



BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

Michael W. Tausch

# Lichtlabor Pflanze und Künstliche Photosynthese





# Natürliche Photosynthese in Zahlen

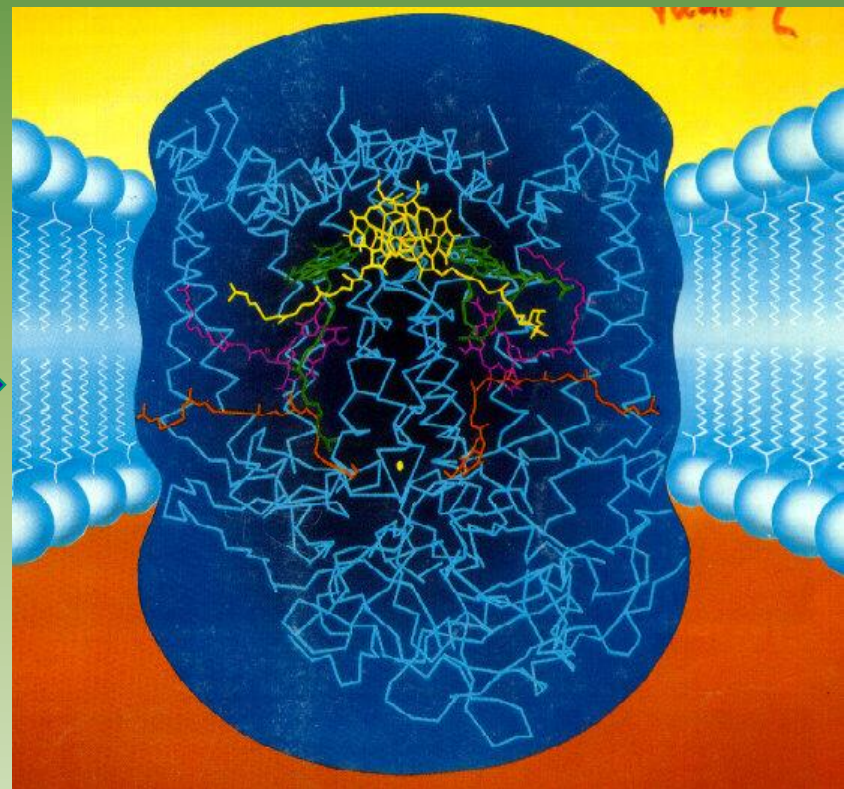
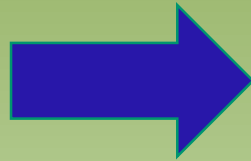
*700.000.000.000 t Biomasse/a*    *3.000.000.000.000.000.000.000 J/a*     $\eta \approx 0,15\%$







# Natürliche Photosynthese: Photoaktive Nanomaschine Reaktionszentrum mit Schlüsselfunktion



Nobelpreis für Chemie 1988

H.Michel, R.Huber, J.Deisenhofer

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

## Zeitplan (4 h)

1. **INTRO-Vortrag „CHEMIE MIT LICHT“  
Experimente & KONZEPTE (60 min)**

20 min  
Pause

2. **PRAKTIKUM (30 min):  
Experimente E1-E3 & Auswertung Sek. I**
3. **PLENUM (30 min):  
Auswertung Sek. II & Theor. Vertiefung**

10 min  
Pause

4. **PRAKTIKUM (30 min):  
Photo-Blue-Bottle Experimente E4-E7 & Auswertung Sek. I  
Zusatz: Demo-Experiment: Photokatalytischer Wasserstoff**
5. **PLENUM (30 min)  
Auswertung Sek. II & Theor. Vertiefung**

7. **Plenum (30 min)  
Curriculare Integration im Chemieunterricht der Sek. I und Sek. II**







# Lichtlabor Pflanze & Künstliche Photosynthese

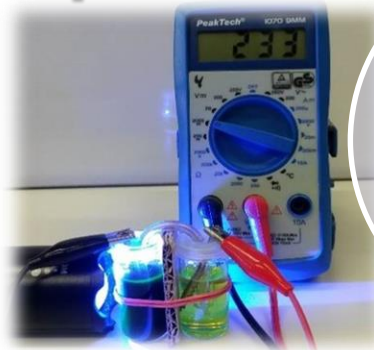
## Experimente und Fachinhalte aus MINT-Fächern



### Experimente E2-E3 E4-E6



### Experiment E7

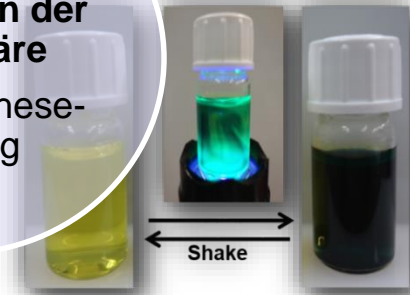


### Experiment E1



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

### Experimente E4-E6



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

**Experimente und  
Fachinhalte aus:**

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

**Energie**  
Licht → Licht,  
chemische,  
elektrische  
Energie

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

**Künstliche  
Photosynthese**  
„grüner“  
Wasserstoff

### Experiment E8







# Experiment E1



## Demo-Versuch

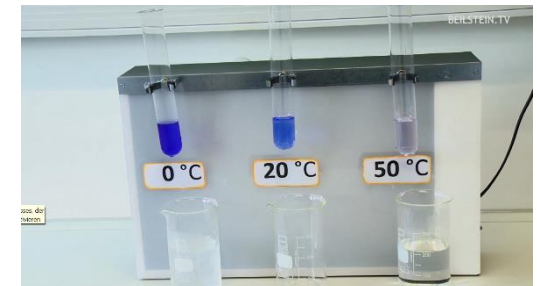
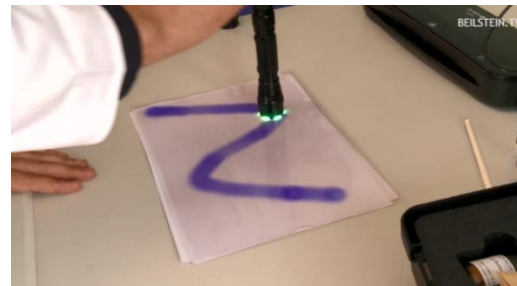
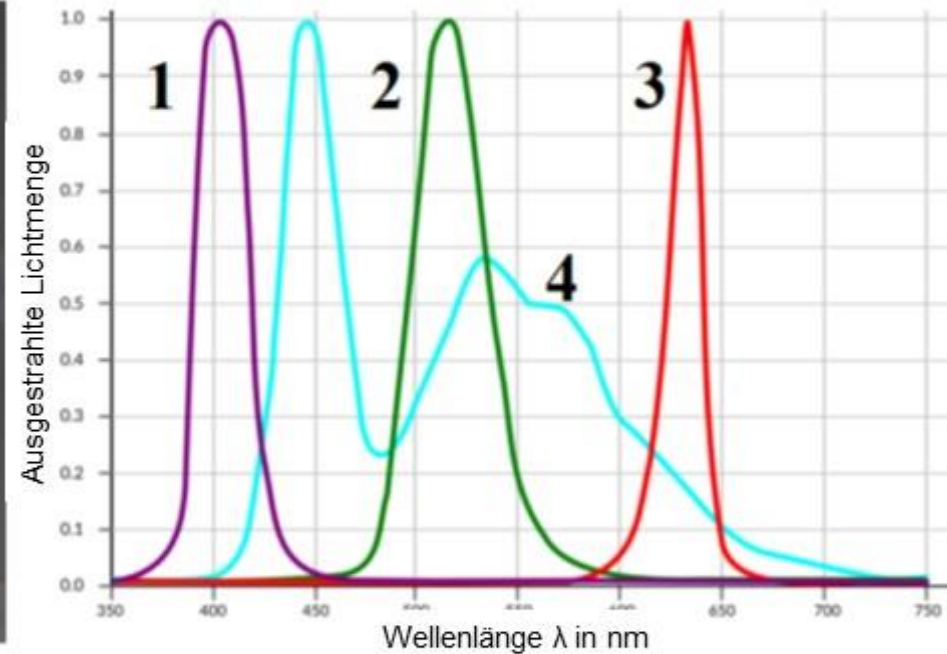
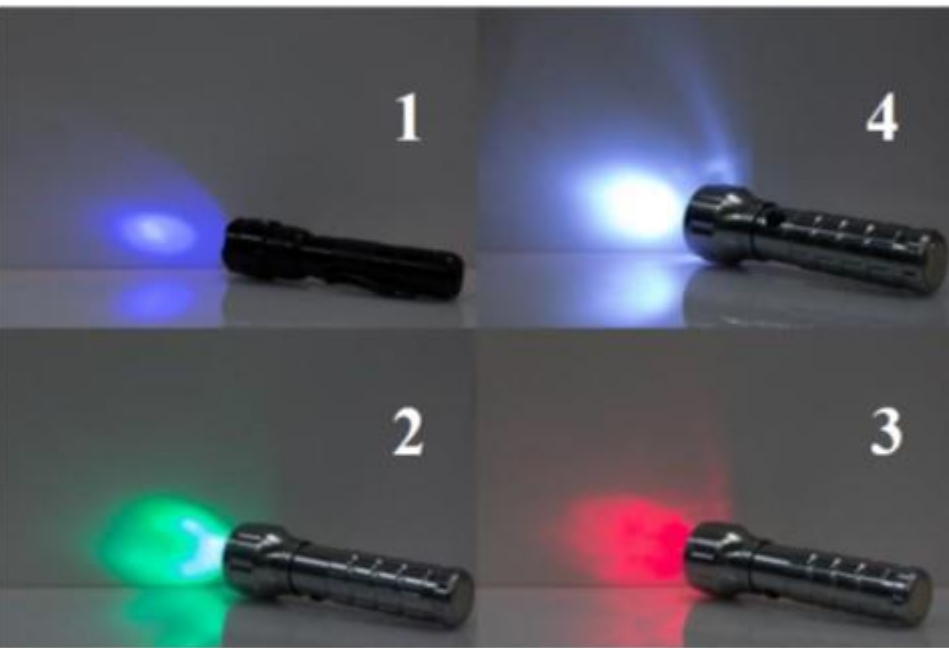
mit LED Taschenlampen und Spiropyran aus dem **Photo-Mol Koffer** [1]

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



## Lampentest

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



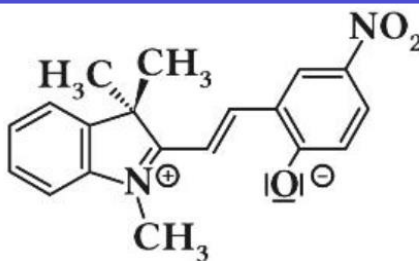
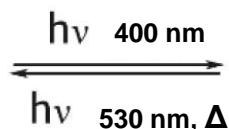
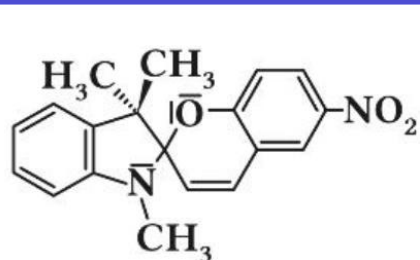




