisches Gleichgewicht vs. Photostationarität ... ⇒ Molekulare Logik

Photochemie vs. Thermochemie Reaktionswege & Photostationarität

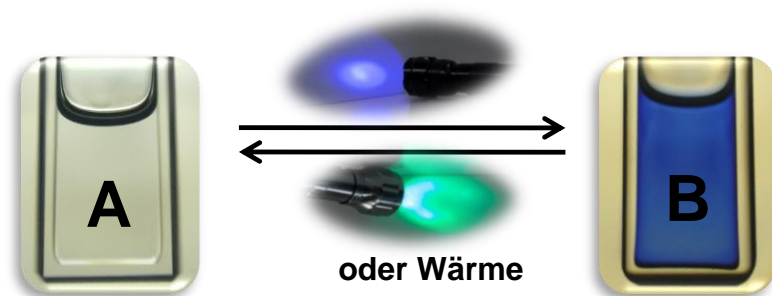
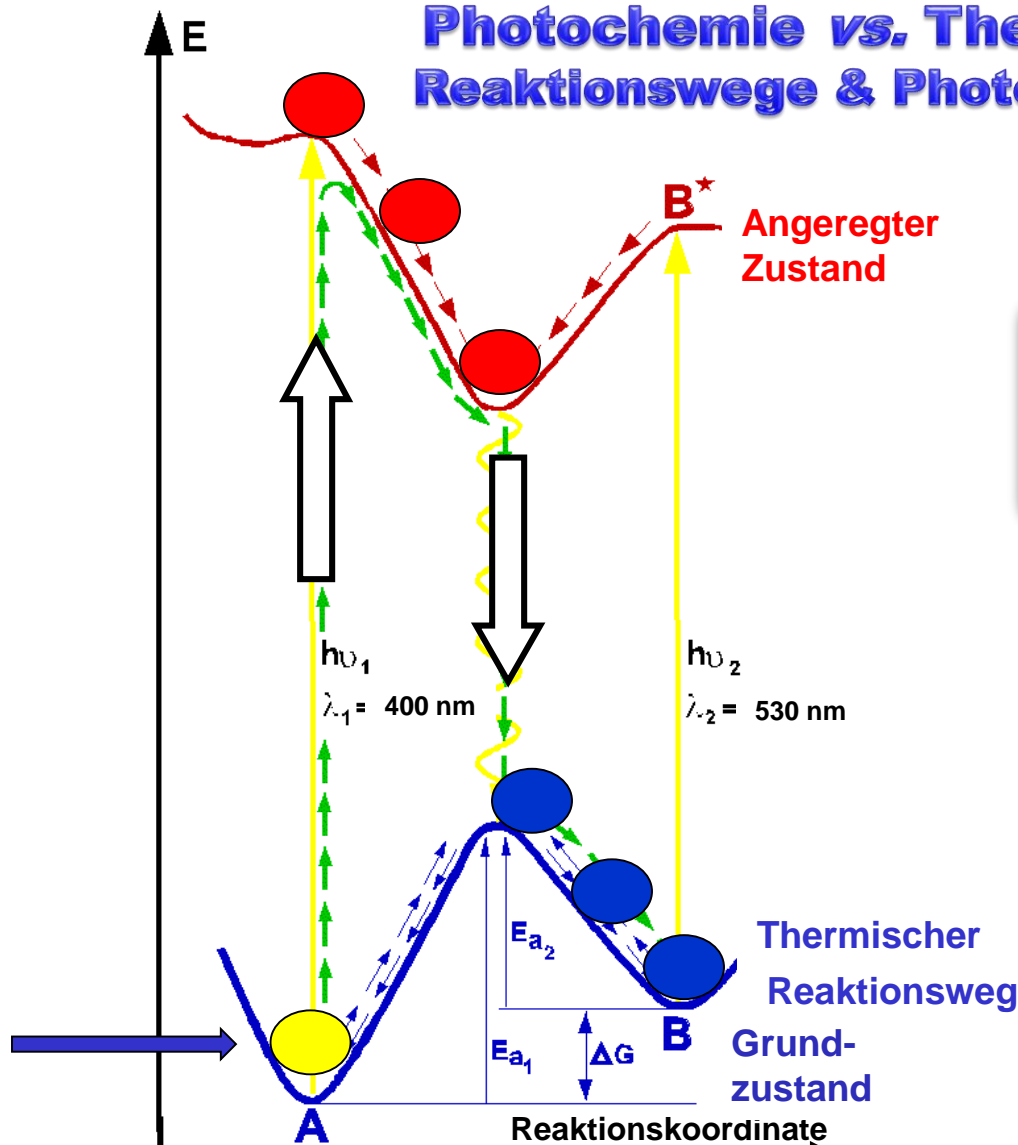
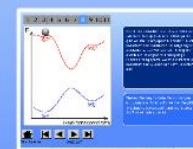


Photo-steady state

Exploration
of the concept
with the
substance
spiropyrane



Molecular structures
of spiropyrane/merocyanine

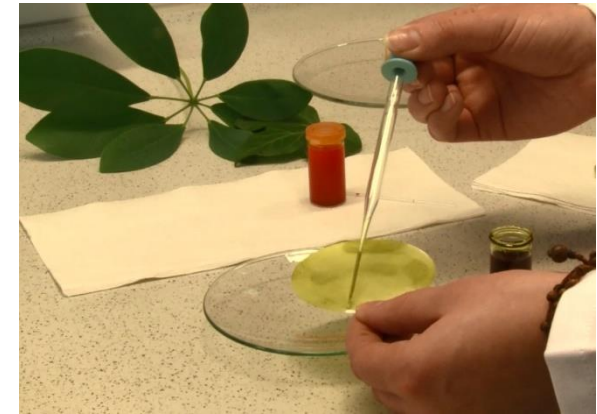


Energy profile
of the reaction





Experimente E2-E3



Materialien für die Experimente mit Chlorophyll und β -Carotin [1]:

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

[1] <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photosynthese-ein-fall-fuer-zwei-teil-2-von-2/>

E3 β -Carotin als Fluoreszenzlöcher und Photoprotektor für Chlorophyll:

Für diesen Versuch werden die beiden Lösungen aus E2 benötigt:

Lösung 1: Blattgrünextrakt im Schnappdeckelglas aus Experiment E2.

Lösung 2: β -Carotin-Lösung im braunen Schraubdeckelglas aus Experiment E2.

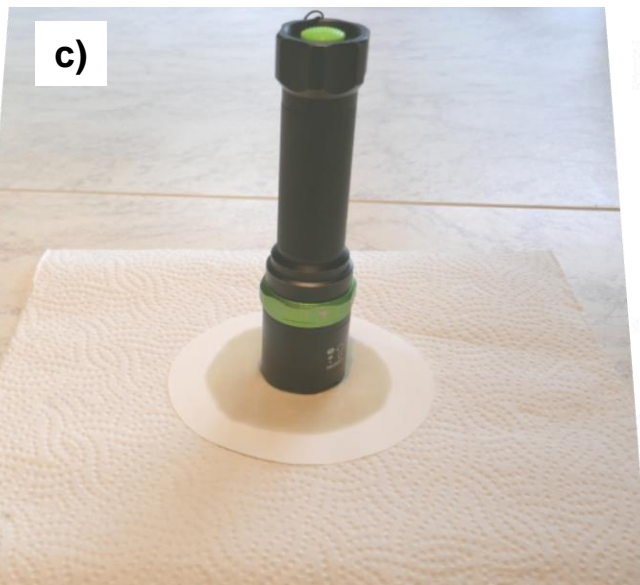


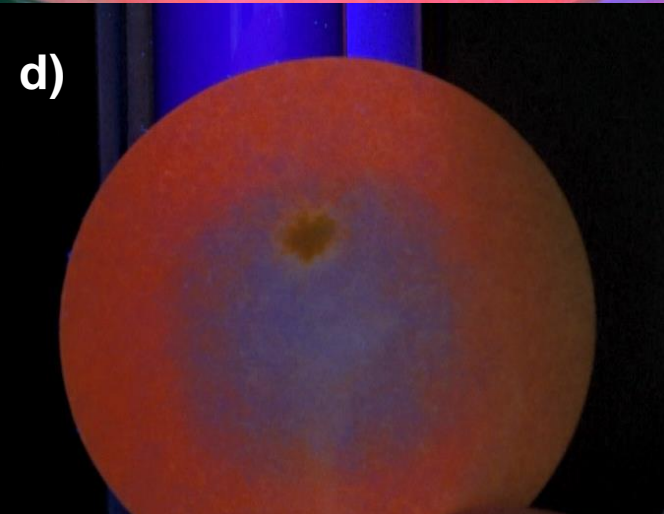
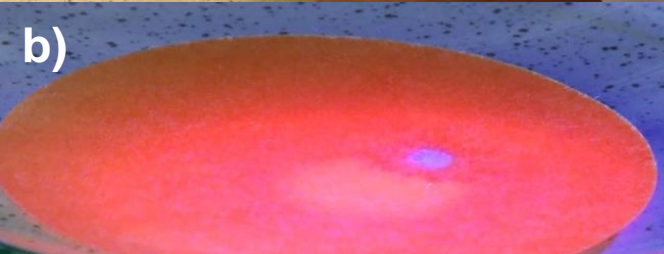
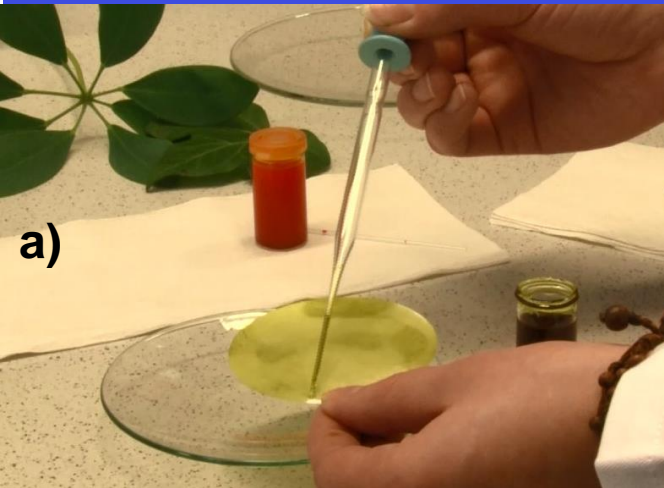
a) Tränke einen Rundfilter ($d \approx 11$ cm) wie im oberen Bild mithilfe einer Pipette mit Lösung 1. Betrachte nach dem Trocknen das so präparierte Filterpapier im Licht UV-LED-Taschenlampe.

b) Trage mit einem Kapillarröhrchen in die Mitte des mit Blattgrün präparierten Filterpapiers aus a) einen Rundfleck ($d \approx 0,5$ cm) aus Lösung 2 auf (ein Tupfer reicht). Betrachte nach Verdunsten des Lösemittels erneut im Licht der UV-LED-Taschenlampe.

c) Stelle die eingeschaltete UV-LED-Taschenlampe mittig auf das Filterpapier und bestrahle 4 min lang.

d) Betrachte danach die gesamte Fläche des Rundfilters bei Tageslicht und im Licht der UV-LED-Taschenlampe. Stelle die Unterschiede zwischen den verschiedenen behandelten Teilflächen fest.





β -Carotin als Fluoreszenzlöcher und Photoprotektor für Chlorophyll:

Für diesen Versuch werden die beiden Lösungen aus E2 benötigt:

Lösung 1: Blattgrünextrakt im Schnappdeckelglas aus Experiment E2.

Lösung 2: β -Carotin-Lösung im braunen Schraubdeckelglas aus Experiment E2.

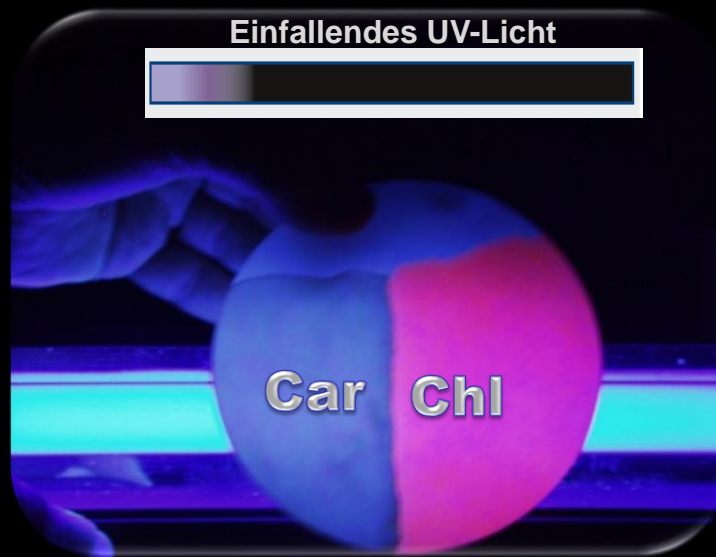
- Tränke einen Rundfilter ($d \approx 11$ cm) auf der ganzen Fläche mithilfe einer Pipette mit Lösung 1. Betrachte nach dem Trocknen das so präparierte Filterpapier im Licht UV-LED-Taschenlampe.
- Trage mit einem Kapillarröhrchen in die Mitte des mit Blattgrün präparierten Filterpapiers aus a) einen Rundfleck ($d \approx 0,5$ cm) aus Lösung 2 auf (ein Tupfer reicht). Betrachte nach Verdunsten des Lösemittels erneut im Licht der UV-LED-Taschenlampe.
- Stelle die eingeschaltete UV-LED-Taschenlampe mittig auf das Filterpapier und bestrahle 4 min lang.
- Betrachte danach die gesamte Fläche des Rundfilters bei Tageslicht und im Licht der UV-LED-Taschenlampe. Stelle die Unterschiede zwischen den verschiedenen behandelten Teilflächen fest.



Auswertung Sek. I

Farben und Leuchtfarben

Lumineszenz = Emission von Licht



**Kastanien-
zweig**

Farben und Leuchtfarben Aufgabe A1



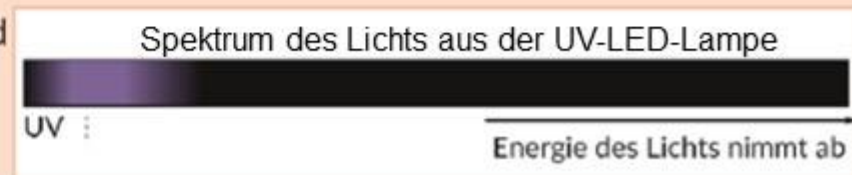
A1 Ergänze den Lückentext mit folgenden Begriffen:

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 **begründen** Sie mündlich mithilfe der experimentellen Beobachtungen aus E3:

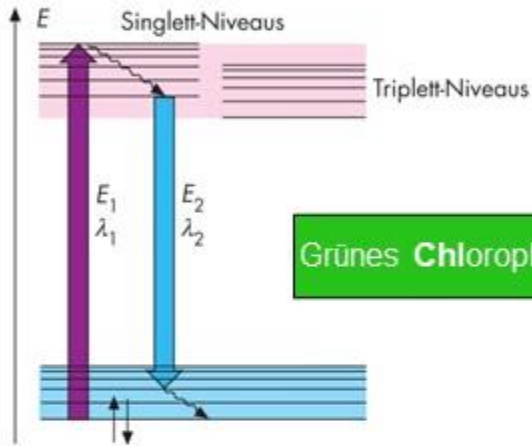
- grünes Chlorophyll erzeugt rote Fluoreszenz.
- β -Carotin löscht die Fluoreszenz von Chlorophyll.
- gelbes β -Carotin fluoresziert blau.
- Chlorophyll wird im starken Licht an der Luft zerstört (abgebaut).
- Chlorophyll erzeugt Fluoreszenz wenn es mit grünem Licht bestrahlt wird.
- β -Carotin beschleunigt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