# Auswertung E1 & Adressierbare Lerninhalte

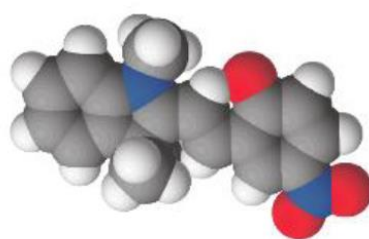
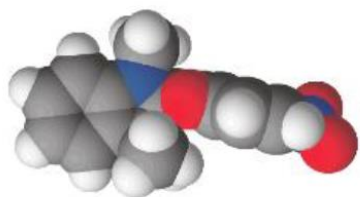


# Spiropyran - ein didaktisches Juwel



Spiropyran

Merocyanin

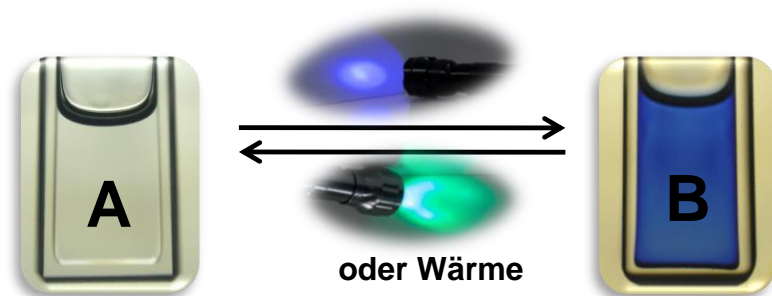
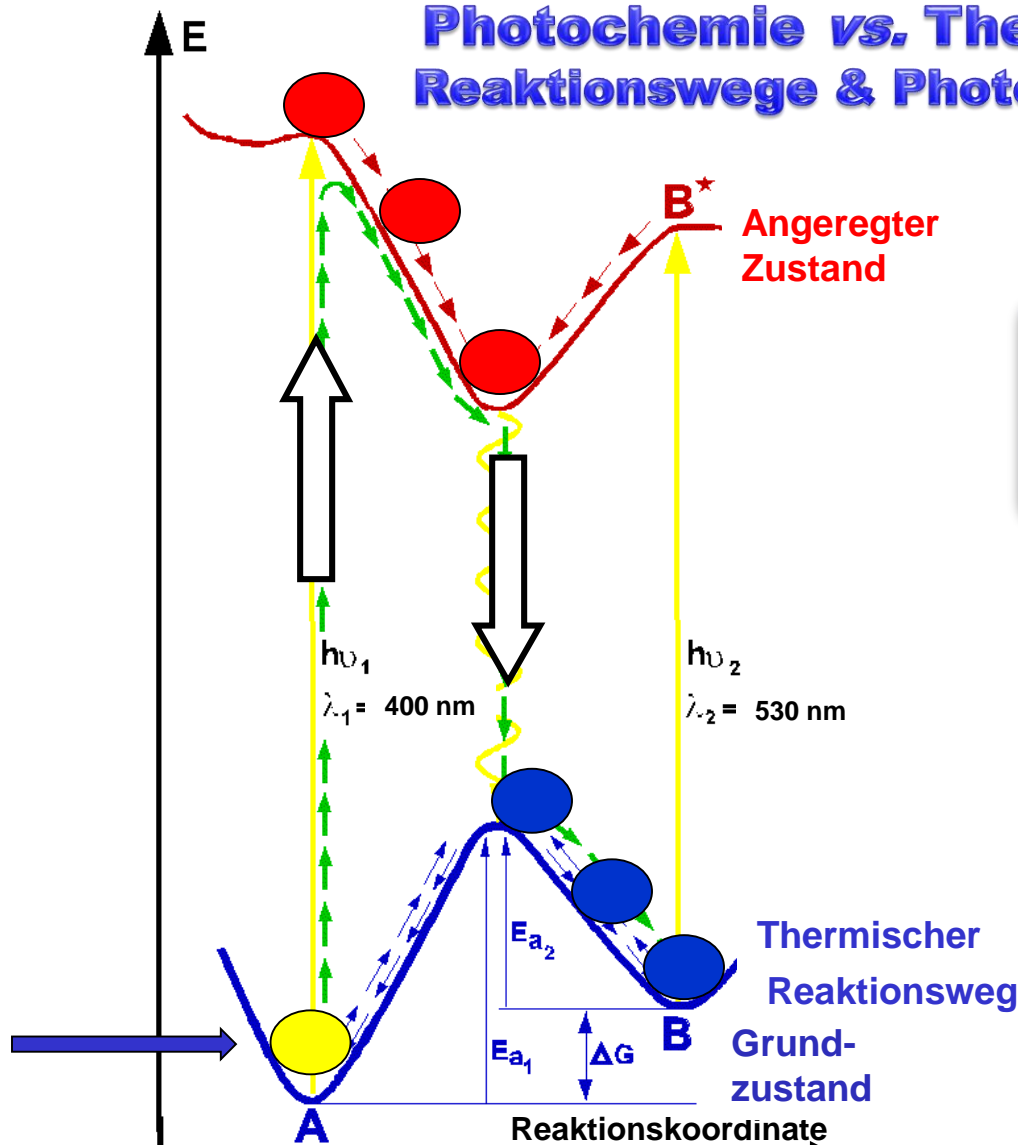


## Adressierbare Lehrinhalte in der Sek. II:

- ⇒ 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

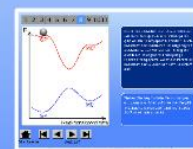


### Photo-steady state

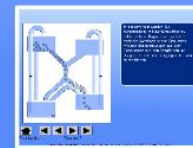
Exploration  
of the concept  
with the  
substance  
spiropyrane



Molecular structures  
of spiropyrane/merocyanine



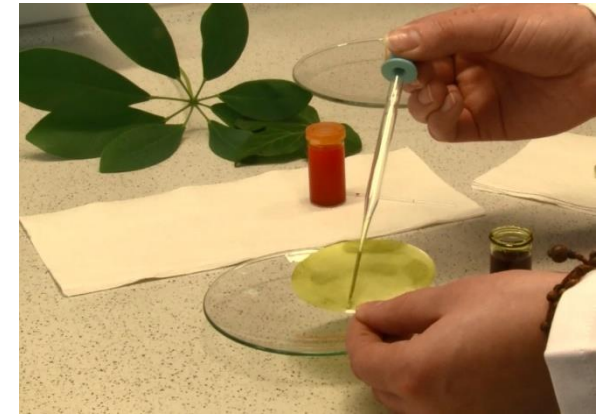
Energy profile  
of the reaction







# Experimente E2-E3



## Materialien für die Experimente mit Chlorophyll und $\beta$ -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 $\beta$ -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:*  $\beta$ -Carotin-Lösung im braunen Schraubdeckelglas aus Experiment E2.

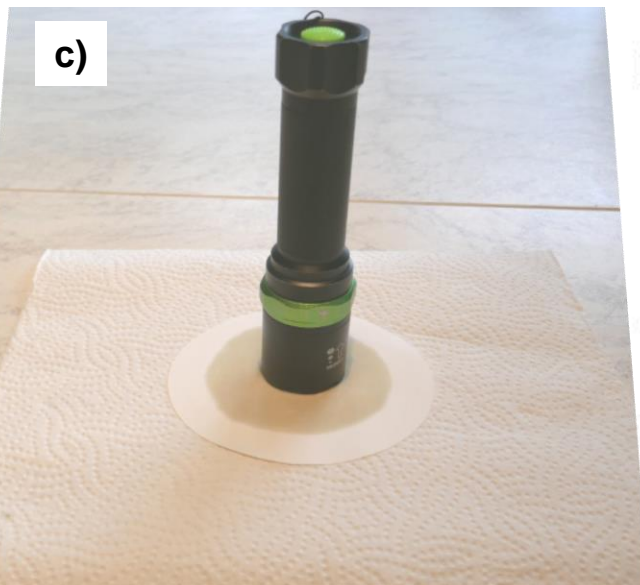


a) Tränke einen Rundfilter ( $d \approx 11$  cm) wie im oberen Bild mithilfe einer Pipette mit Lösung 1. Betrachte nach dem Trocknen das so präparierte Filterpapier im Licht UV-LED-Taschenlampe.

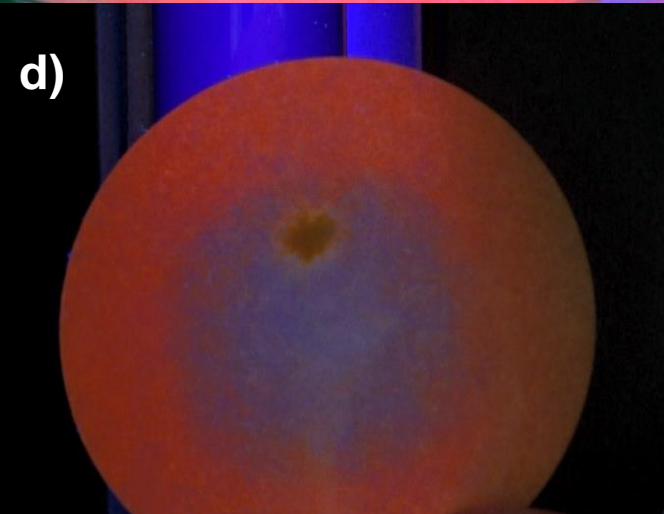
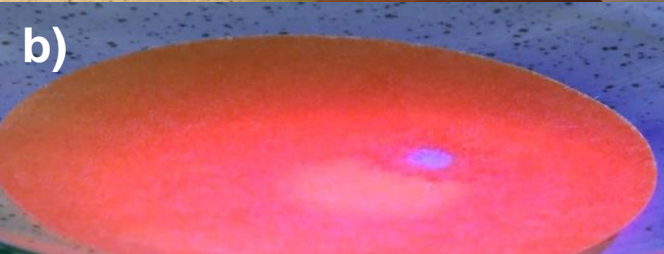
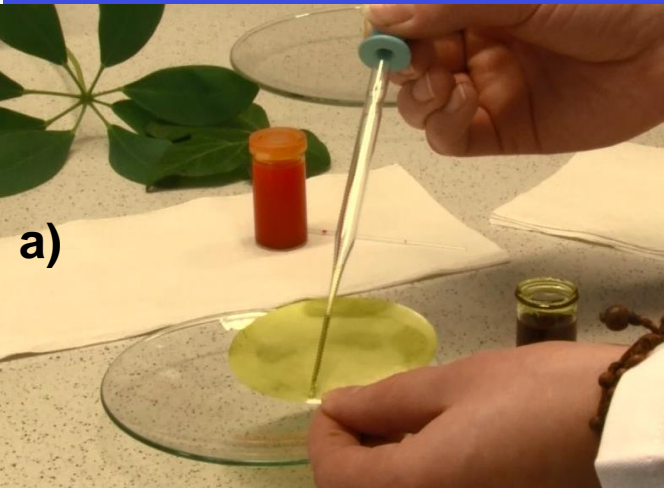
b) Trage mit einem Kapillarröhrchen in die Mitte des mit Blattgrün präparierten Filterpapiers aus a) einen Rundfleck ( $d \approx 0,5$  cm) aus Lösung 2 auf (ein Tupfer reicht). Betrachte nach Verdunsten des Lösemittels erneut im Licht der UV-LED-Taschenlampe.

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.







## **$\beta$ -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:*  $\beta$ -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.