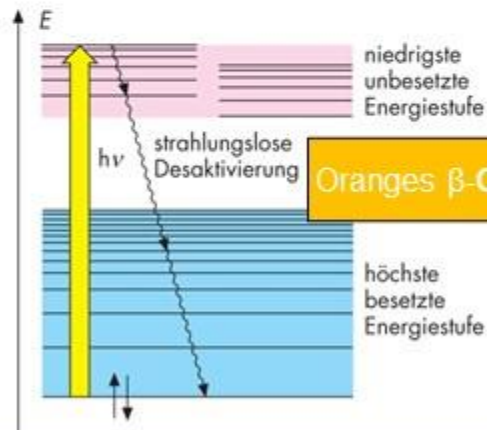
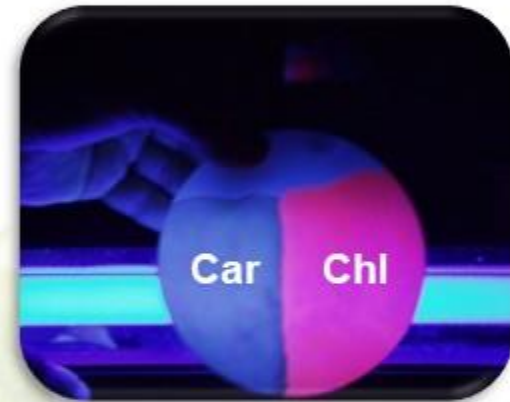
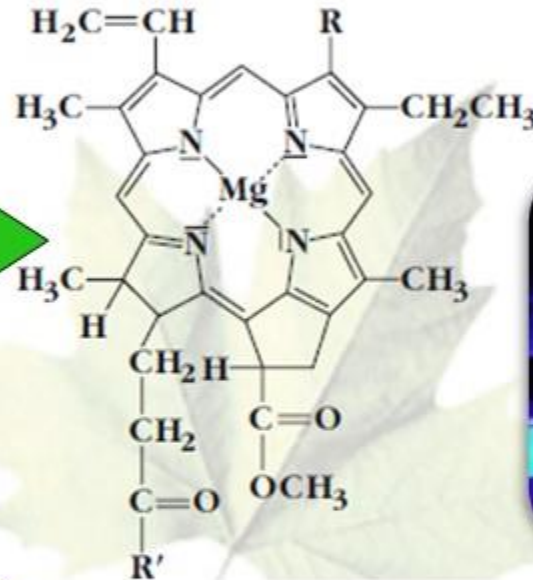


Auswertung E2-E3 & Theor. Vertiefung

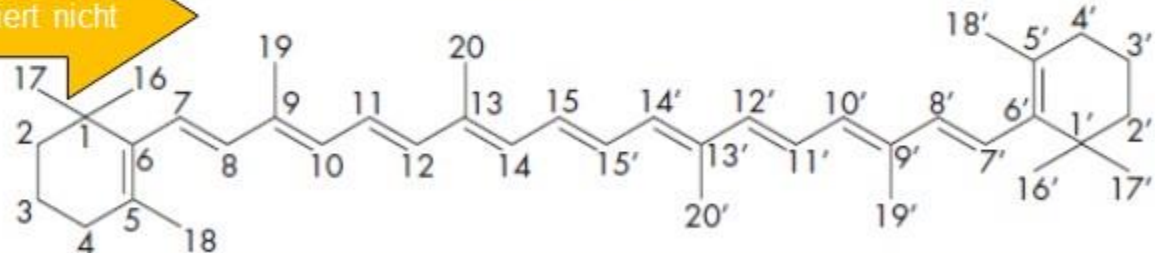
Fluoreszenz: Energiestufenmodell und Relation Struktur/Eigenschaften



Grünes Chlorophyll fluoresziert rot



Oranges β -Carotin fluoresziert nicht



A10: Fluoreszenz kommt zustande, wenn Moleküle nur eingeschränkt schwingen können. *Erläutern* Sie, wie die Schwingungsmöglichkeiten im **Chl**- und **Car**-Molekül in den Diagrammen dargestellt sind. **A11:** *Vergleichen* Sie die Chromophore (konjugierte Doppelbindungen) im **Chl**- und **Car**-Molekül. *Leiten* Sie daraus und aus A1 zwei strukturelle Voraussetzungen für Fluoreszenz ab.

<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/>

Photosynthese – ein Fall für zwei

Teil 2: Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin

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.

*ab 3:24

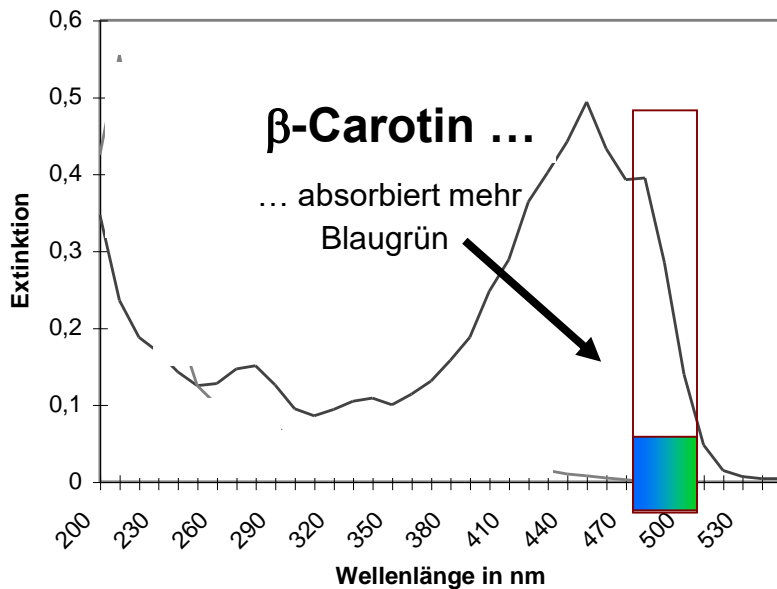
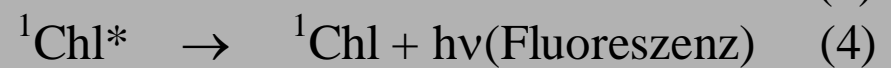
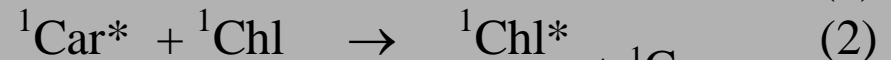
<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photosynthese-ein-fall-fuer-zwei-teil-2-von-2.html>



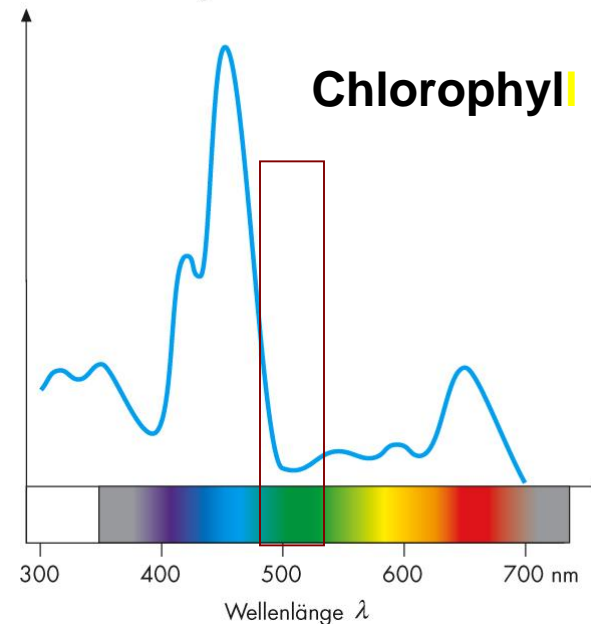


β-Carotin – Akzessorisches Pigment

Bei wenig
Licht



absorbierter Strahlungsanteil





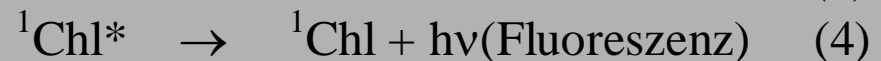
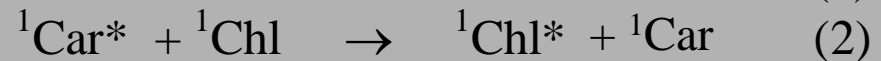
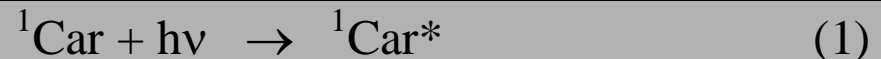
β -Carotin – Biochemisches Multitalent



Bei (zu) wenig
Licht

Bei (zu) viel
Licht

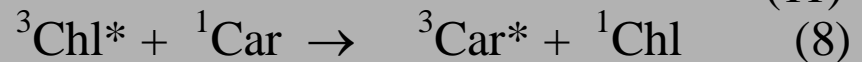
β -Carotin als Photosensibilisator



Phototoxizität von Sauerstoff



β -Carotin als Photoprotektor





Experimente E4-E7



Photo-Cat Basis-Set

Herstellung der Photo-Blue-Bottle Lösung [1]:

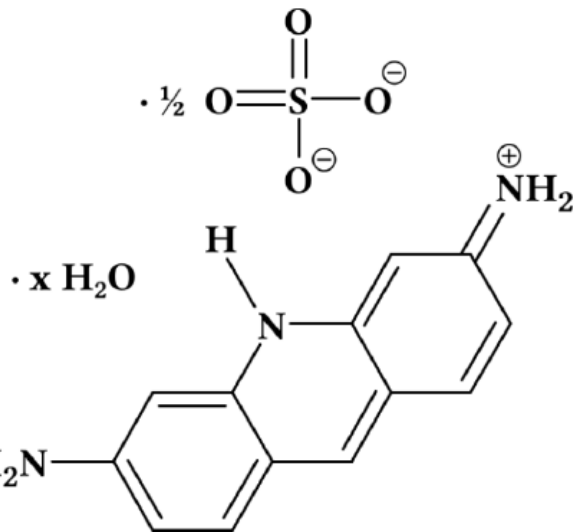
1 g EDTA, 561 mg Ethylviologen und 15 mg Proflavin werden in einem Becherglas unter Rührung in 500 mL dest. Wasser gelöst. Die gelbe, schwach fluoreszierende Lösung wird in eine braune 500 mL Flasche gefüllt. Falls keine braune Flasche vorhanden ist, kann auch eine aus farblosem Glas genutzt werden, wenn sie in Alufolie lichtdicht verpackt wird. So ist sie unter Lichtausschluss mehrere Monate haltbar.

[1] <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/experimentierkoffer-materialiensets/qr-33-experimentier-set-photo-cat/basisversion/>

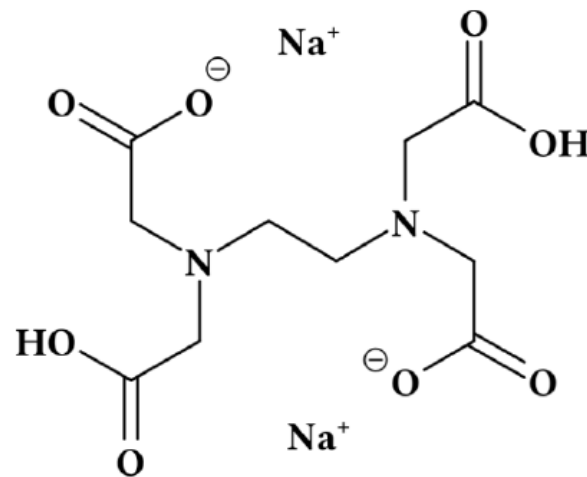


Photo-Blue-Bottle

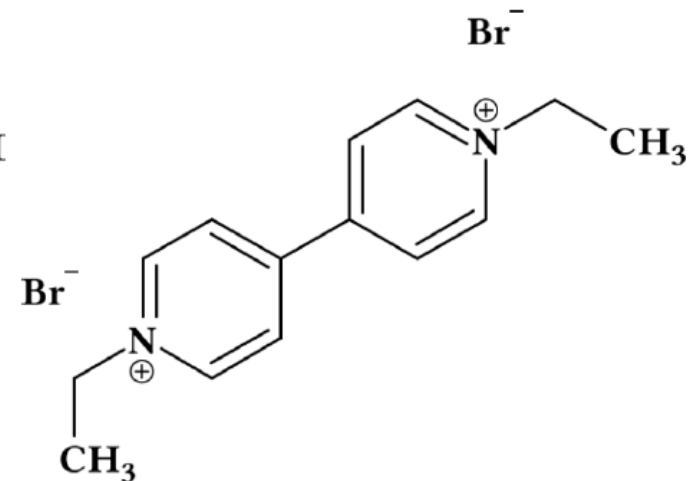
Drei Chemikalien - viele Versuche



Photokatalysator
Proflavin PF⁺
Diaminoacridin-hemisulfat

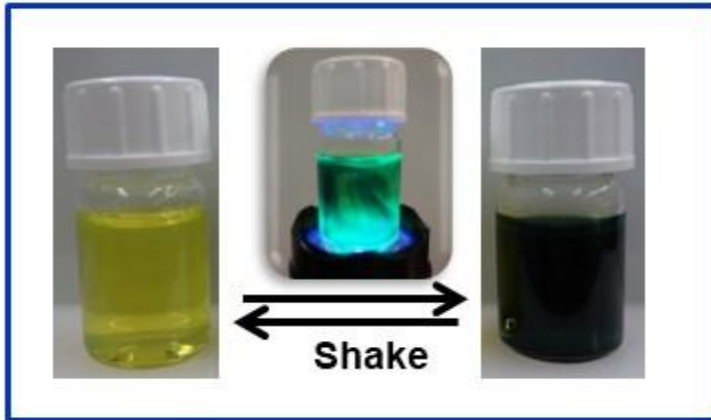


Opferdonor
EDTA
Ethyldiaminetetraessigsäure-dinatriumsalz



Substrat
Ethylviologen EV²⁺
1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid

E4 Photo-Blue-Bottle Basisexperiment



Basisexperiment

- Gib in ein 5 mL-Schraubdeckelgläschen mithilfe der Plastikpipette 4 mL PBB-Lösung. Verschließe das Gläschen mit der Schraubkappe und bestrahle die Lösung mit einer violetten UV-LED-Taschenlampe*, indem du die Lampe direkt an das Glas hältst. Du kannst entweder von der Seite oder vom Boden des Gläschens bestrahlen. Beobachte die Veränderungen in der Lösung.
- Schalte die LED-Lampe aus, wenn sich an der Lösung nichts mehr ändert. Lasse das Gläschen auf dem Tisch stehen und beobachte die Lösung 20 sec lang. Nimm das Gläschen dann in die Hand und schüttele es kräftig durch. Beobachte, ob und was sich dabei ändert.
- Wiederhole die Folge a) und b) noch einmal. Blaufärbung-Gelbfärbung

* die Bestrahlung kann auch im Freien mit Sonnenlicht durchgeführt werden

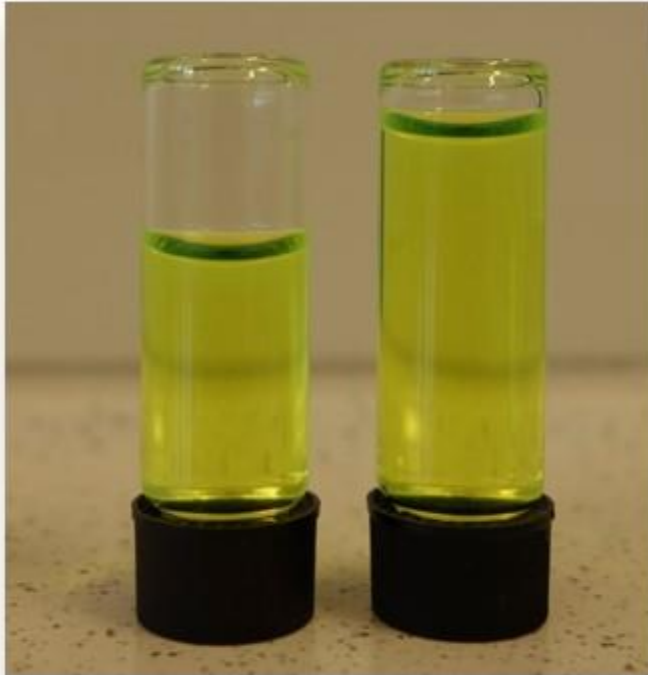


Photo-Blue-Bottle

Forschung zu den Versuchsparametern

Gas, Lichtfarbe, Energieform für die Blaufärbung

- E5** Führe den Zyklus Blaufärbung-Gelbfärbung ca. 5 mal durch und finde dabei heraus, wie sich die Dauer der Bestrahlung bis zur Blaufärbung und die Dauer des Schüttelns bis zur Gelbfärbung verändern („wird länger“ bzw. „wird kürzer“).

Tipps:

- Fülle das Rollrandgläschen so mit PBB-Lösung, dass nach Zuschrauben und Umkippen nur eine kleine Luftblase übrig bleibt (etwa so groß wie eine Erbse).
- Bestrahle mit einer Lichtquelle (Sonne bzw. violette LED) bis zur vollständigen Blaufärbung. Schüttle dann kräftig bis sich die Lösung gelb gefärbt hat.