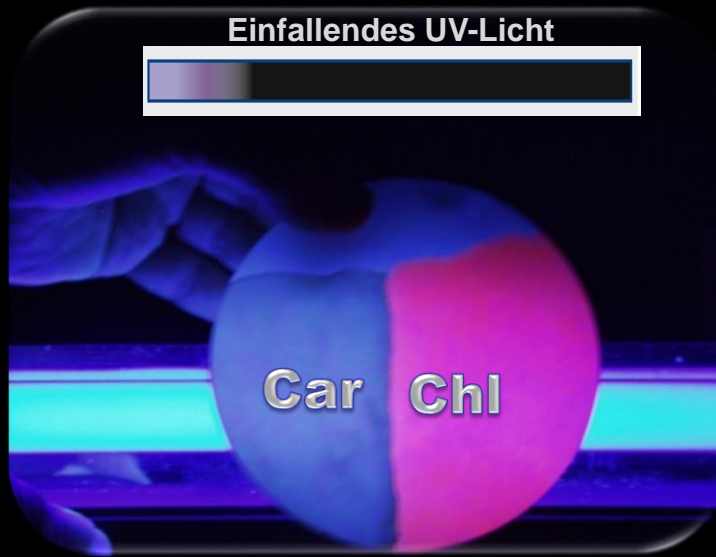


# Auswertung Sek. I



# Farben und Leuchtfarben

## Lumineszenz = Emission von Licht



**Kastanien-  
zweig**

## Farben und Leuchtfarben Aufgabe A1



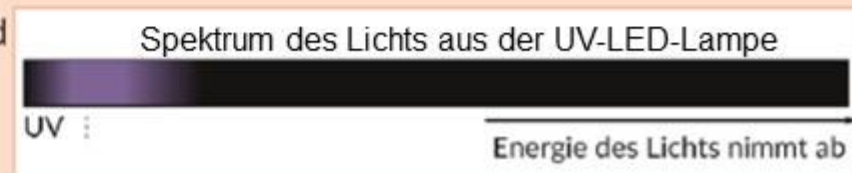
**A1** Ergänze den Lückentext mit folgenden Begriffen:

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







# Auswertung E2-E3 & Theor. Vertiefung



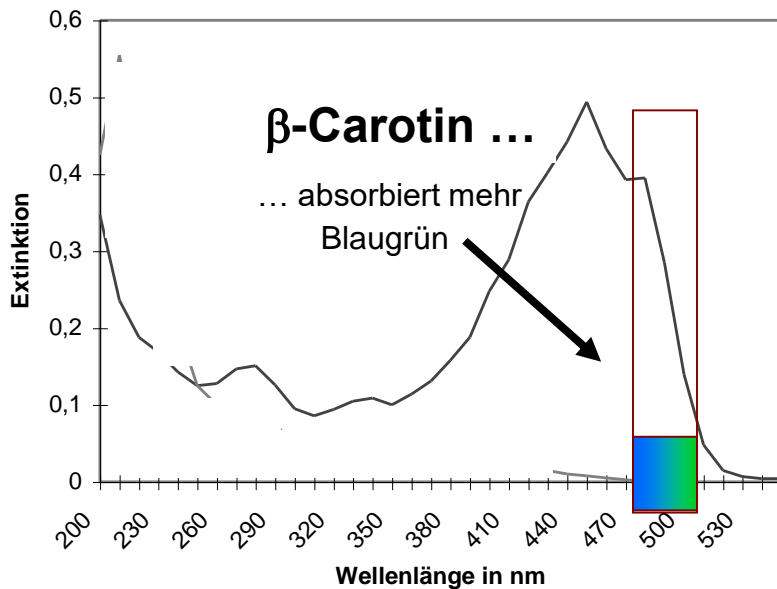
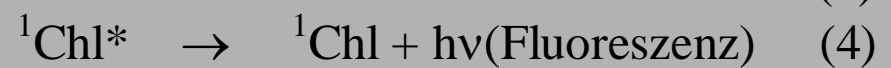
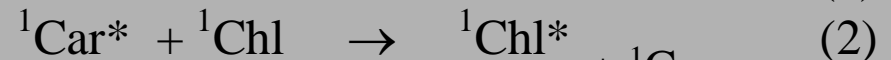




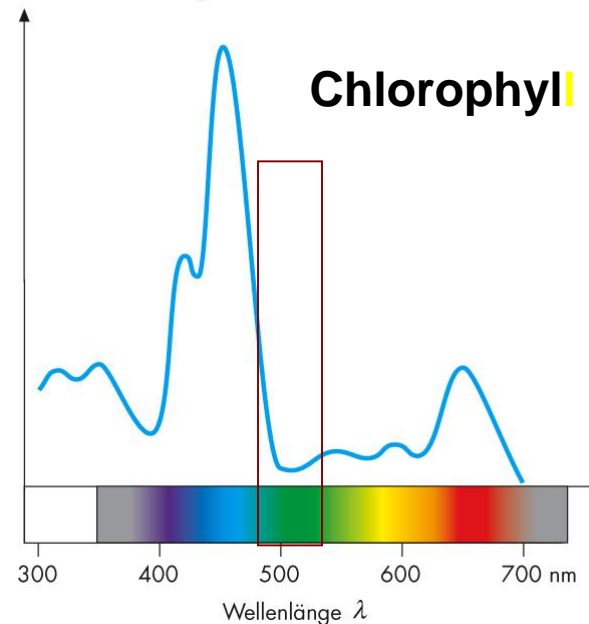


# β-Carotin – Akzessorisches Pigment

Bei wenig  
Licht



absorbierter Strahlungsanteil







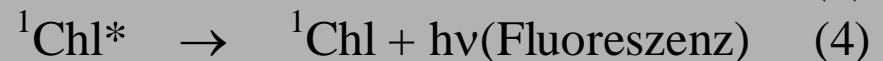
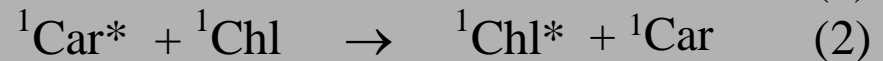
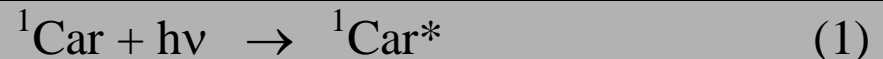
## $\beta$ -Carotin – Biochemisches Multitalent



Bei (zu) wenig  
Licht

Bei (zu) viel  
Licht

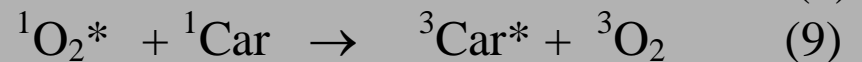
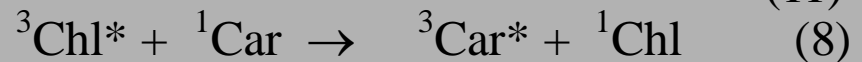
### $\beta$ -Carotin als Photosensibilisator



### Phototoxizität von Sauerstoff



### $\beta$ -Carotin als Photoprotektor



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

# Photosynthese – ein Fall für zwei

## Teil 2: Funktionen von Chlorophyll und $\beta$ -Carotin

## Lehrfilm

Photosynthese – ein Fall für Zwei; Teil 2

**A1** *Erschließen* Sie den Lehrfilm auf der Seite [chemiemitlicht.uni-wuppertal.de](https://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  $\beta$ -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>







# Experimente E4-E7



Photo-Cat Basis-Set

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

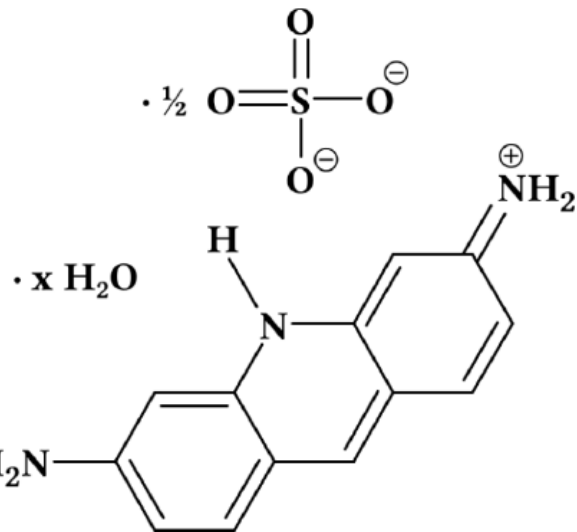
1 g EDTA, 561 mg Ethylviologen und 15 mg Proflavin werden in einem Becherglas unter Rührung in 500 mL dest. Wasser gelöst. Die gelbe, schwach fluoreszierende Lösung wird in eine braune 500 mL Flasche gefüllt. Falls keine braune Flasche vorhanden ist, kann auch eine aus farblosem Glas genutzt werden, 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/>

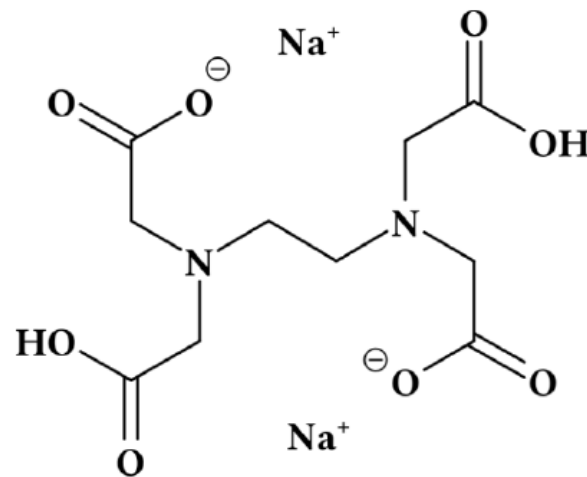


# Photo-Blue-Bottle

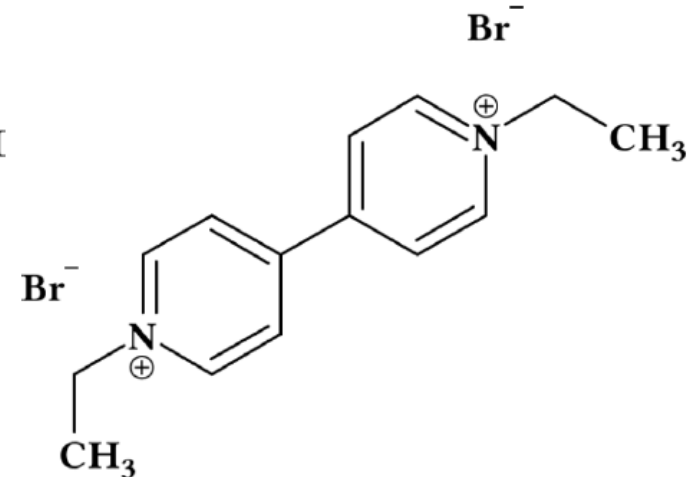
Drei Chemikalien - viele Versuche



**Photokatalysator**  
Proflavin PF<sup>+</sup>  
Diaminoacridin-hemisulfat



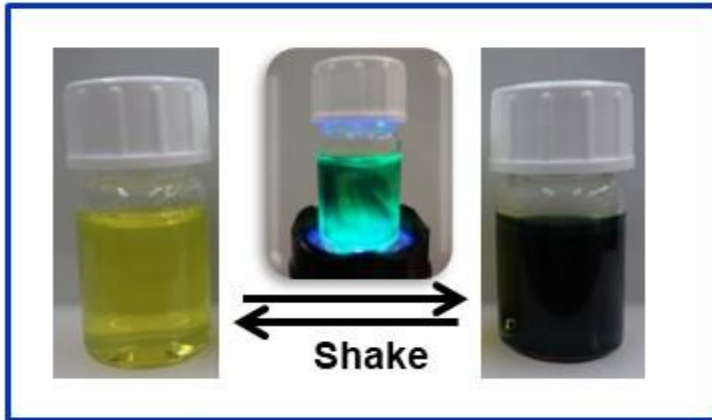
**Opferdonor**  
EDTA  
Ethyldiaminetetraessigsäure-dinatriumsalz