E6 Untersuche:

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

Parameter: λ , T, O₂



Auswertung E4-E7 Sek. I

benötigtes Vorwissen

Oxidation als Sauerstoffaufnahme (und Reduktion)

Luftzusammensetzung

Reaktionsschemata

Photosynthese (Biologie)

Photo-Blue-Bottle-Experiment

www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de

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.

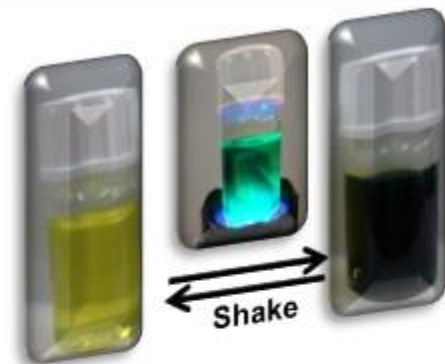
Die Reaktion Gelb(e Lösung) → Blau(e Lösung) ...

- ... 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) ...

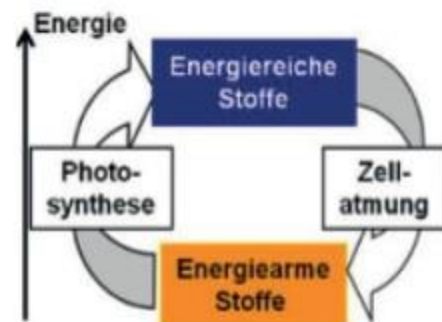
- ... verläuft durch einfaches Schütteln.
- ... verläuft auch, wenn keine Luft über der Lösung ist.
- ... läuft **nicht** bei Energiezufuhr in Form von Licht ab.
- ... benötigt Luft.
- ... verläuft unter Freisetzung von Energie
- ... benötigt nur den Sauerstoff aus der Luft.

Photo-Blue-Bottle Aufgabe A5



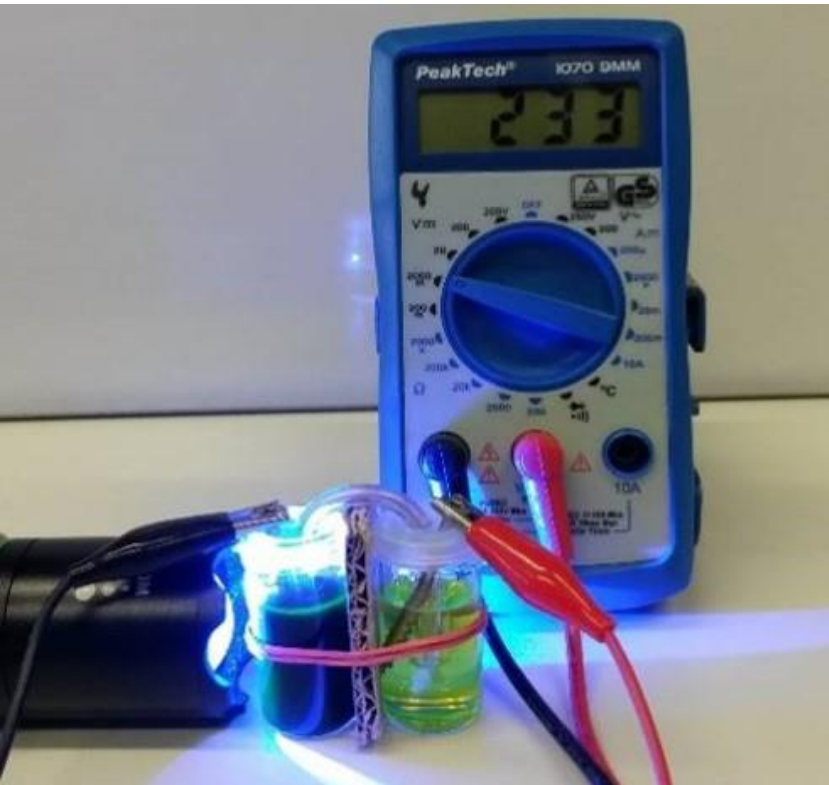
A5: Bewerten Sie die folgenden Aussagen mit **w(ahr)**, **f(alsch)** oder **?(unsicher)**. **Begründen** Sie mündlich mithilfe der experimentellen Beobachtungen aus E4, E5 und E6. **Planen** Sie Versuche, mit denen es möglich ist, die mit **?(unsicher)** bewerteten Aussagen zu klären, d.h. auch hier **w(ahr)**, **f(alsch)** mit 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.



E7 Photo-Blue-Bottle

Forschung zur
Energieumwandlung und -speicherung

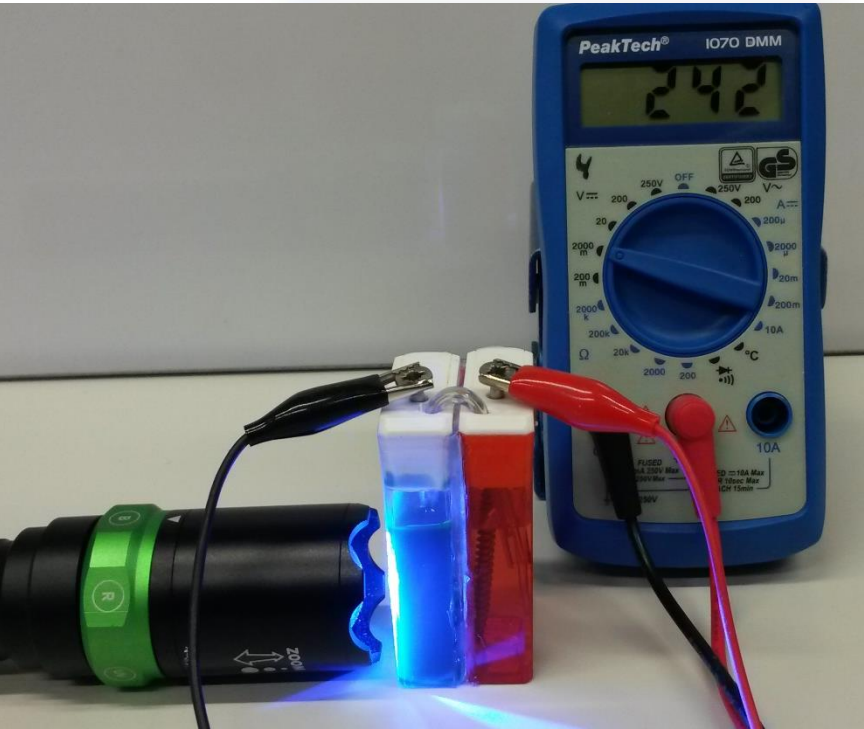


Station 5
Konzentrationszelle
mit Schnappdeckelgläsern

- Baue die photoelektrochemische Konzentrationszelle nach Anweisung durch die Betreuungsperson zusammen und schließe die zu bestrahlende Halbzelle an den Minuspol des Digitalvoltmeters an. Die Schnappdeckelgläschen sollen zu etwa 2/3 mit PBB-Lösung gefüllt sein.
- Schalte die Bestrahlung ein. Beobachte und notiere den Spannungsverlauf während der Blaufärbung in der linken Halbzelle.
- Schalte das Licht aus, wenn die Lösung in der linken Halbzelle komplett blau ist und beobachte die Spannung und die Farbe noch ca. 2 min.
- Bewege dann die Konzentrationszelle auf der Tischfläche hin und her, damit Luft in die Lösung eingetragen wird. Beobachte dabei die Farbe der Lösung und den Spannungsverlauf.

E7 Photo-Blue-Bottle

Forschung zur Energieumwandlung und -speicherung



Station 5
Konzentrationszelle
mit Tic-Tac[®]-Dosen

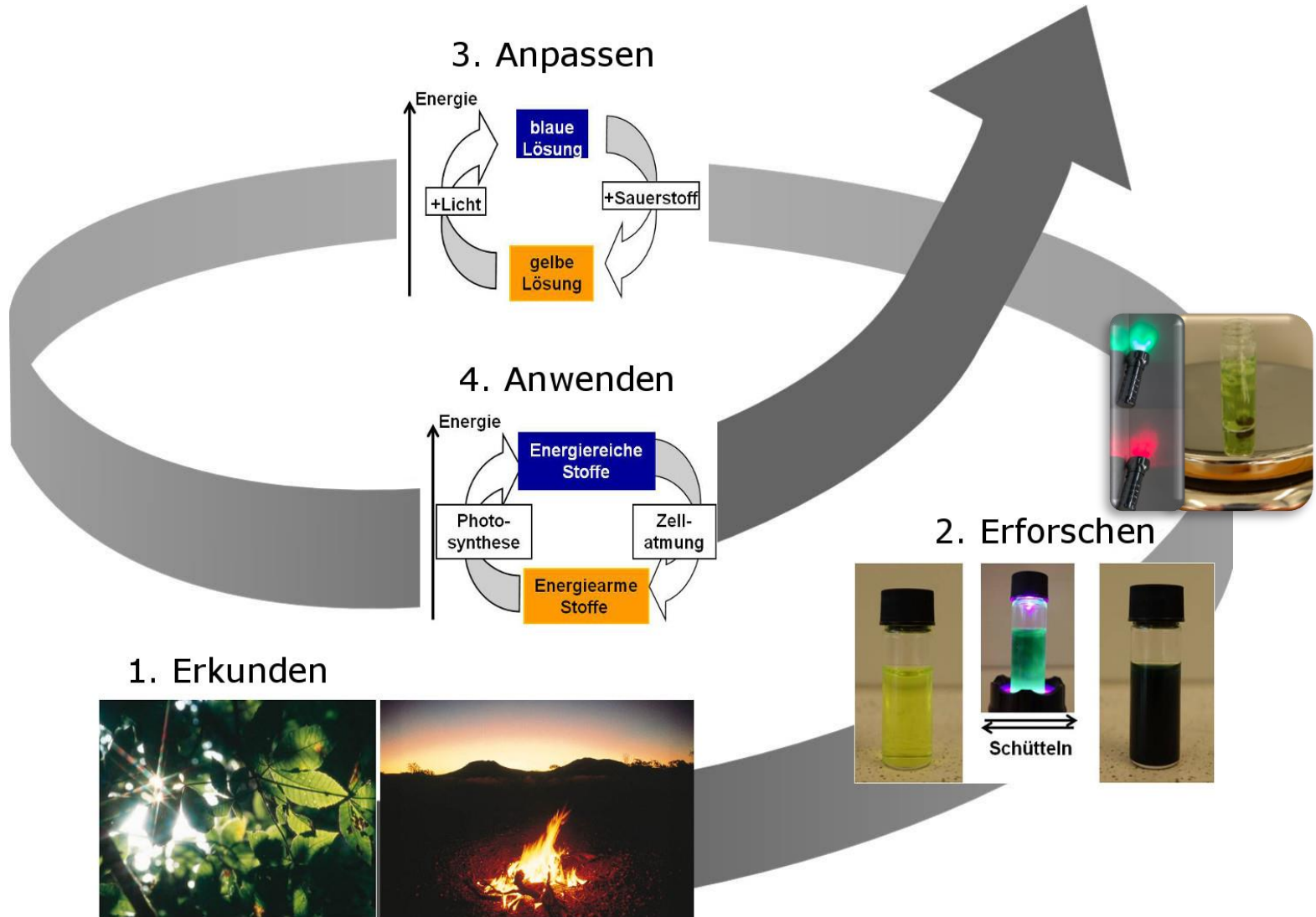
- Baue die photoelektrochemische Konzentrationszelle nach Anweisung durch die Betreuungsperson zusammen und schlieÙe die zu bestrahlende Halbzelle an den Minuspol des Digitalvoltmeters an. Die Schnappdeckelgläschen sollen zu etwa 2/3 mit PBB-Lösung gefüllt sein.
- Schalte die Bestrahlung ein. Beobachte und notiere den Spannungsverlauf während der Blaufärbung in der linken Halbzelle.
- Schalte das Licht aus, wenn die Lösung in der linken Halbzelle komplett blau ist und beobachte die Spannung und die Farbe noch ca. 2 min.
- Bewege dann die Konzentrationszelle auf der Tischfläche hin und her, damit Luft in die Lösung eingetragen wird. Beobachte dabei die Farbe der Lösung und den Spannungsverlauf.

Unterrichtsdesign - Beispiel für die Sek. I

Konstruktivistische Lernschleife zum Kontext „Kreislauf Photosynthese/Zellatmung“

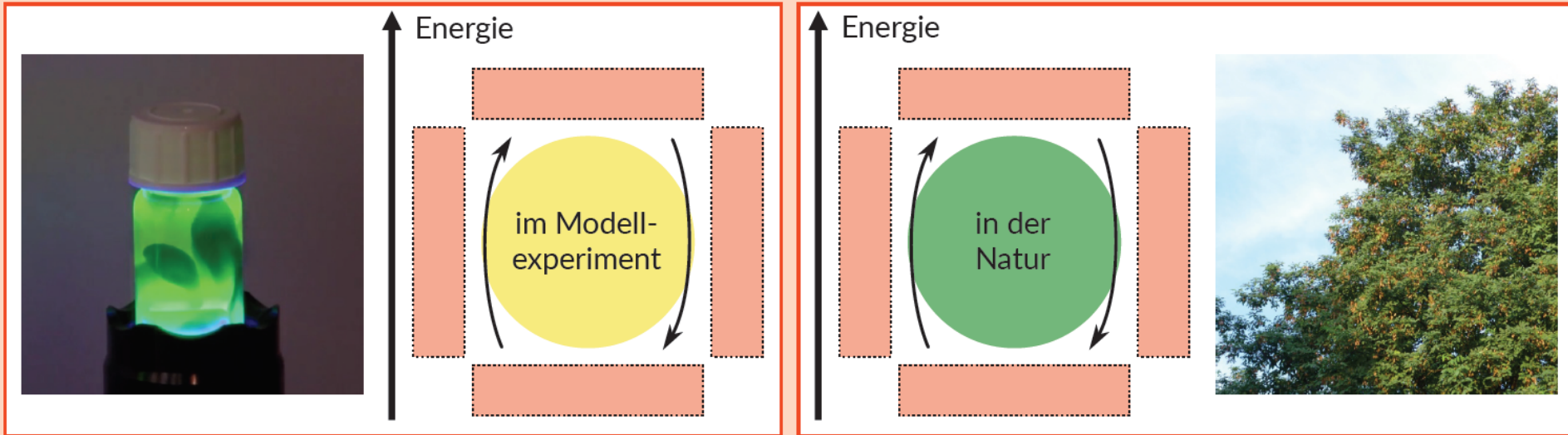


„Photosynthese und Atmung *en miniature*“



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:

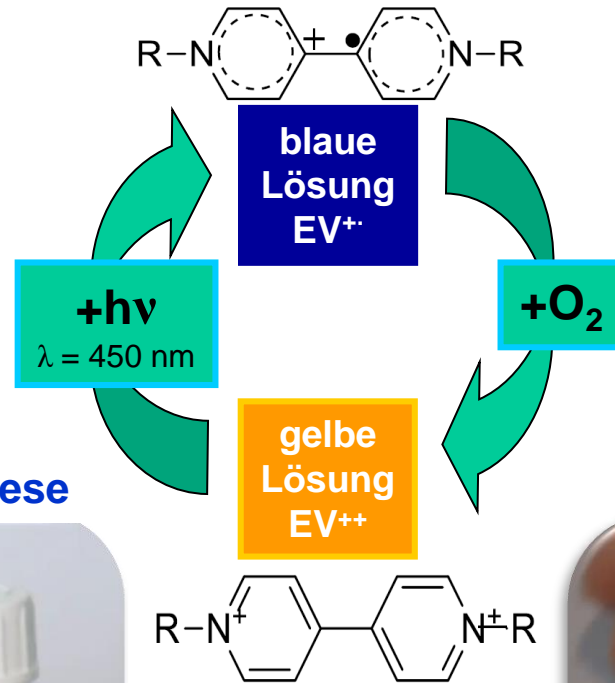
A5 „Ich verbrenne (beim Atmen) Kalorien.“ Nimm Stellung dazu, indem du dein Wissen über die Verbrennung (Oxidation) nutzt.

A6 Nenne alle Energieformen, die du bisher in den naturwissenschaftlichen Fächern kennengelernt hast. Gib eine Einsatzmöglichkeit und die Funktion der jeweiligen Energieform an.



Auswertung E4-E7 & Theor. Vertiefung

Photo-Blue-Bottle



Simulation der Photosynthese



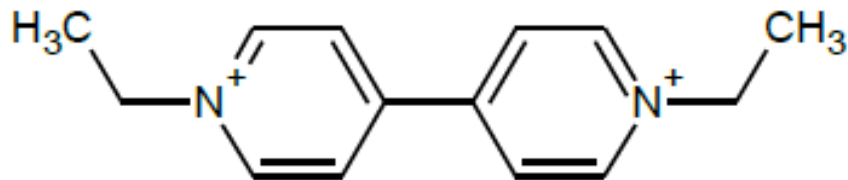
Simulation der Zellatmung



A18b: Entwickeln Sie eine Hypothese zur Erklärung des Farbunterschieds zwischen EV⁺⁺ und EV^{•+}

Ethylviologen statt Methylviologen

Ethylviologen



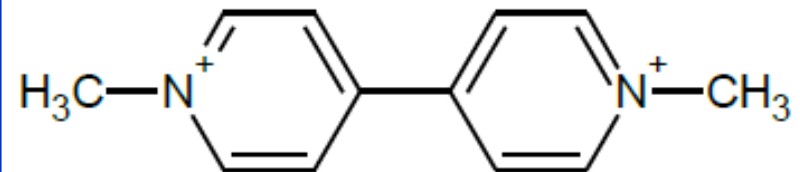
Gefahrstoffkennzeichnung

EU: Xn

GHS: 

Für den Einsatz in der Schule ab der 5. Jahrgangsstufe unter Einhaltung der TRGS500 gestattet.)

Methylviologen



Gefahrstoffkennzeichnung

EU (bis 2015): T⁺; N

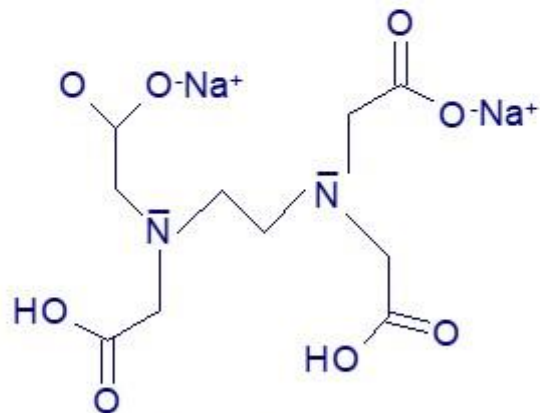
GHS: 

H372: „Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition.“
Nach RISU-NRW: „Hohe Gefährdung.“
=> Für den Einsatz in der Schule *nur bedingt geeignet*.

Chemikalien im PBB Experiment



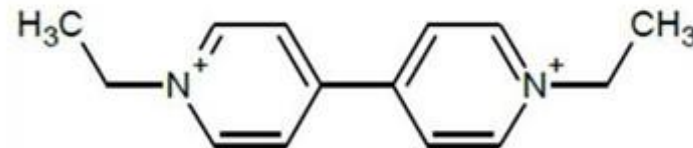
Proflavin PF⁺
(Diaminoacridinhemisulfat)



Opferdonor

EDTA

Ethylendiaminotetraessigsäure-
dinatriumsalz

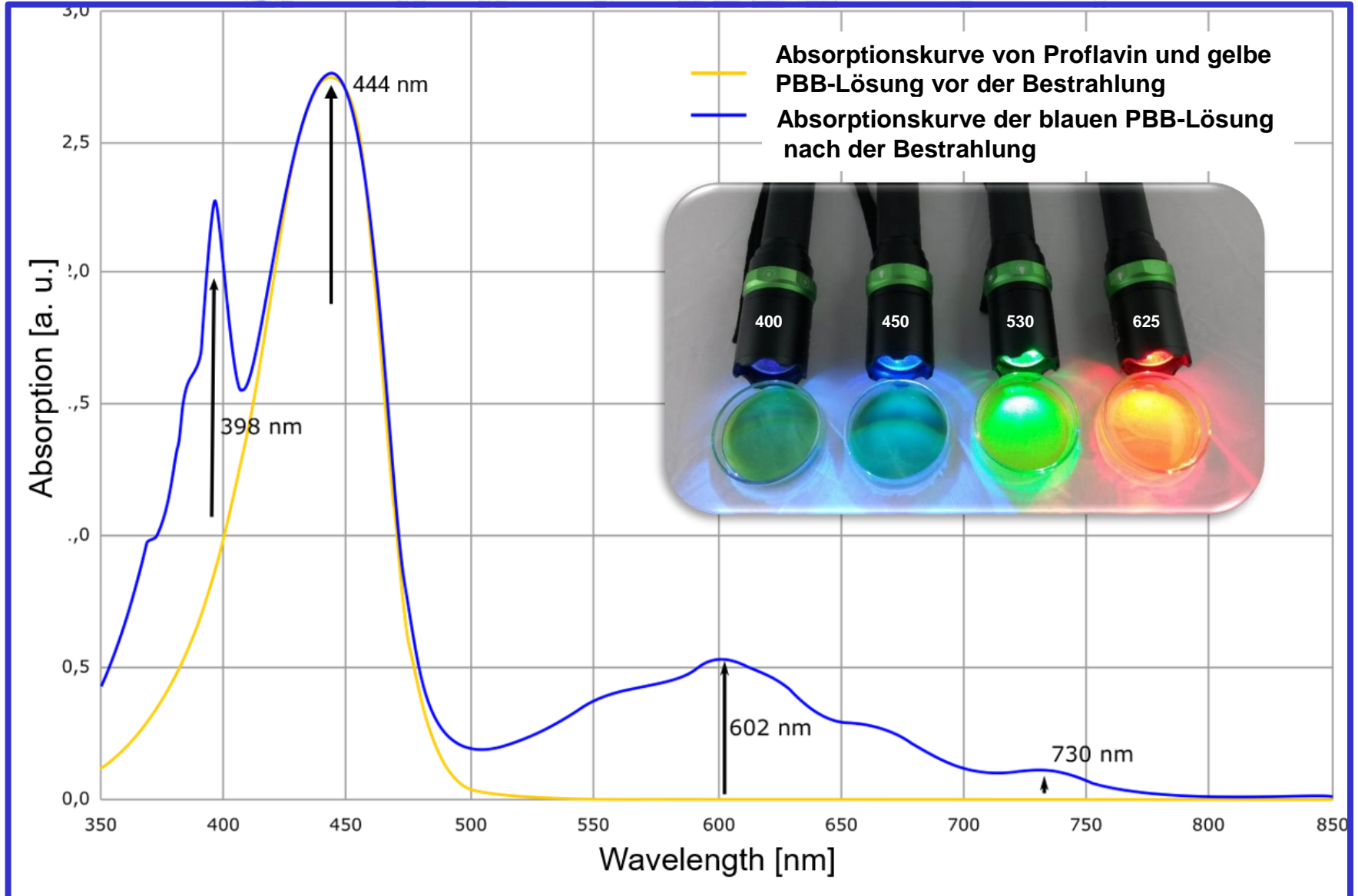


Substrat

Ethylviologen EV⁺⁺

(1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid)

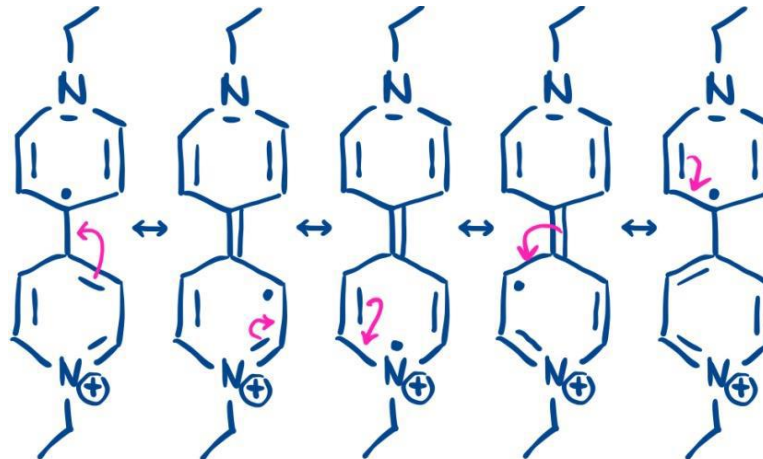
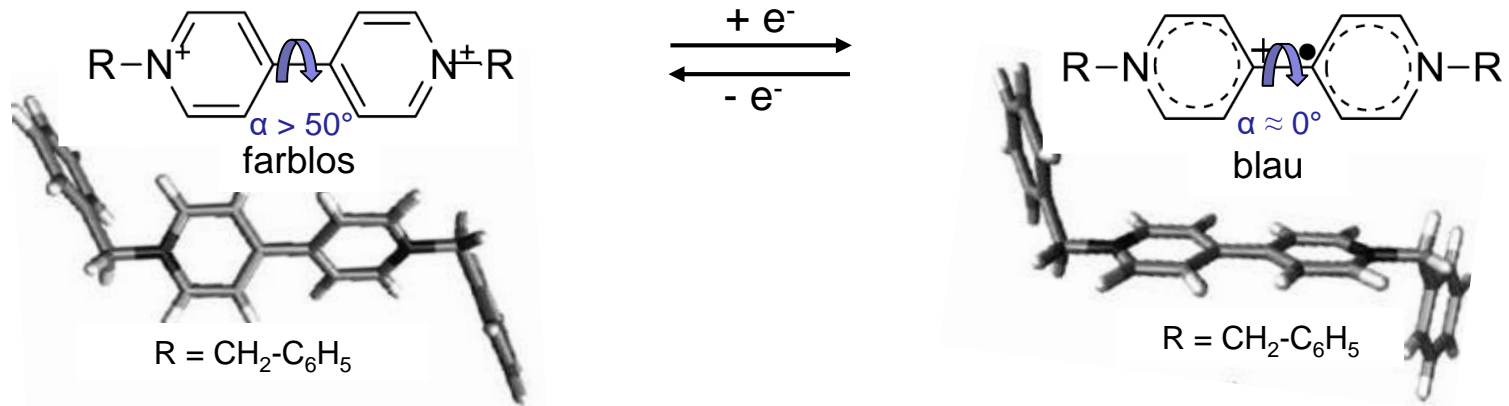
- **3 Chemikalien**
- **+ Luft**
- **+ Wasser**



A: Begründen Sie, warum die Blaufärbung der PBB-Lösung mit blauem Licht schneller erfolgt als mit violetterm

Photo-Blue-Bottle

Relation Molekülstruktur/Farbe bei EV^{++} und $EV^{\bullet+}$

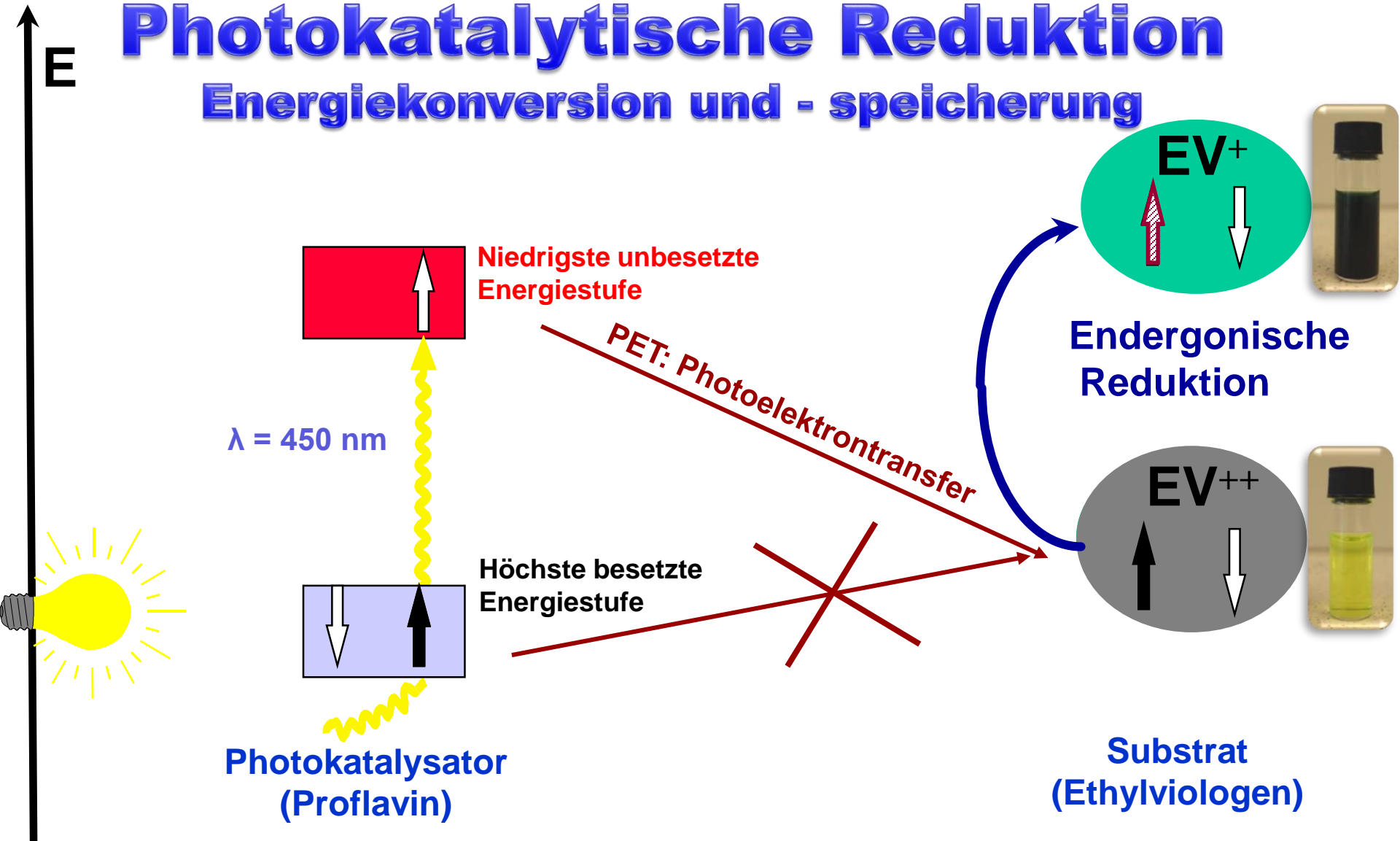


A18c: Nennen Sie den wesentlichen Unterschied in der Geometrie von EV^{++} und $EV^{\bullet+}$, erklären Sie ihn mithilfe der angegebenen Grenzstrukturen und formulieren Sie noch drei weitere Grenzstrukturen.