**Substrat**  
Ethylviologen EV<sup>2+</sup>  
1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid



## E4 Photo-Blue-Bottle Basisexperiment



### Basisexperiment

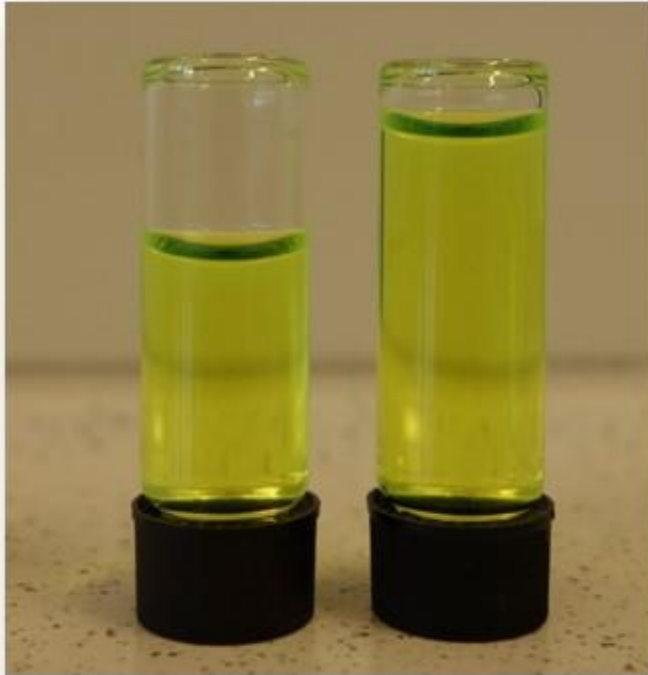
- Gib in ein 5 mL-Schraubdeckelgläschen mithilfe der Plastikpipette 4 mL PBB-Lösung. Verschließe das Gläschen mit der Schraubkappe und bestrahle die Lösung mit einer **blauen** UV-LED-Taschenlampe\*, indem du die Lampe direkt an das Glas hältst. Du kannst entweder von der Seite oder vom Boden des Gläschens 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:  $\lambda$ , T, O<sub>2</sub>





# 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](http://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.

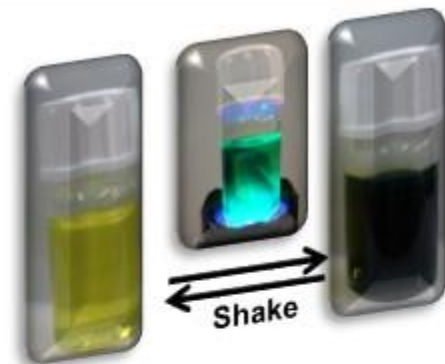
Die Reaktion Gelb(e Lösung) → Blau(e Lösung) ...

- ... 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) ...

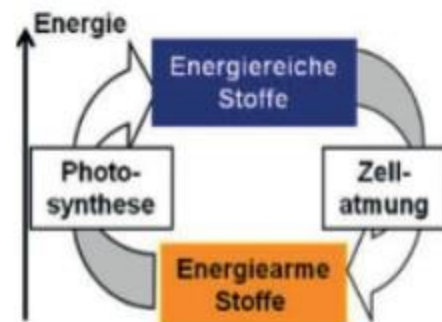
- ... verläuft durch einfaches Schütteln.
- ... verläuft auch, wenn keine Luft über der Lösung ist.
- ... läuft **nicht** bei Energiezufuhr in Form von Licht ab.
- ... benötigt Luft.
- ... verläuft unter Freisetzung von Energie
- ... benötigt nur den Sauerstoff aus der Luft.

## 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.

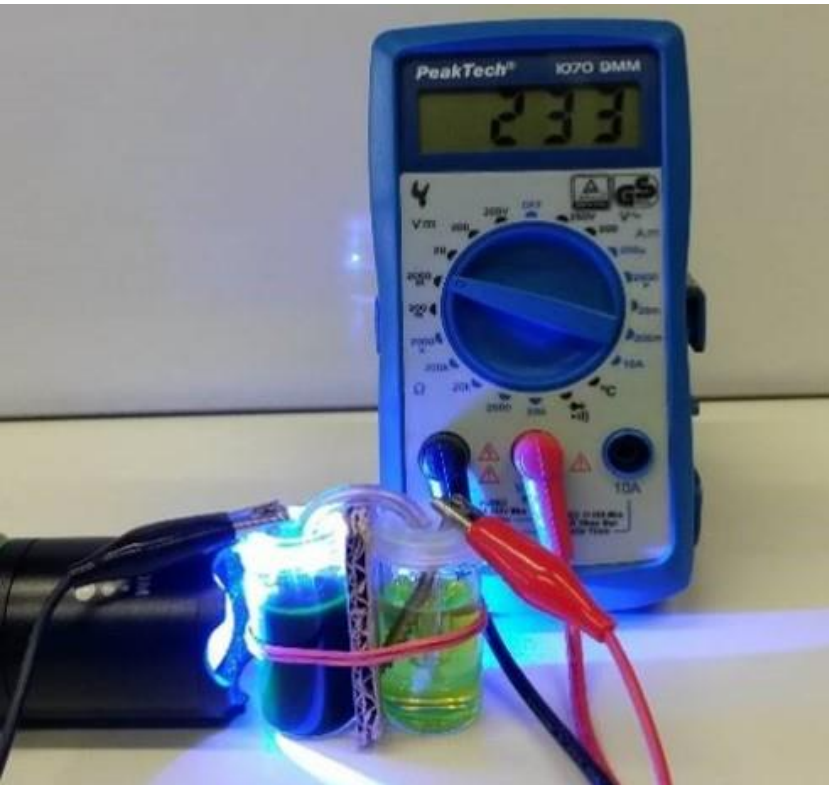
- Die Reaktion Gelb→Blau benötigt Energiezufuhr, die Reaktion Blau→Gelb benötigt Luft.
- Die Reaktionszyklen Gelb→Blau→Gelb in E4 sind mindestens 10 mal wiederholbar.
- Die Reaktion Gelb→Blau funktioniert mit Licht jeder Farbe aus dem sichtbaren Spektrum.
- Die Reaktion Blau→Gelb findet nicht statt, 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*

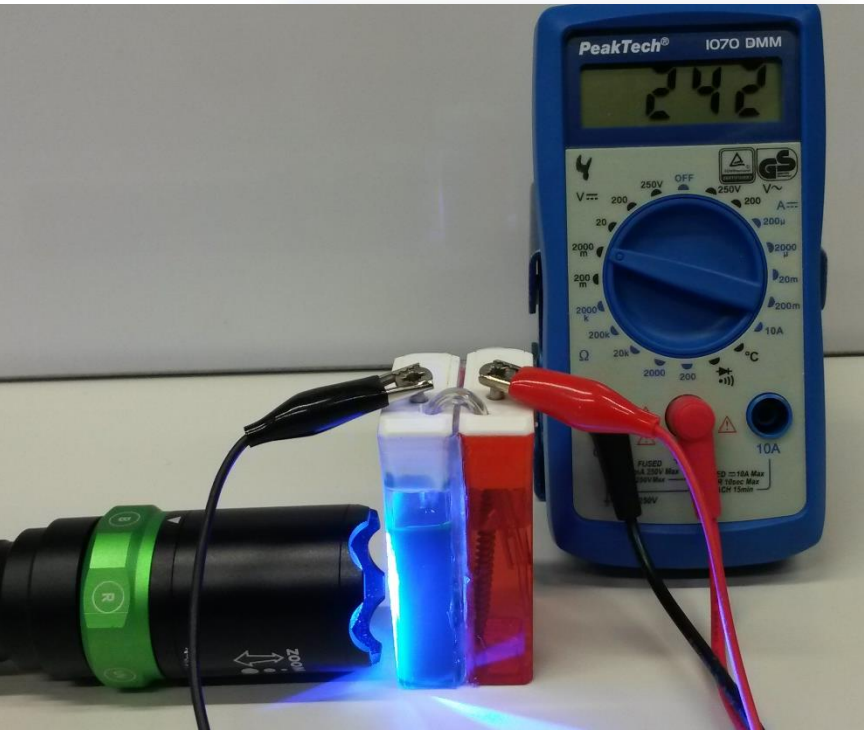


**Station 5**  
**Konzentrationszelle**  
mit Schnappdeckelgläsern

- 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<sup>®</sup>-Dosen

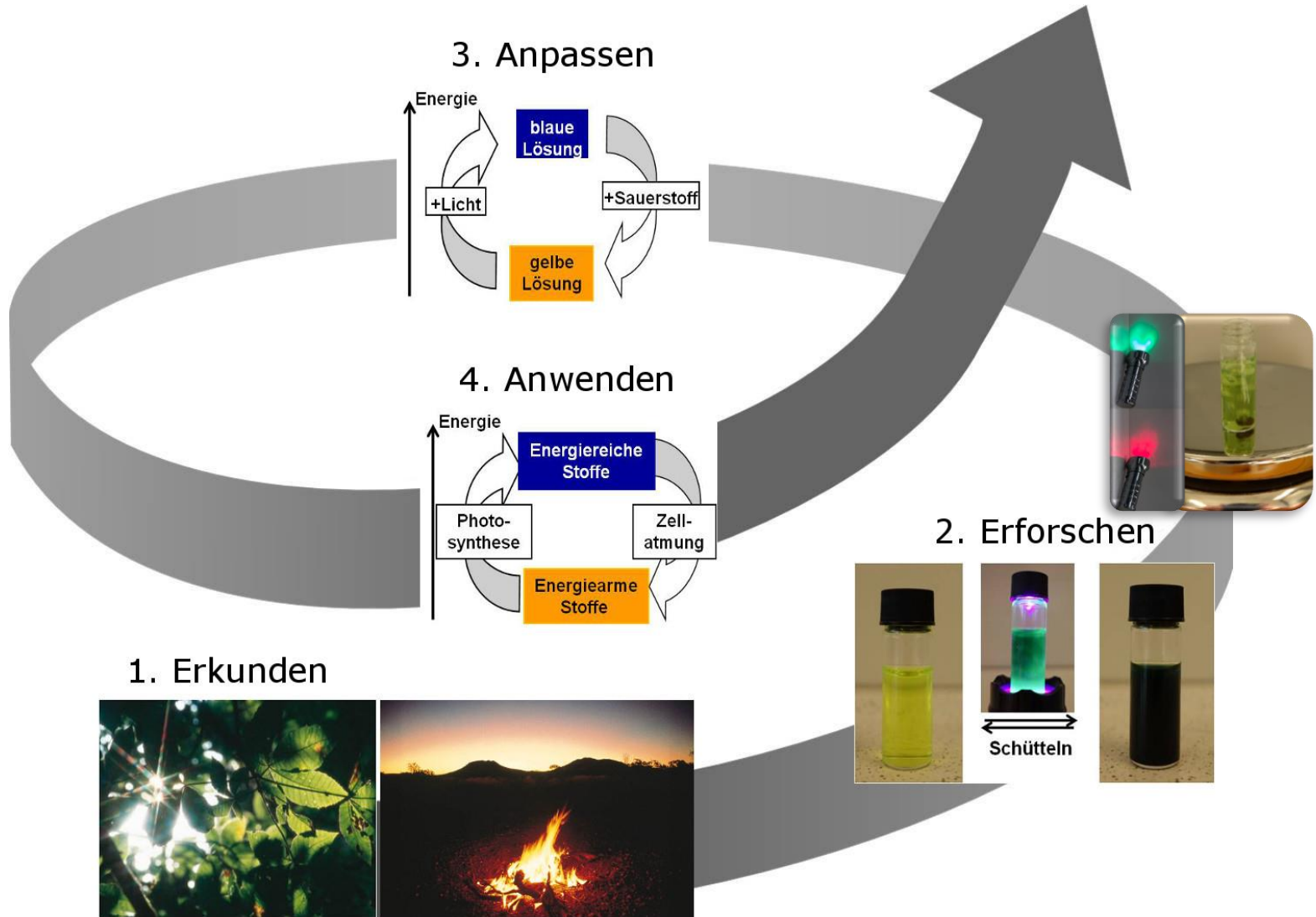
- Baue die photoelektrochemische Konzentrationszelle nach Anweisung durch die Betreuungsperson zusammen und schlieÙe die zu bestrahlende Halbzelle an den Minuspol des Digitalvoltmeters an. Die Schnappdeckelgläschen sollen zu etwa 2/3 mit PBB-Lösung gefüllt sein.
- Schalte die Bestrahlung ein. Beobachte 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*“