Photokatalytische Reduktion

Energiekonversion und -speicherung

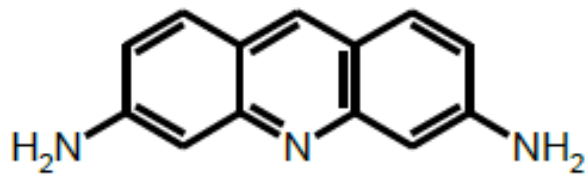


A: Erläutern Sie die endergonische Reduktion $\text{EV}^{++} \rightarrow \text{EV}^+$ und benennen Sie die antreibende Energieform



Angeregter Zustand dramatische Änderung des Redoxpotentials

Proflavin



*1/2 H₂SO₄

3,6-Diaminoacridin-hemisulfat

$$E^{\circ}(\text{PF}^+)/\text{PF}^{++} = + 1,1 \text{ V}$$

$$E^{\circ}(\text{PF}^+)/\text{PF}^{++}* = - 0,6 \text{ V}$$

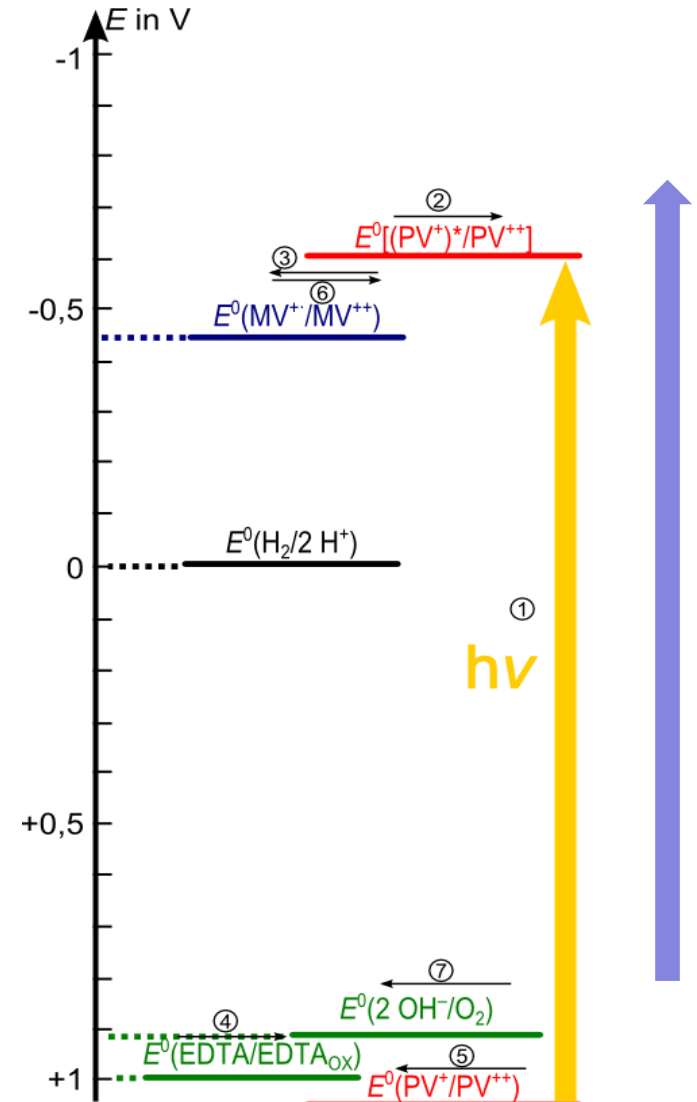
Photo-Cat im Photo-Blue-Bottle Experiment

$$E^{\circ}(\text{Ag})/\text{Ag}^+ = + 0,8 \text{ V}$$

$$E^{\circ}(\text{Zn})/\text{Zn}^{++} = - 0,76 \text{ V}$$

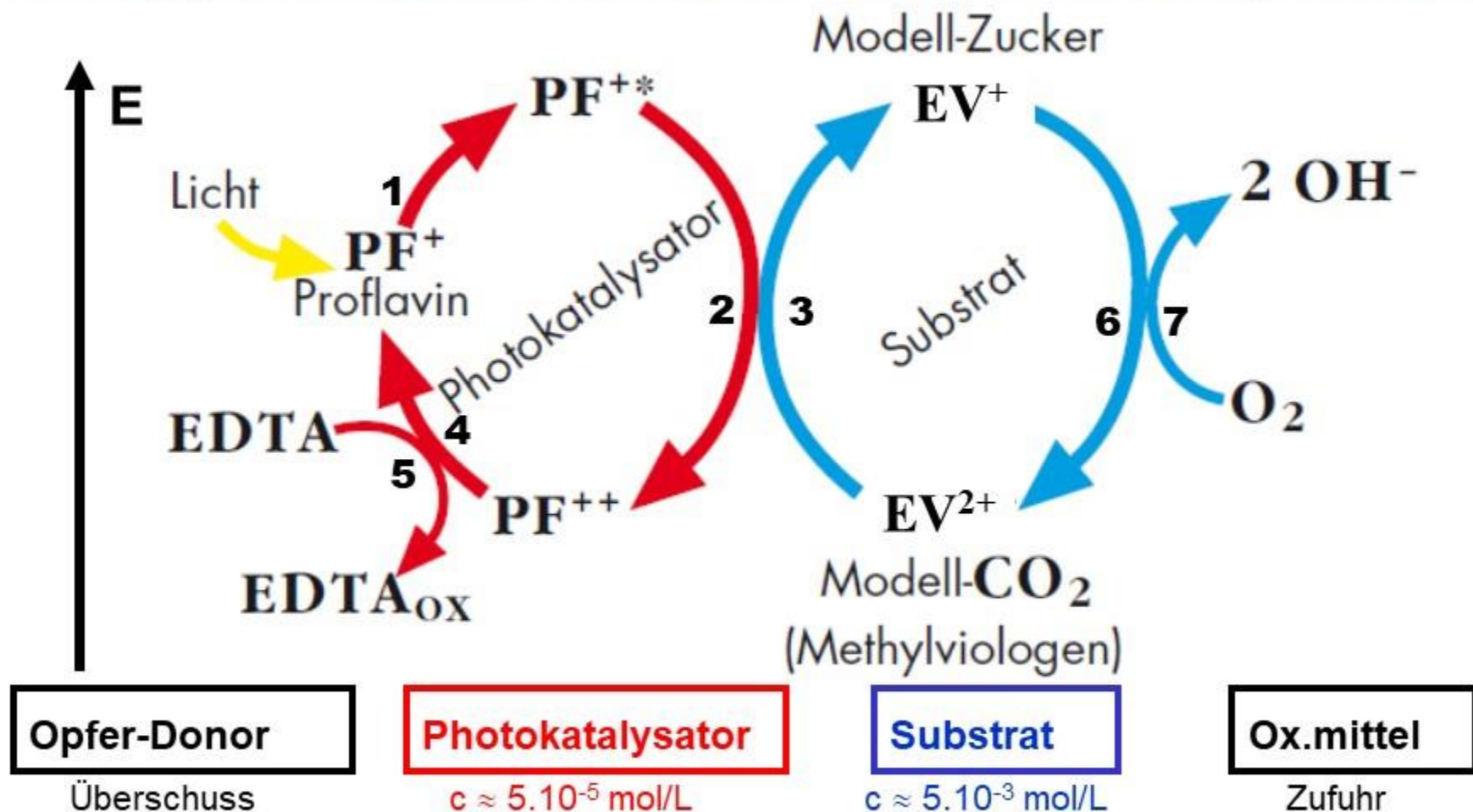
Bekannt aus Elektrochemie-Versuchen

Redoxpotentiale



A: Vergleichen Sie die Änderungen der Redoxpotentiale bei den Paaren aus dem gelben und blauen Feld.

Gekoppelte Reaktionszyklen beim PBB Experiment



A19: 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.

Energiekonversion und -speicherung beim Photo-Blue-Bottle Experiment

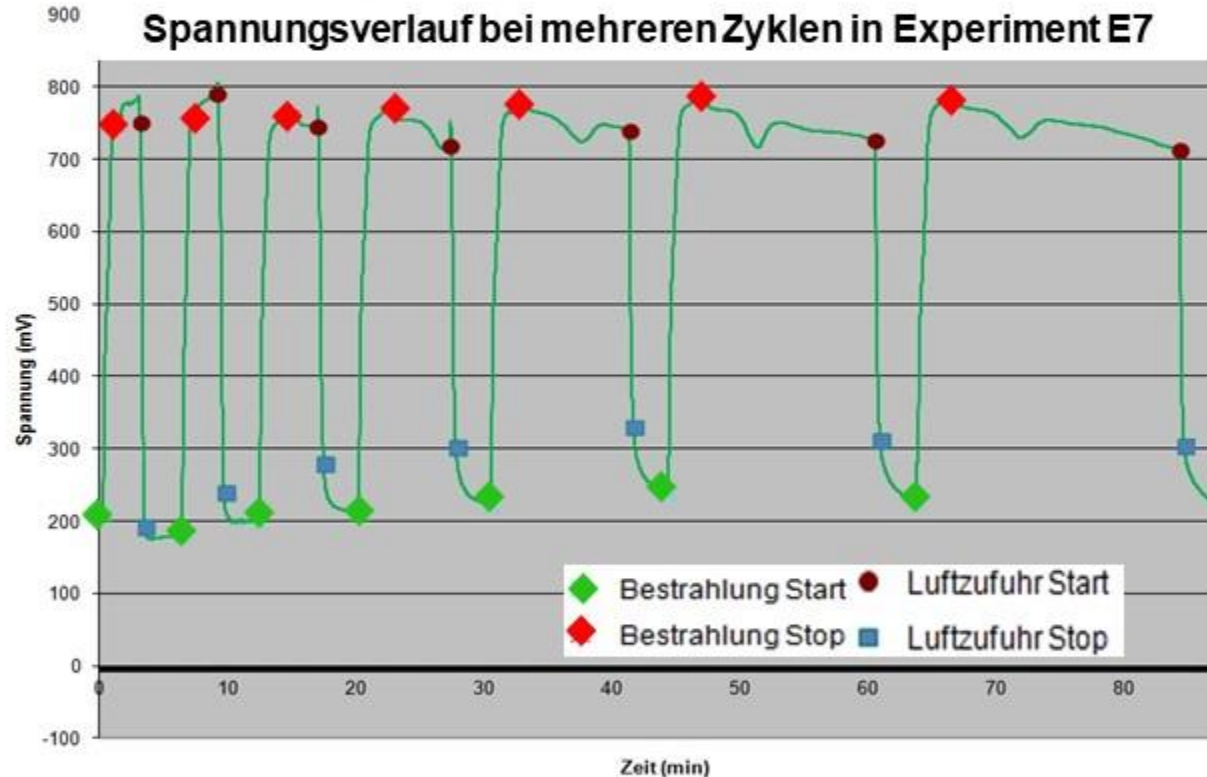


E7



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

Spannungsverlauf bei mehreren Zyklen in Experiment E7



A21: Begründen Sie mithilfe der NERNST-Gleichung, warum die bestrahlte Halbzelle an den Minuspol des Digitalvoltmeters angeschlossen wird.

A22: Erläutern Sie, warum die PBB-Konzentrationszelle als „Solarakku“ bezeichnet werden kann.

A23: 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.

E
X
P
E
R
I
M
E
N
T

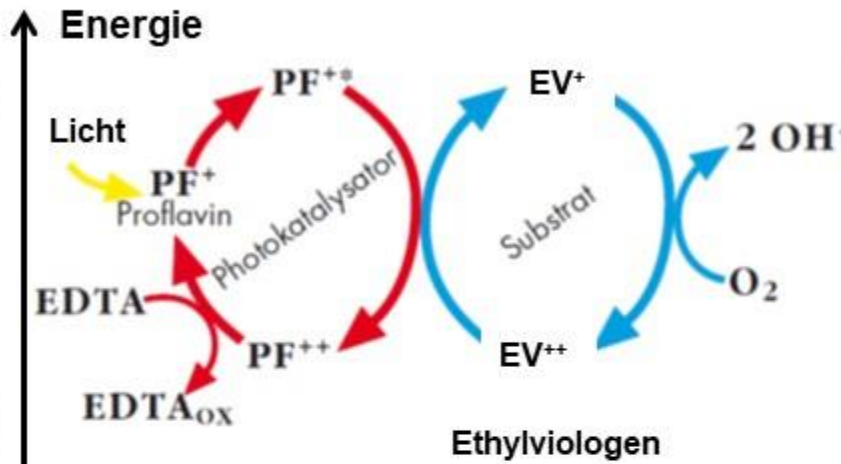
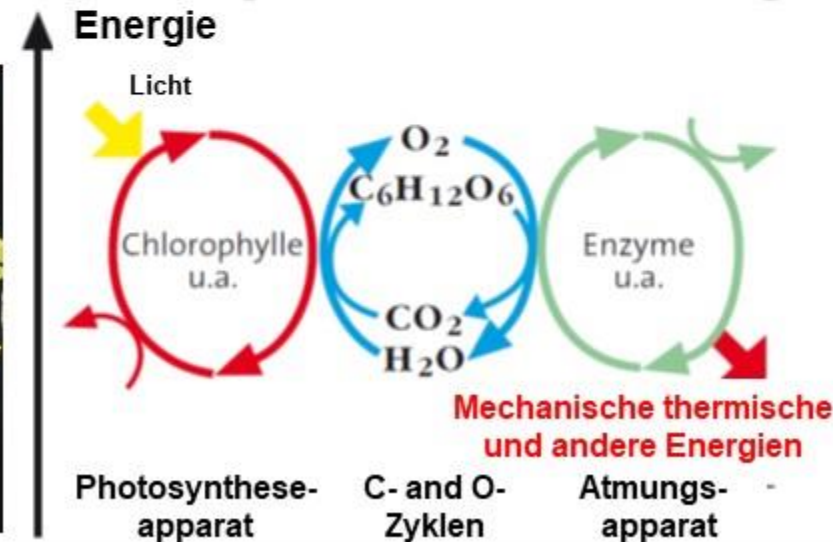


Photo-Blue-Bottle – Modellexperiment für Photosynthese/Atmung ?

N
a
t
u
r



A24: 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

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

Phänomene Beteiligung von:

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

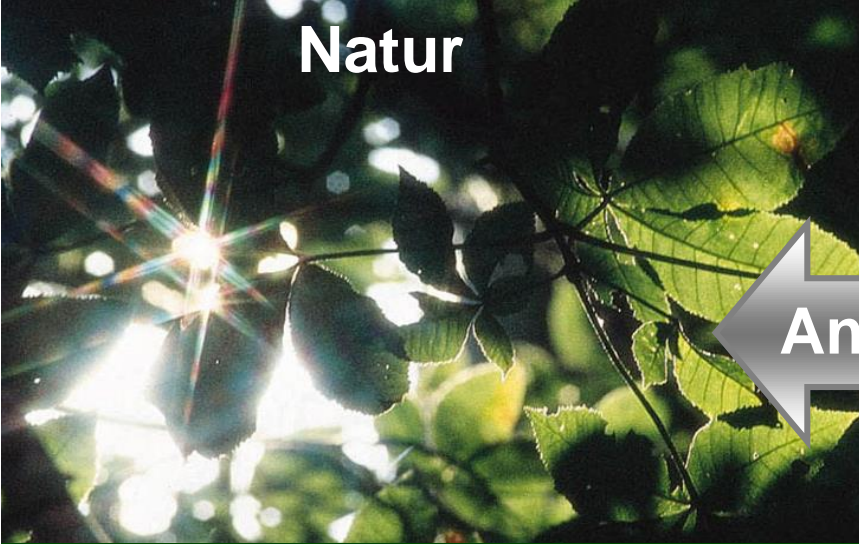
Stoffkreisläufe, Stoffe:

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

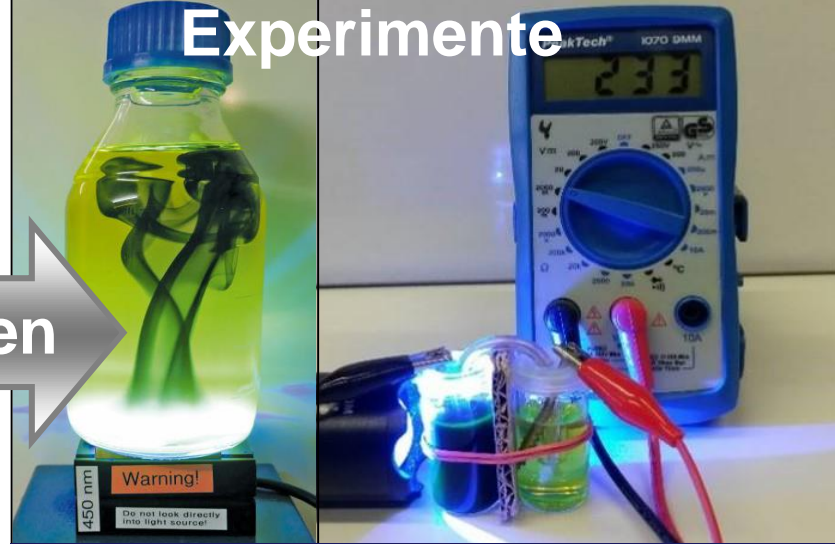
Reaktionstypen, Energiekonversion:

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

Natur



Experimente



Analogien

Photosynthese/Atmung

Phänomene Beteiligung von:

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

Stoffkreislauf

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

- a) C, O, Chl...
- b) Stoffverbrauch bei der Ox.

Reaktionstypen, Energiekonversion:

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

Photo-Blue-Bottle

Phänomene Beteiligung von:

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

Stoffkreislauf

Geschlossenes System, C-Kreislauf
Wenig Stoffe und Reaktionsschritte

- a) MV und PF
- b) Stoffverbrauch bei der Ox.

Reaktionstypen, Energiekonversion:

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

Unterschiede



<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/>

Photosynthese – ein Fall für zwei

Teil 1: Kohlenstoffkreislauf in der Biosphäre

Teil 2: Funktionen von Chlorophyll und β -Carotin

<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photosynthese-ein-fall-fuer-zwei-teil-1-von-2.html>

<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photosynthese-ein-fall-fuer-zwei-teil-2-von-2.html>



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

A 28: Präsentieren Sie den jeweiligen Lehrfilm. Diskutieren und vergleichen Sie die Experimente und Behauptungen aus dem Film mit Ihren Ergebnissen und gewonnenen Erkenntnissen. (Hinweis: Wahlweise können/sollten einzelne Filmsequenzen präsentiert und diskutiert werden.)