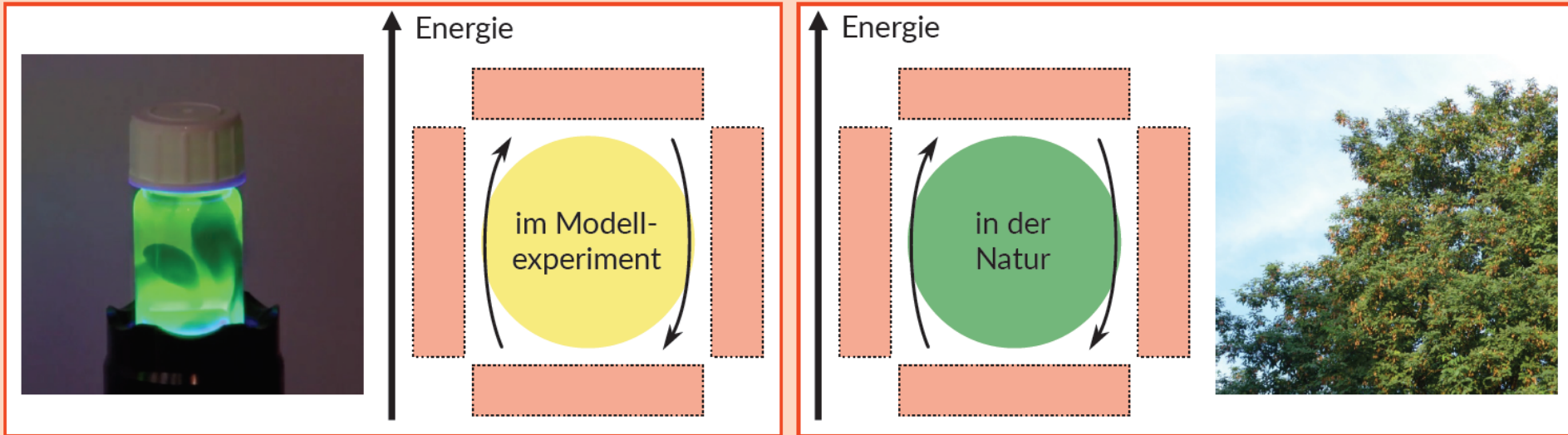
### 1. Erkunden





## 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*, *energiearme 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.

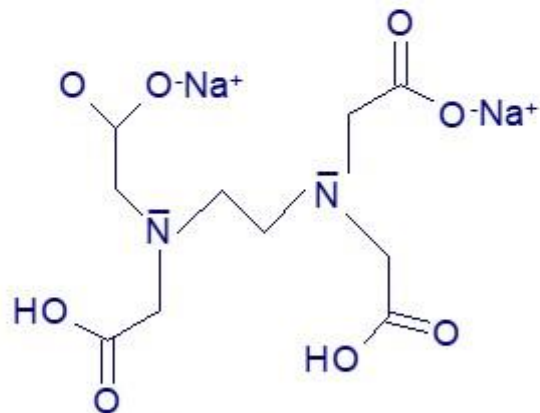


# Auswertung E4-E7 & Theor. Vertiefung

## Chemikalien im PBB Experiment



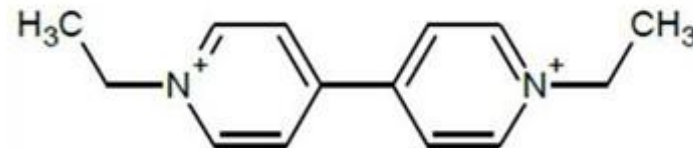
**Proflavin PF<sup>+</sup>**  
(Diaminoacridinhemisulfat)



**Opferdonor**

**EDTA**

Ethylendiaminotetraessigsäure-  
dinatriumsalz



**Substrat**

**Ethylviologen EV<sup>++</sup>**

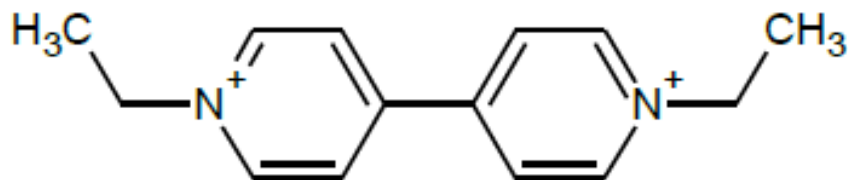
(1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid)

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




## Ethylviologen statt Methylviologen

Ethylviologen



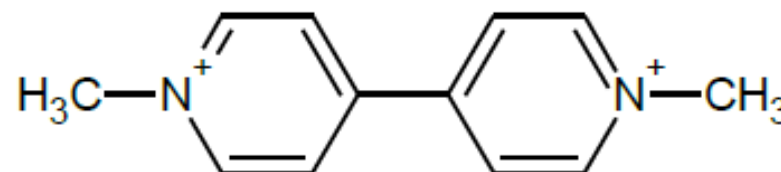
Gefahrstoffkennzeichnung

EU: Xn

GHS: 

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

Methylviologen



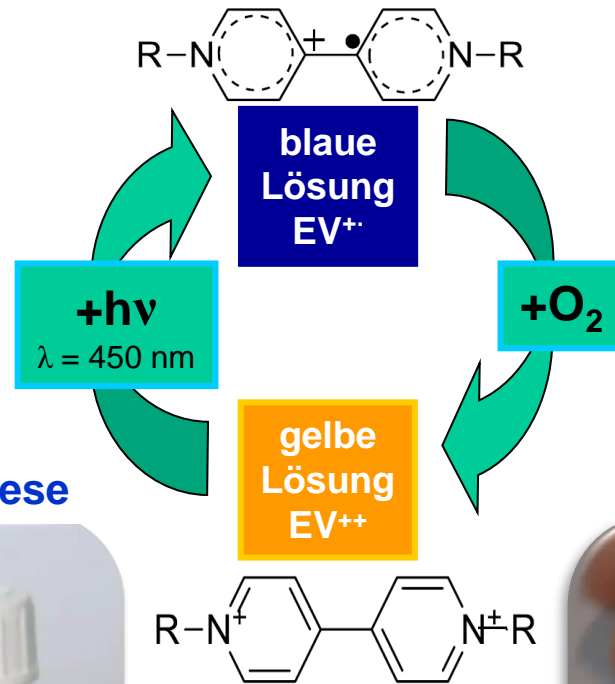
Gefahrstoffkennzeichnung

EU (bis 2015): T<sup>+</sup>; 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*.

### Photo-Blue-Bottle



Simulation der Photosynthese



Simulation der Zellatmung

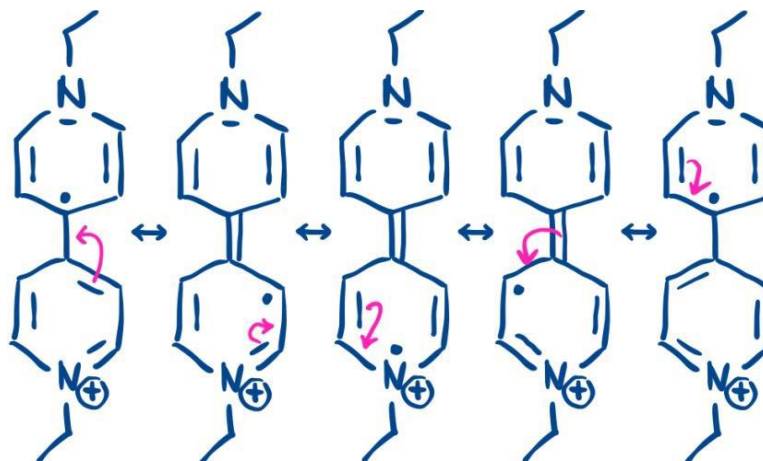
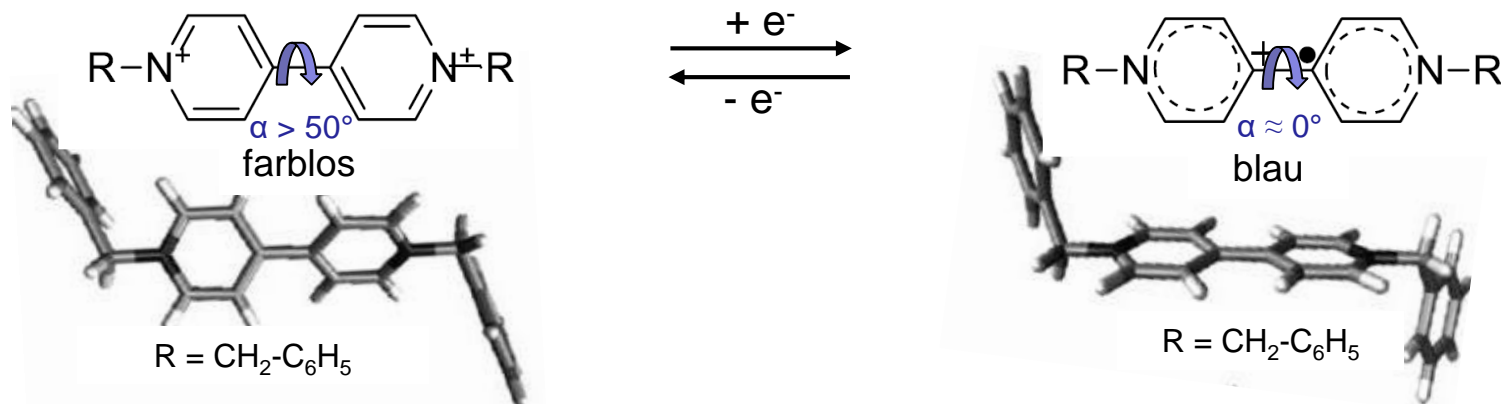


**A18b:** Entwickeln Sie eine Hypothese zur Erklärung des Farbunterschieds zwischen EV<sup>++</sup> und EV<sup>•+</sup>



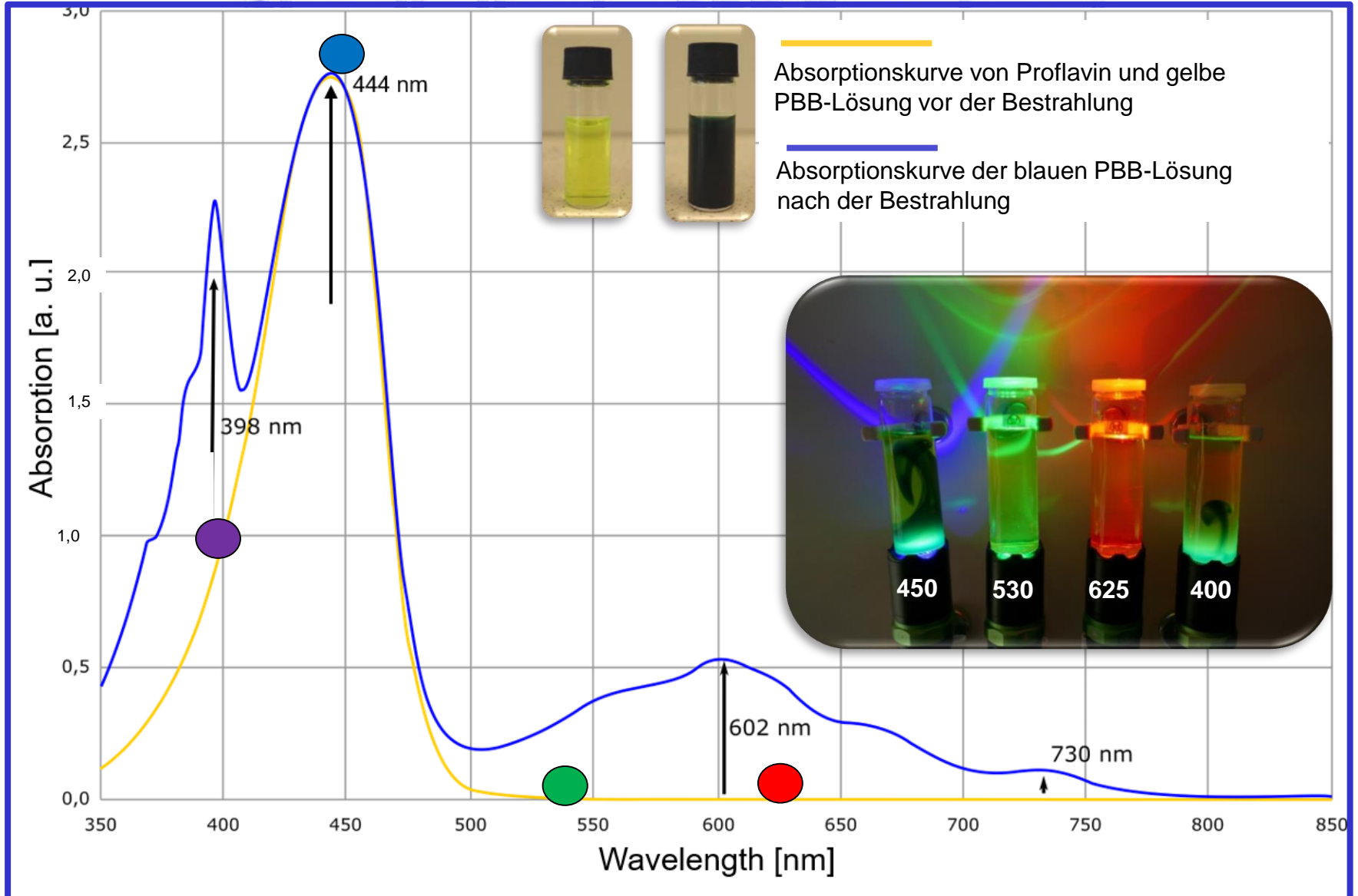
# Photo-Blue-Bottle

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.



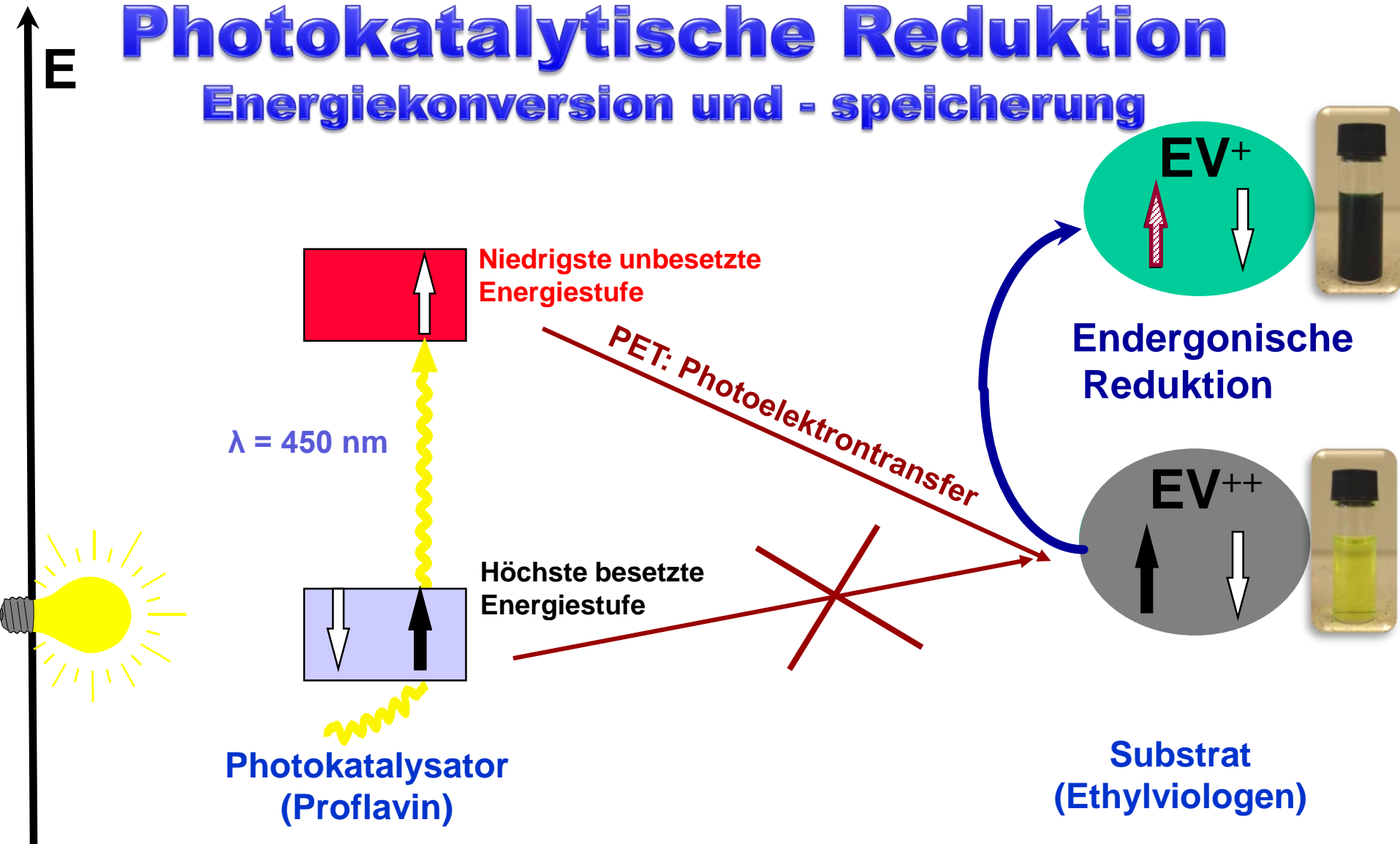


A: Begründen Sie, warum die Blaufärbung der PBB-Lösung mit blauem Licht schneller erfolgt als mit violetterm



# Photokatalytische Reduktion

## Energiekonversion und -speicherung

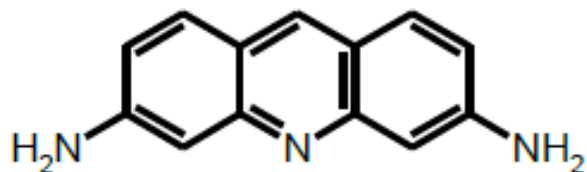


A: Erläutern Sie die endergonische Reduktion  $\text{EV}^{++} \rightarrow \text{EV}^+$  und benennen Sie die antreibende Energieform



# Angeregter Zustand dramatische Änderung des Redoxpotentials

Proflavin



\*1/2 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

3,6-Diaminoacridin-hemisulfat

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

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

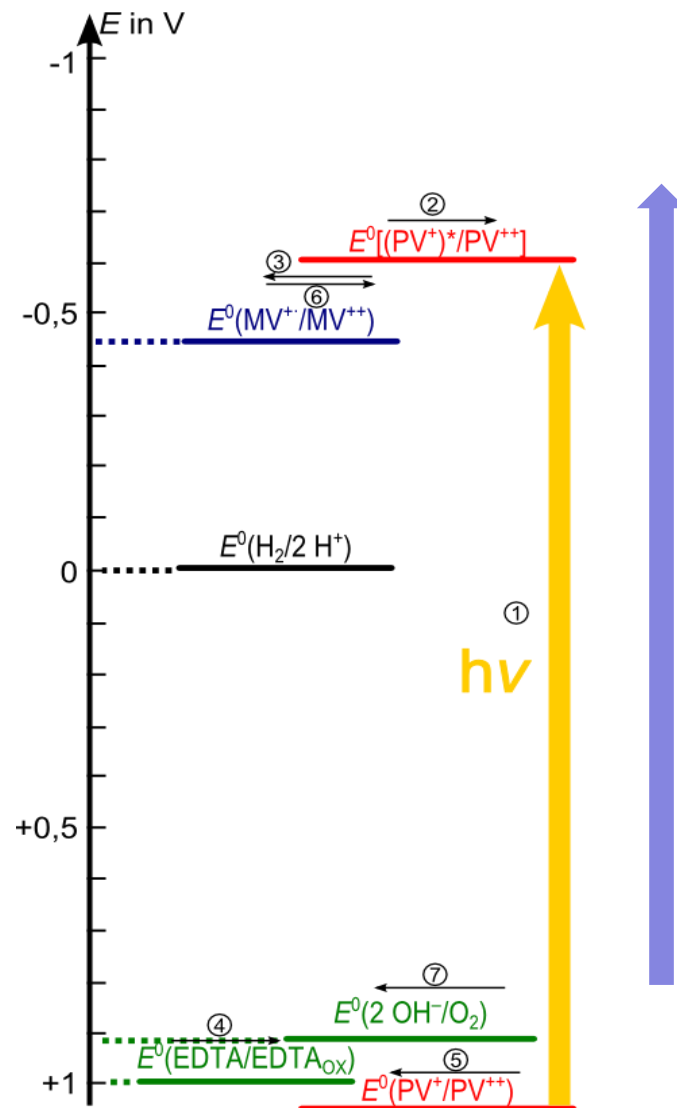
Photo-Cat im Photo-Blue-Bottle Experiment