Künstliche Photosynthese

Keine 1:1 Kopie der natürlichen Photosynthese



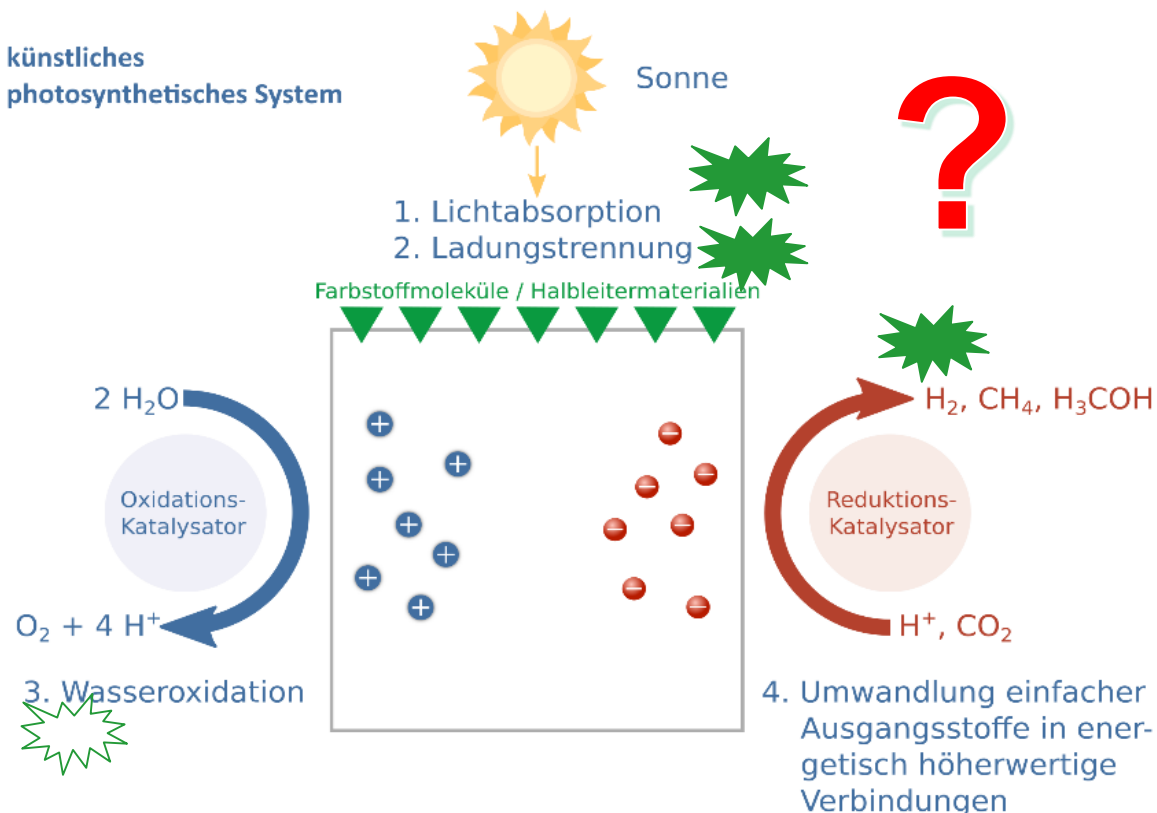
Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIEN
DER WISSENSCHAFTEN

Stellungnahme, Mai 2018

künstliches
photosynthetisches System

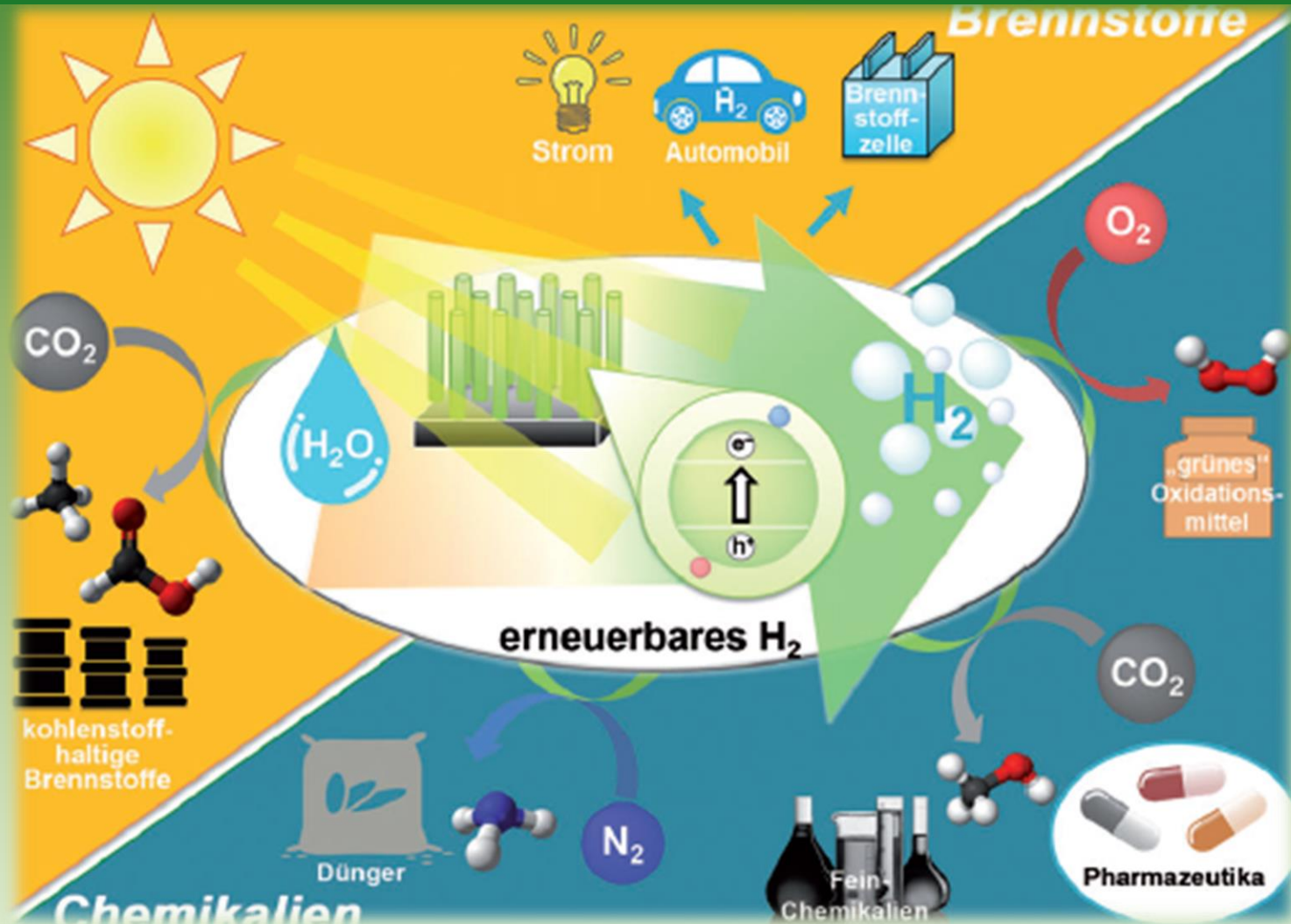


1. Licht → elektrische Ladung
2. Protektion von Blattpigmenten
3. Robuste, reparierbare Teilsysteme



Künstliche Photosynthese

Szenarien mit „grünen Brennstoffen“ (H_2 , CH_4 , CH_3OH , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ u.a.)





Experiment E8



Photo-Cat Demo-Set

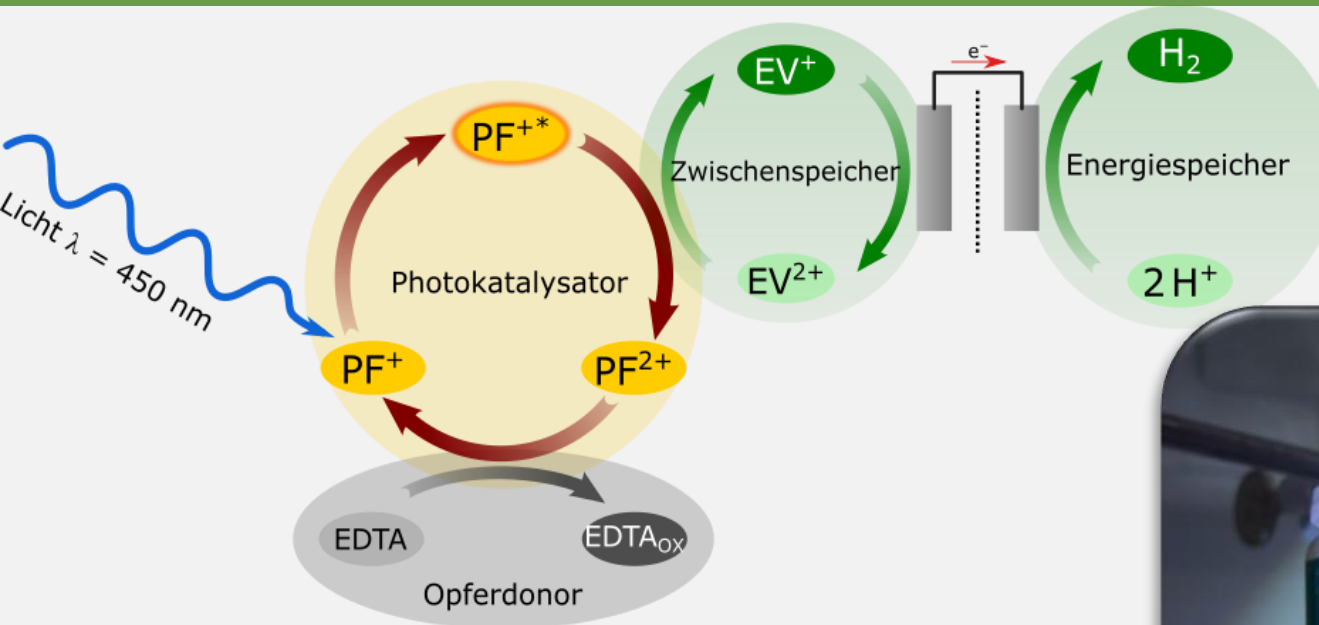
Photokatalytische Herstellung von „grünem“ Wasserstoff [1]:

50 mL PBB-Lösung (aus den voranstehenden Experimenten) und 100 mg Reduktionskatalysator (5%Pt auf Aluminiumoxid-Fasern) werden in einem Schraubdeckelglas unter magnetischer Rührung mit blauen LED ($\lambda = 450 \text{ nm}$, $2 \times 950 \text{ mW}$) ca. 30 min lang bestrahlt. Das entweichende Gas wird pneumatisch in einem transparenten und flexiblen Siliconschlauch aufgefangen, in eine 10-mL Plastikspritze übernommen und langsam auf den vorher ausgeglühten Reduktionskatalysator geleitet. Der glüht auf – ein Nachweis für Wasserstoff.

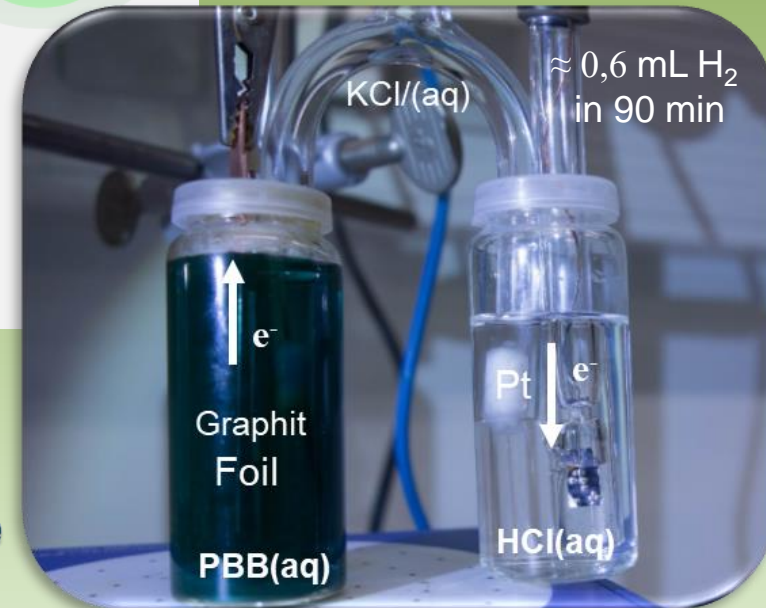
[1] <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/experimentierkoffer-materialiensets/qr-33-experimentierset-photo-cat/demoversion/>

Unterwegs zur künstlichen Photosynthese:

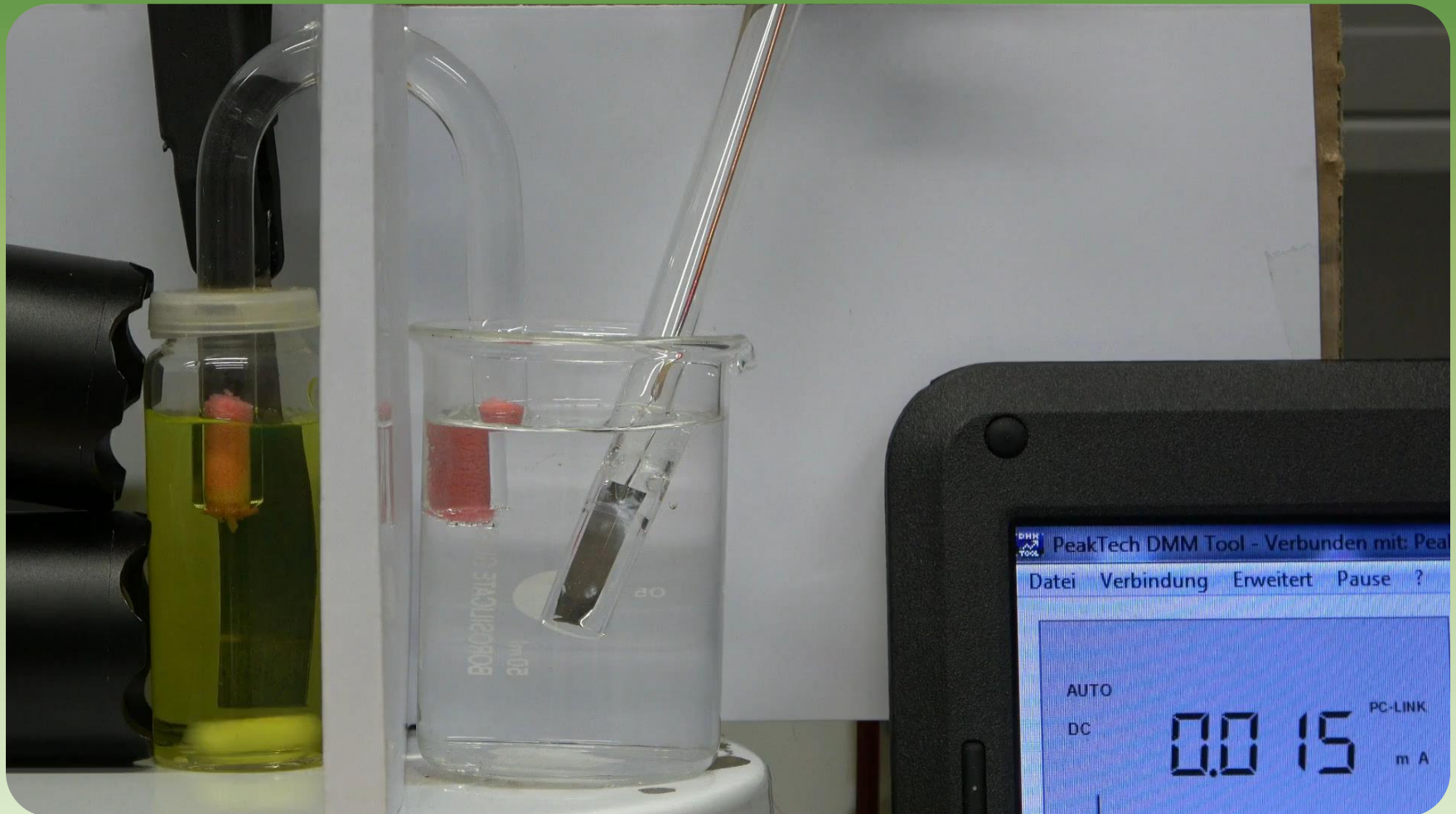
- Ist die Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff mit dem Photo-Blue-Bottle Experiment möglich?