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

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

Bekannt aus Elektrochemie-Versuchen

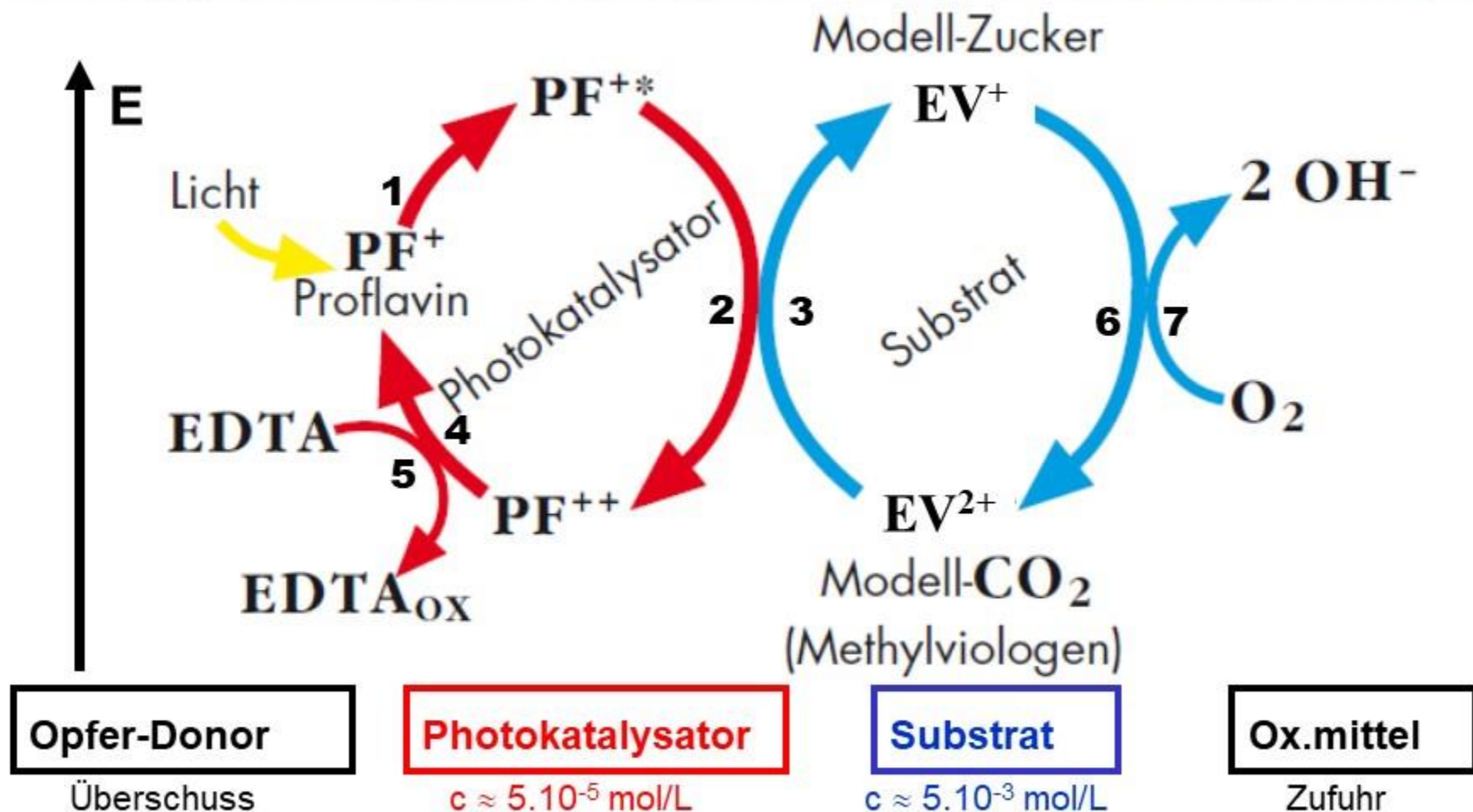
## Redoxpotentiale



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



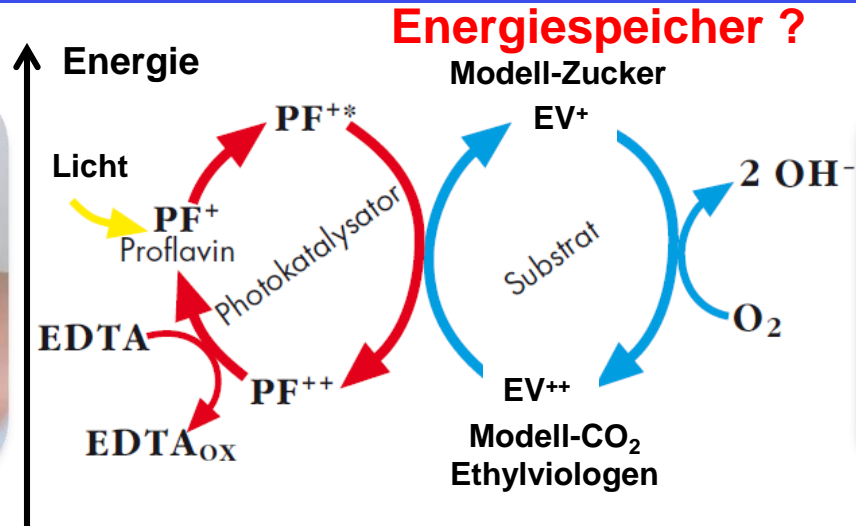
### Gekoppelte Reaktionszyklen beim PBB Experiment



**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.

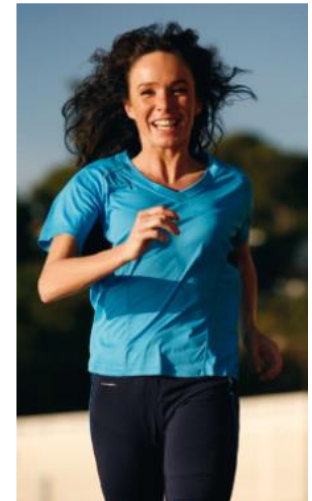
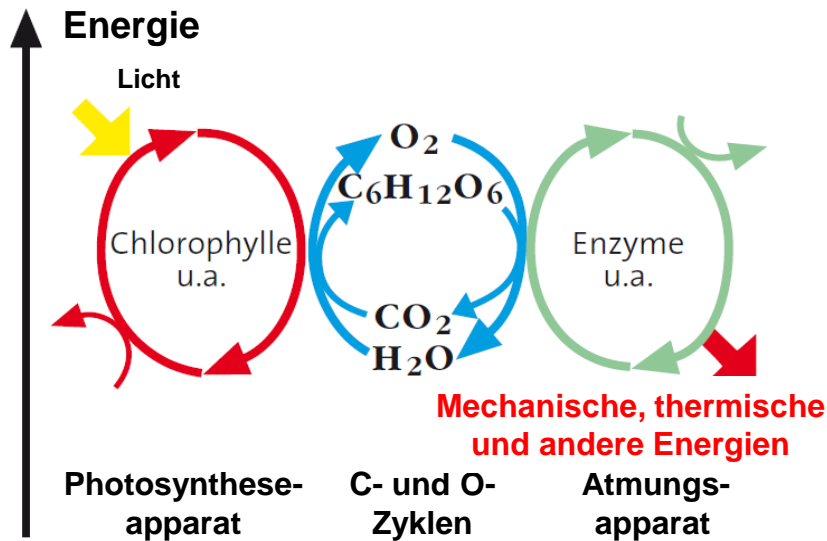


E  
X  
P  
E  
R  
I  
M  
E  
N  
T



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

N  
a  
t  
u  
r

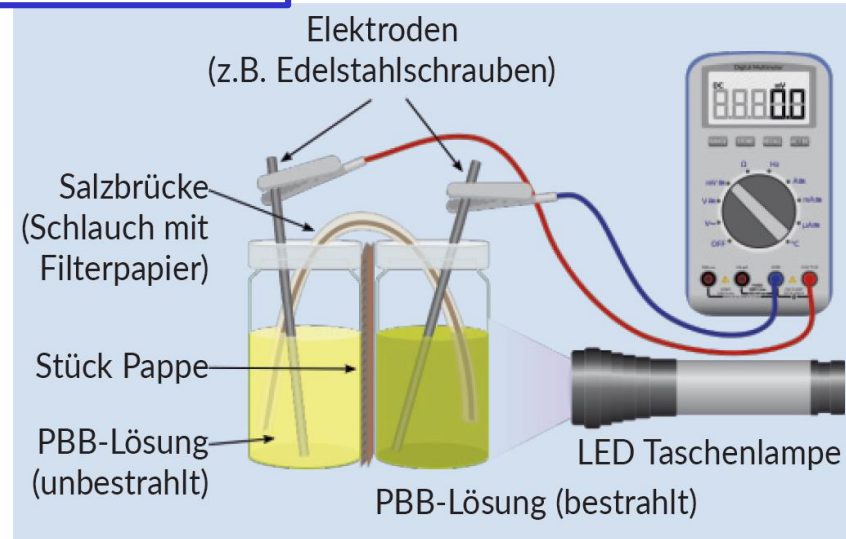
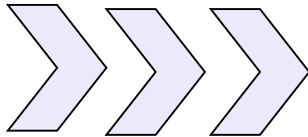
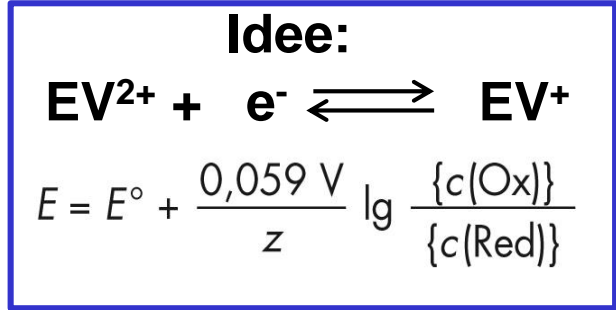
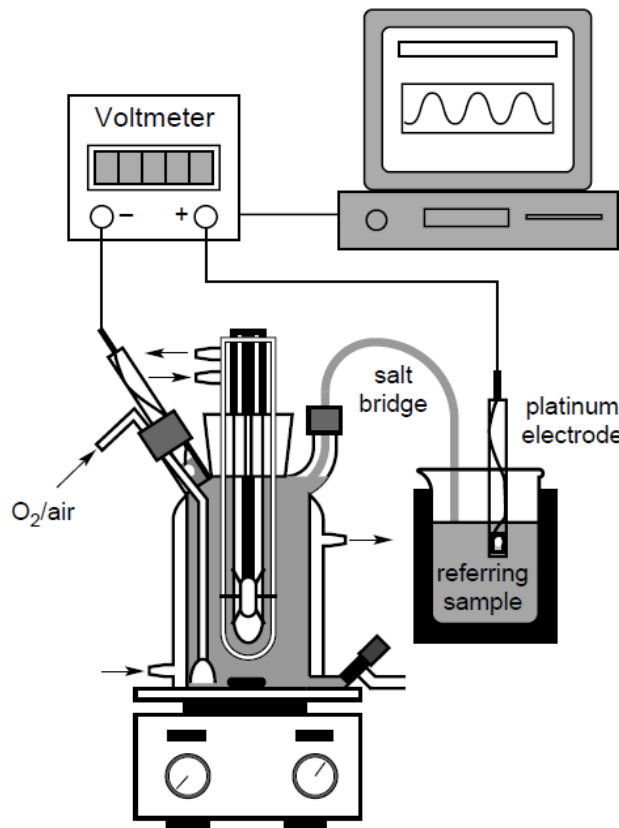


**A:** Beurteilen Sie die Anordnung von  $EV^{++}$  und  $EV^+$  bzw.  $CO_2$  und  $C_6H_{12}O_6$  bezüglich der Energie-Achse.