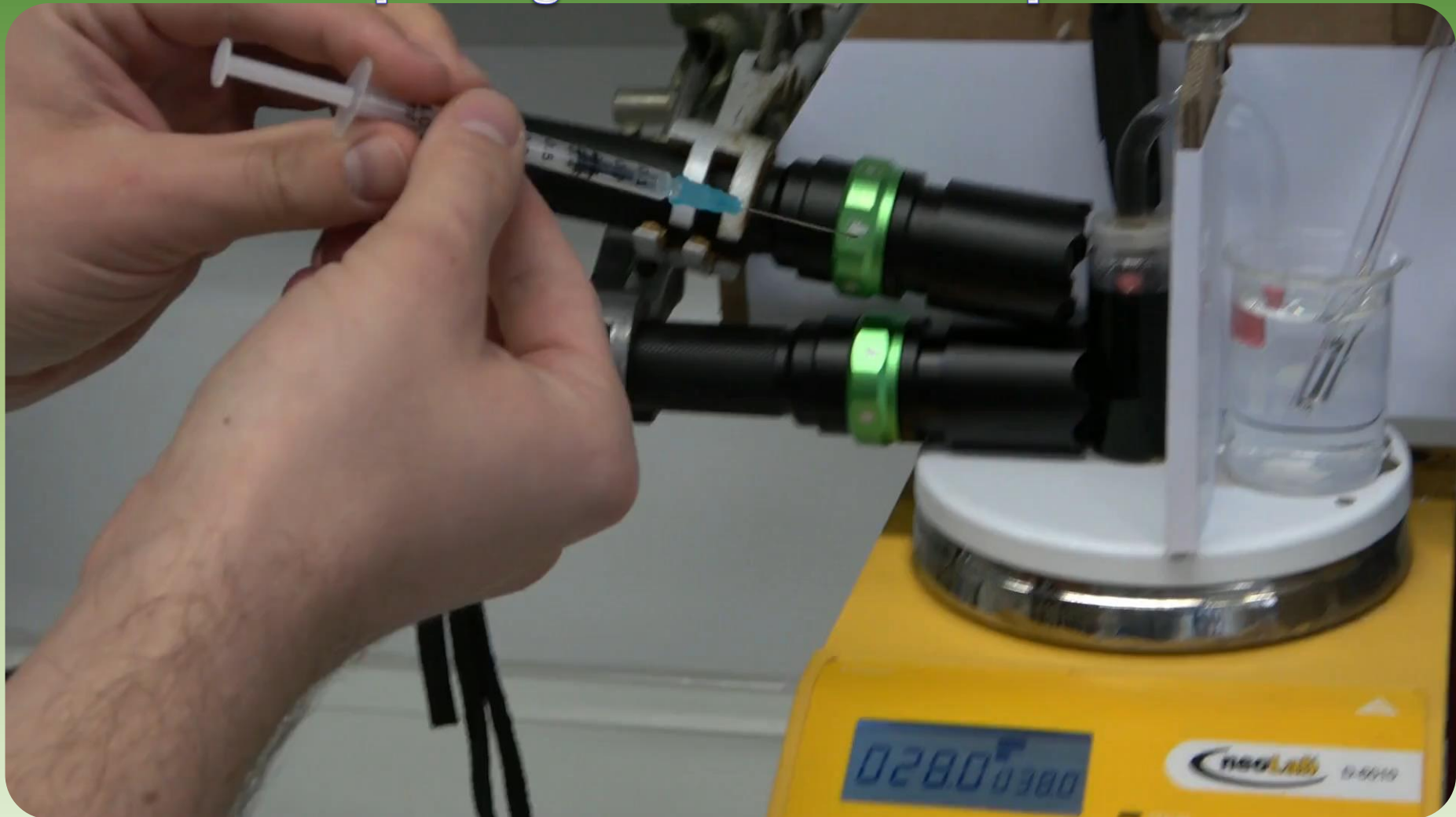
Photogalvanische 2-Topf Zelle



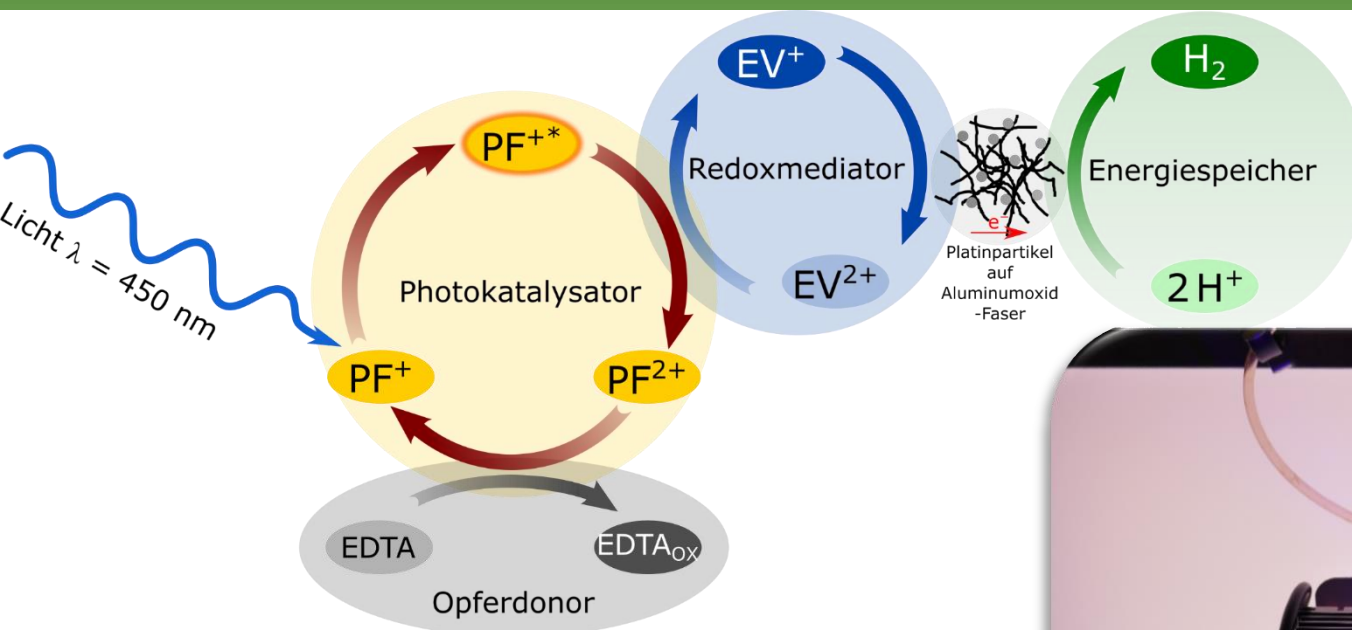
Wasserstoff mit Photo-Blue-Bottle in der photogalvanischen 2-Topf Zelle



Wasserstoff mit Photo-Blue-Bottle in der photogalvanischen 2-Topf Zelle

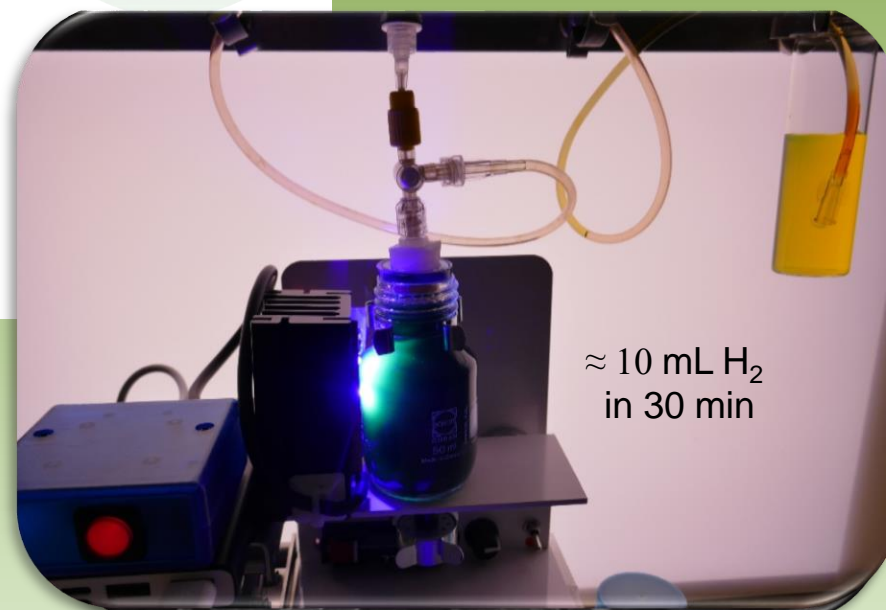


Wasserstoff mit Photo-Blue-Bottle in der photokatalytischen 1-Topf Zelle



PBB-Lösung:

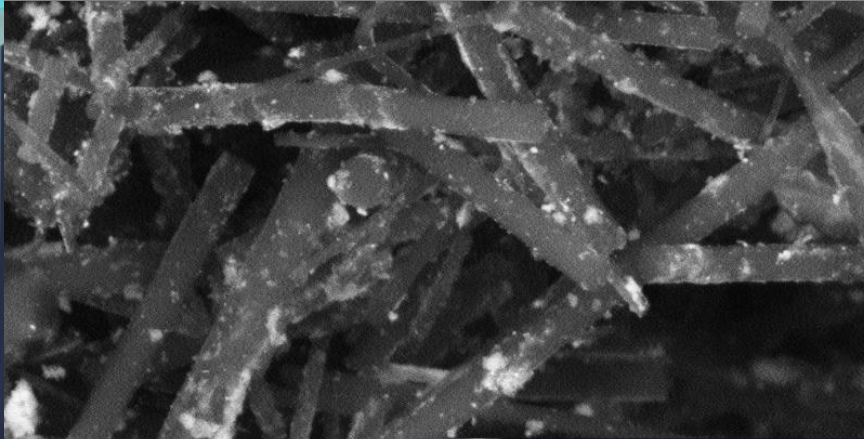
- pH \cong 4,5 (EDTA-Puffer)
- E°(H₂/2H⁺) = -0,265 V
- E°(EV⁺/EV²⁺) = -0,449 V
- + Nano-Pt@Al₂O₃



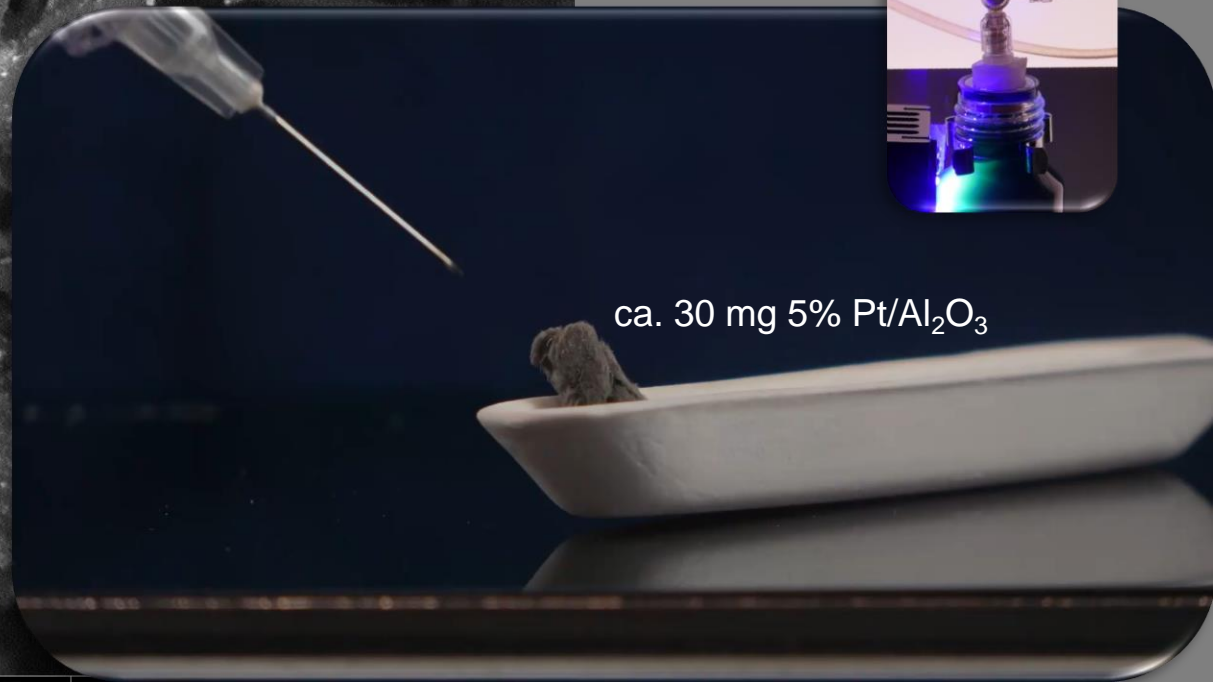
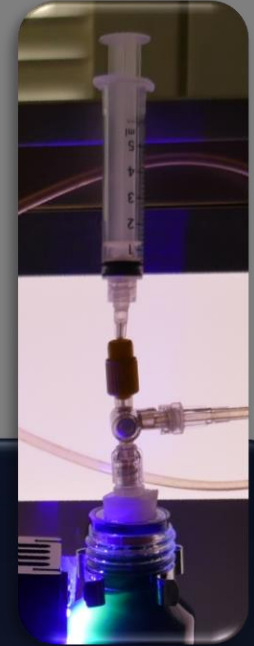
Photokatalytische 1-Topf Zelle



H₂ – Nachweis im Mikromaßstab



REM-Aufnahme, 5000x
Platin-Nanopartikel auf
Aluminiumoxid-Fasern

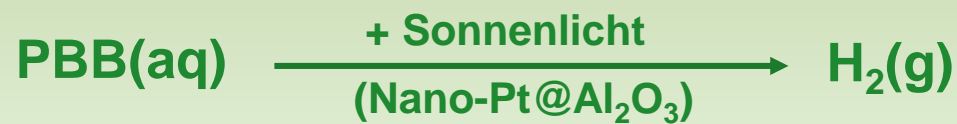


ca. 30 mg 5% Pt/Al₂O₃

**Grüner
Wasserstoff
mit Sonnenlicht**



Luisa, 6 J



Unterwegs zur Künstlichen Photosynthese



H₂ in PBB 2-Topfzelle



H₂ in PBB 1-Topfzelle



Pilot-Solarreaktor

Zweitopfzellen

Beobachtbare Phänomene in den beiden Halbzellen, die auf Elementarprozesse hinweisen

gut geeignet für den **Schulunterricht** und die Lehre an **Hochschulen**

Eintopfzellen

Kompakterer Aufbau und bessere Leistungsparameter der Zelle als Ganzes

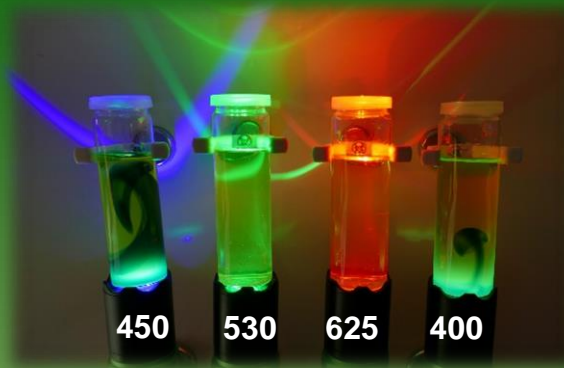
geeignet für die Lehre an **Schulen** und **Hochschulen** sowie für die **Forschung**

Technik

Ökonomische & ökologische Anforderungen

geeignet für **Pilotanlagen** und für großtechnische **Industrieanlagen**

Lichtlabor Pflanze & Künstliche Photosynthese



Relation: Licht-Energie-Farbe-Struktur

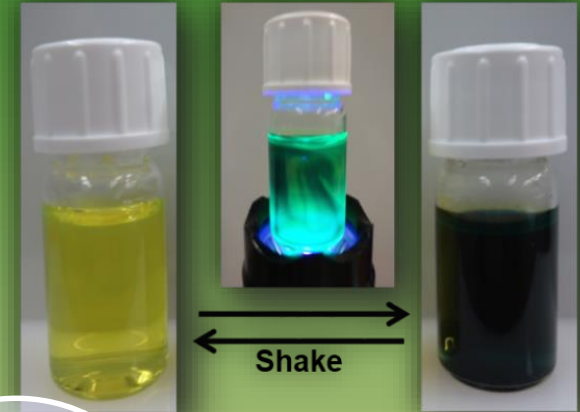


Photo-Blue-Bottle



β -Carotin und Chlorophyll

Energie
Umwandlung und Transfer

Photonen & Moleküle
Relationen
L-E-F-S

C-Kreislauf
Photosynthese-Atmung

Fachinhalte aus:

- ▶ Chemie
- ▶ Biologie
- ▶ Physik
- ▶ Geographie

Elektrochemie
Galvanische Zellen

Künstliche Photosynthese
„grüner“ Wasserstoff

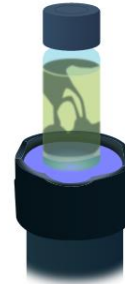
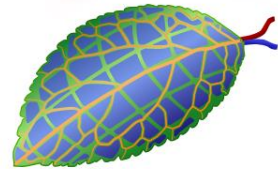


PBB Konzentrationszelle



H₂ in PBB 1-Topfzelle

Chemie mit Licht - Innovative Didaktik für Studium und Unterricht



Basis-Version
Photo-Blue-Bottle
Kreislauf Photosynthese/Atmung
Preis: 196,- €

<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/experimentierkoffer-materialiensets/qr-33-experimentier-set-photo-cat/basisversion/>



Demo-Version
Photo-Blue-Bottle
Herstellung von „grünem“ Wasserstoff
Preis: 360,- €

<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/experimentierkoffer-materialiensets/qr-33-experimentier-set-photo-cat/demoversion/>



Unterricht

Experimente aus diesem Workshop in
Lehrgängen der MINT-Fächer

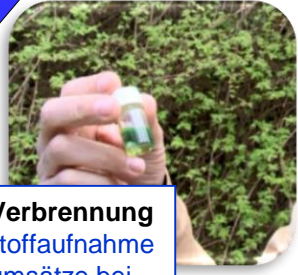
Curriculare Einbindung der Inhalte aus dem Workshop Lichtlabor Pflanze & Künstliche Photosynthese



Michael Tausch
Chemie mit Licht
Innovative Didaktik für Studium und Unterricht
MOREMEDIA Springer

Chemie, Sek. I

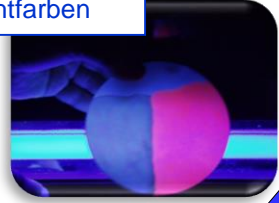
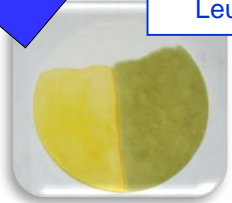
Luft und Verbrennung
als Sauerstoffaufnahme
Energieumsätze bei
Oxidation u. Reduktion



Chemische Reaktion
Stoff- und Energie-
umwandlung
Wärme, ... Licht

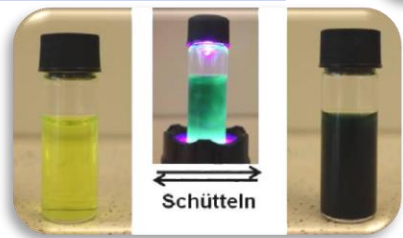


**Stoffe und Stoff-
eigenschaften**
Farben und
Leuchtfarben



Chemische Gleichgewichte
Energie und Gleichgewicht
photostationärer Zustand

Stoffkreisläufe
C-Kreislauf bei der
Photosynthese-
Atmung ...

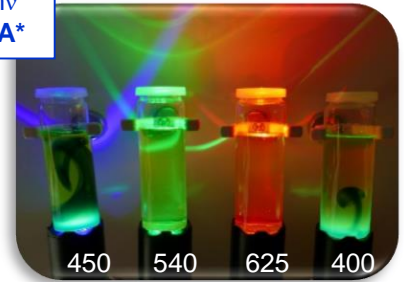
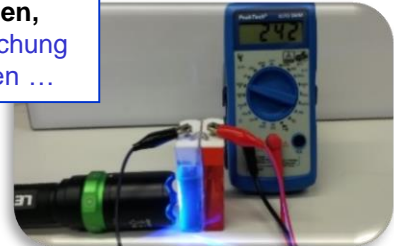


Chemie, Sek. II

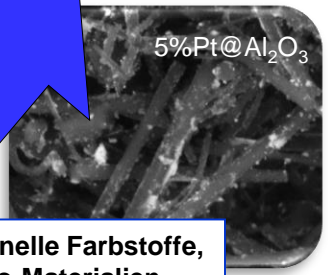
**Redoxreaktionen,
Elektrochemie,
Galv. Zellen,
Nernst-Gleichung
Konz.-zellen ...**



**Energetik, Katalyse,
Reaktionskinetik**
Lichtquanten, $E=h\nu$
Basiskonzept: A/A^*

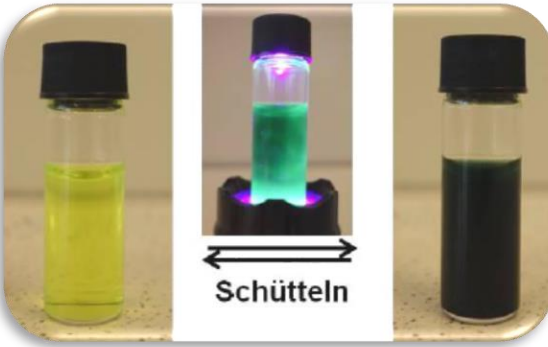
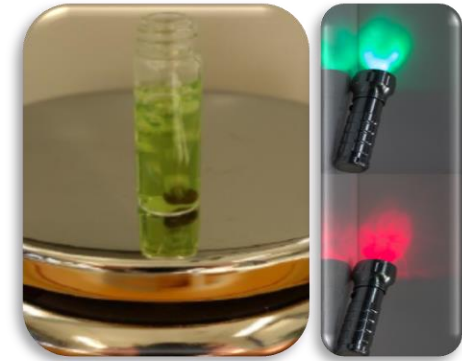
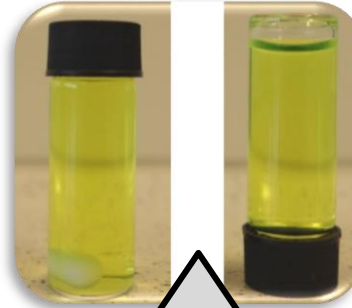


**Funktionelle Farbstoffe,
Nano-Materialien**
Photokatalysatoren
Tandem: Nano & Photo

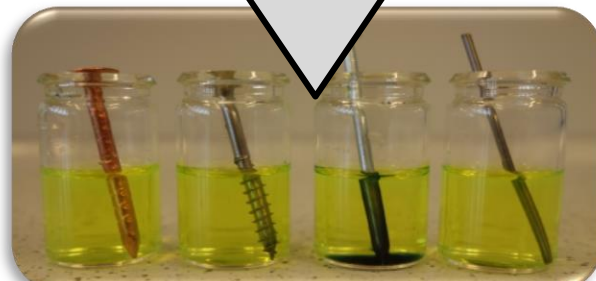
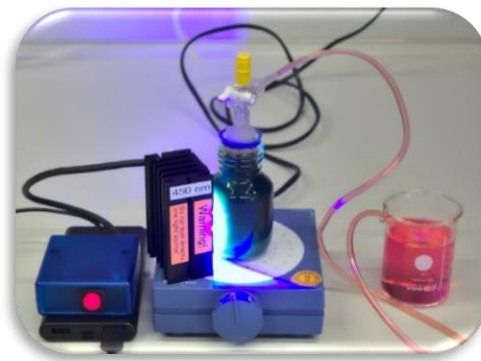


Unterrichtsdesign - Beispiel für die Sek. II

Stationenlernen im Expertenmodus zum Kontext „Kreislauf Photosynthese/Zellatmung“ und „Grüner Wasserstoff“



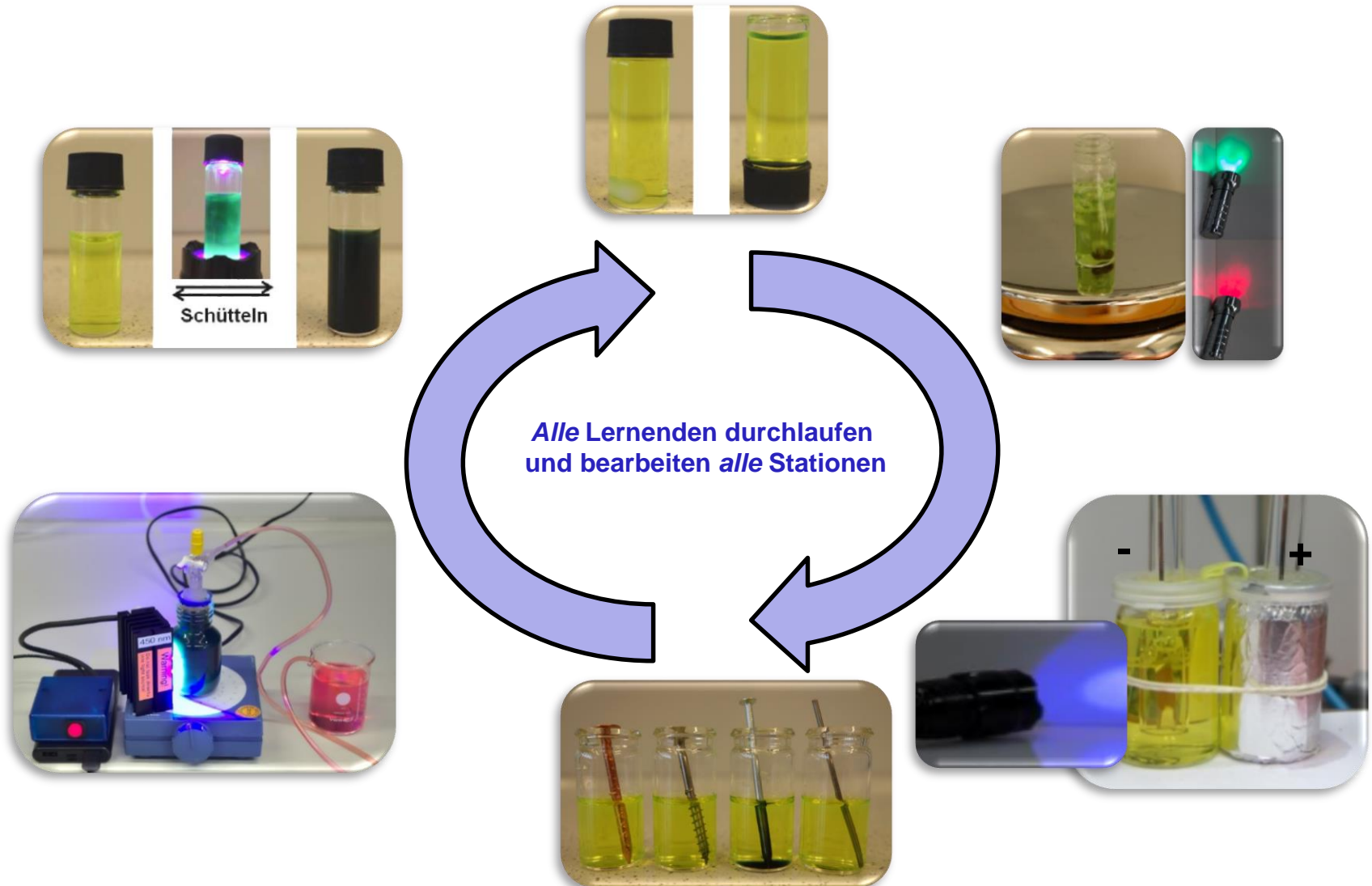
Jeweils eine Gruppe Lernender bildet sich an *einer* Station zu „Experten“ aus und präsentiert anschließend ihre Experimente und Erkenntnisse der gesamten Lerngruppe



Unterrichtsdesign - Beispiel für die Sek. II

Stationenlernen im Rotationsmodus zum Kontext

„Kreislauf Photosynthese/Zellatmung“ und „Grüner Wasserstoff“



LED statt Gasbrenner

Mehr Licht für nachhaltigen Chemieunterricht

ChiuZ, 2022 (3)
mit PBB-Varianten

Didaktische
Reduktion

top
down

Universität: Von den Grundlagen der Quantenmechanik, der Theoretischen, Physikalischen, Anorganischen und Organischen Chemie zu den **konzeptionellen Grundlagen der Photochemie** für das Lehramtsstudium im 21. Jahrhundert.

Sekundarstufe II: Von den konzeptionellen Grundlagen der Photochemie zu den lehrplankonformen Basiskonzepten und Inhalten des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe II, z.B. **Energetik, Redoxreaktionen, Elektrochemie, Gleichgewichte, Katalyse, Reaktionstypen, Farbstoffe, Kunststoffe, nanostrukturierte Materialien, nachhaltige Chemie.**

Sekundarstufe I: Phänomene mit Lichtbeteiligung zu den lehrplankonformen Basiskonzepten und Pflichtinhalten des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I, z.B. **Farbe als nicht charakteristische Stoffeigenschaft, Licht als Energieform bei chemischen Reaktionen, Antrieb von Reduktionen mit Licht, Abgabe von kaltem Licht bei Oxidationen.**

bottom
up

Konstruktivistische
Entwicklung



Kap. 6: Konzeptionelle Grundlagen der Photochemie

Chemie mit Licht



Lehrplankonforme Einbindung in den Unterricht

Pflichtinhalte im LP

Sekundarstufe I:

Stoffeigenschaften (S I)

Chemische Reaktion (S I)

Sekundarstufe II:

Energieumwandlungen

Modelle und Konzepte für Atome,
Moleküle und Halbleiter

Stoffkreisläufe

Elektrochemie, Redoxreaktionen

Katalyse, Katalysator, Energieverläufe
von Reaktionen,
Chemisches Gleichgewicht

Reaktionstypen
in der Organischen Chemie

Farbstoffe

Kunststoffe und nanostrukturierte
Materialien

Photochemische Inhalte als Anknüpfungen

Farben und Leuchtfarben (Lumineszenz), Farbe - (k)eine Stoffeigenschaft (Solvatochromie)

Energieform Licht als energetischer Antrieb für Reaktionen und als Ergebnis aus Reaktionen (photochemische Reaktion bzw. Chemolumineszenz)

Umwandlung von Licht in elektrische Energie und *vice versa*: Photovoltaische, photogalvanische und photoelektrochemische Zellen bzw. LED und OLED

Energiestufen-Modell für Moleküle, Energiebänder-Modell für Metalle, Halbleiter und Isolatoren, Konzept vom Grundzustand und elektronisch angeregten Zuständen

Kohlenstoffkreislauf Photosynthese/Atmung in der Biosphäre, Stoffkreisläufe in der Atmosphäre

Elektronentransferreaktionen in photogalvanischen und photovoltaischen Zellen sowie in photokatalytischen Redoxreaktionen

Photokatalyse und Photokatalysator: Wirkungsweise, Vergleich mit Katalyse und Katalysator Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen chemischem Gleichgewicht und photostationärem Zustand in natürlichen und technischen Systemen

thermische und photochemische Reaktionen: Radikalkettenreaktionen, Isomerisierungen u.a.

herkömmliche und funktionelle Farbstoffe (photochrome, thermochrome, solvatochrome Farbstoffe, Fluorophore, Photoinitiatoren, -sensibilisatoren, -katalysatoren etc.).

elektrisch leitende und halbleitende Kunststoffe, Kunststoffe mit photoaktiven molekularen Schaltern



Teaching@Distance

in der corona-Pandemie



Teaching@Distance

Sek. I



Lernpfad mit den PBB Experimenten auf Bildungsservern

- INFO für LuL zum Einsatz im Unterricht
- Motivation für SuS (Energieformen bei chem. R.)
- Digitale Arbeitsblätter mit Arbeitsanweisungen
- Links zu 4 Kurzvideos mit dem Basisexperiment
- Austausch der Ergebnisse via Handy & Internet



<https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=13243>


<https://cloud.schulcampus-rlp.de/edu-sharing/components/search>

https://nibis.de/photochromie-solvatochromie-molekulare-schalter_15510



Teaching@Distance

Sek. II



**Stoff- und Energie-
umwandlungen
beim Kreislauf
Photosynthese-Zellatmung**

Sek. II (Chemie & Biologie)



Lernpfad mit den PBB Experimenten
auf Bildungsservern

- INFO für LuL zum Einsatz im Unterricht
- Szenario für SuS (Stichwort: *fridays 4 future*)
- Links zu digitalen Arbeitsblätter
- Links zu Lehrfilmen (*Photosynthese – ein Fall für 2*)
- Austausch der Ergebnisse via Handy & Internet

<https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=13243>

https://cloud.schulcampus-rlp.de/edu-sharing/components/search_

https://nibis.de/stoff--und-energieumwandlungen-beim-kreislauf-photosynthese-zellatmung_15501



Ende

„Lichtlabor Pflanze“ und
„Künstliche Photosynthese“