# Photo-Blue-Bottle

## Energiekonversion- und speicherung?



Hightech-Tauchlampenreaktor (500 mL)

Lowcost-Microscale-Konzentrationszelle (3 mL)





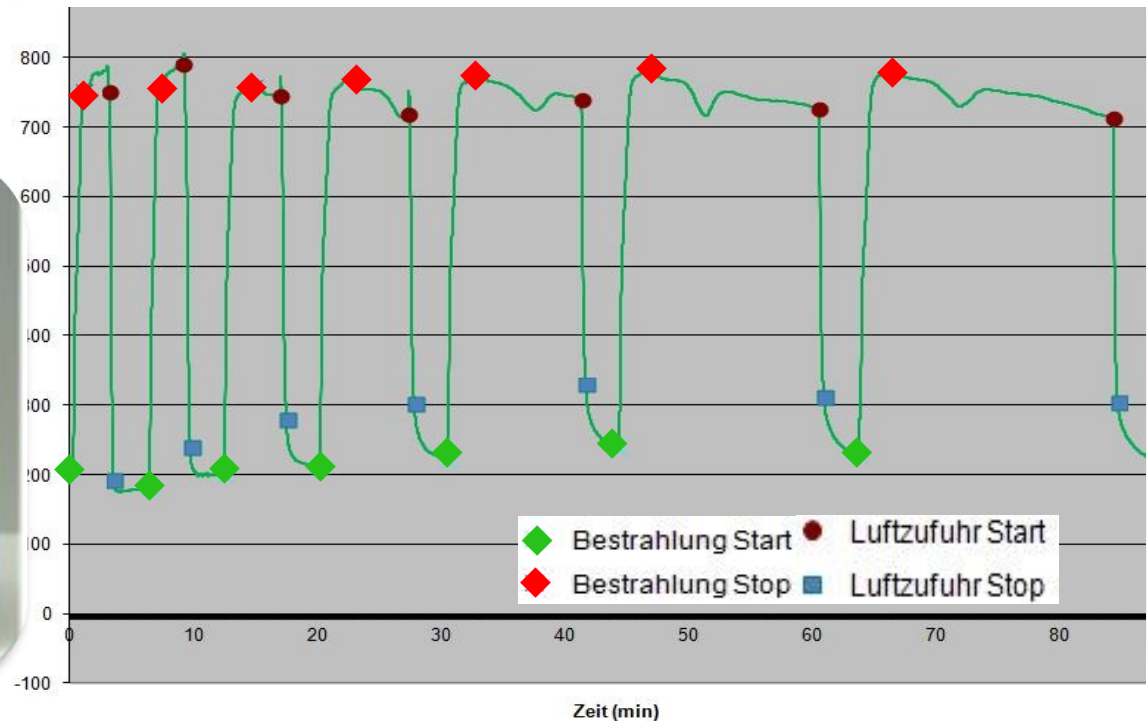
# Photo-Blue-Bottle als Konzentrationszelle

Fazit:

Licht wird in chemische Energie umgewandelt  
und im reduzierten Substrat gespeichert.

→ **PBB ist ein „Solaraku“**

### Spannungsverlauf bei mehreren Zyklen



## Energiekonversion und -speicherung beim Photo-Blue-Bottle Experiment

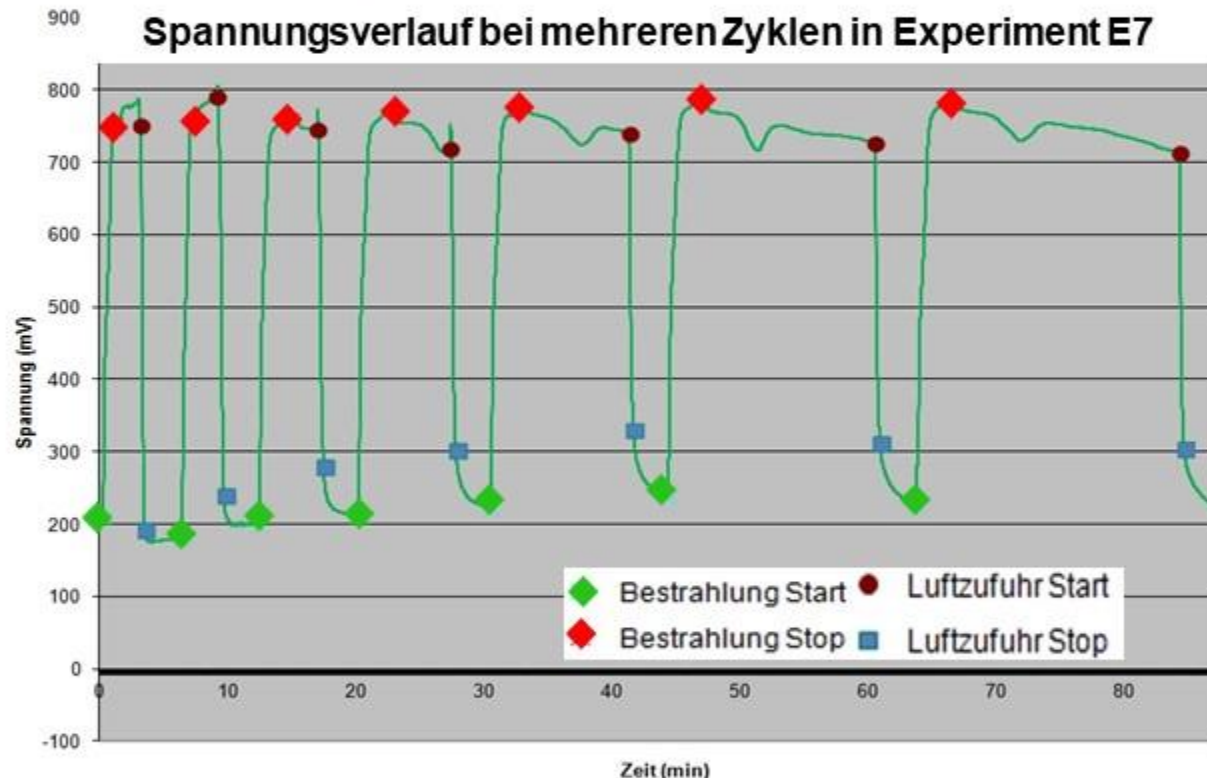


E7



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

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.





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:

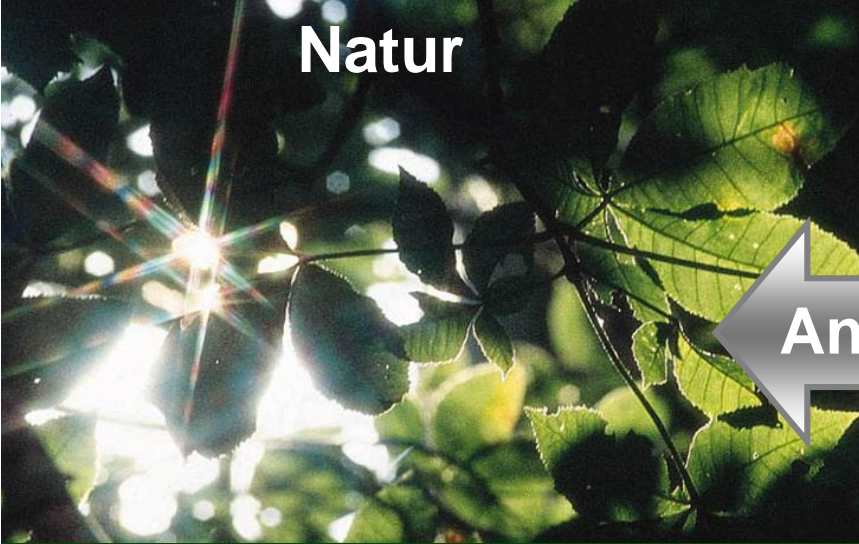
- a) Kreisläufe von MV und PF
- b) Sauerstoffverbrauch bei der Ox.

### Reaktionstypen, Energiekonversion:

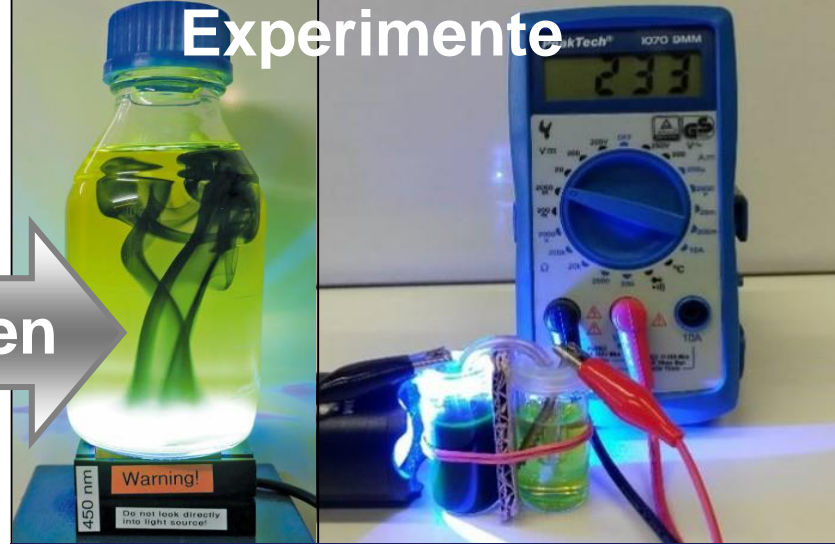
- a) Reduktion - enderg. / Licht
- b) Oxidation - exerg. / elektr. Arbeit..
- c) Anregung, Photoelektronentransfer



Natur



Experimente



Analogien

## Photosynthese/Atmung

Phänomene Beteiligung von:

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

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. Energieformen

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  $\beta$ -Carotin

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

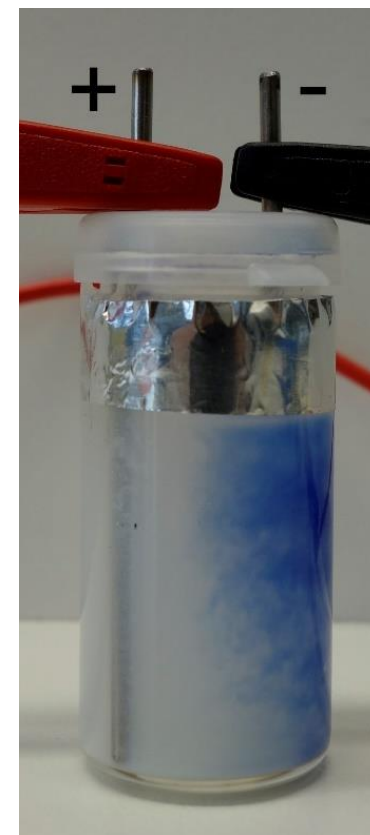
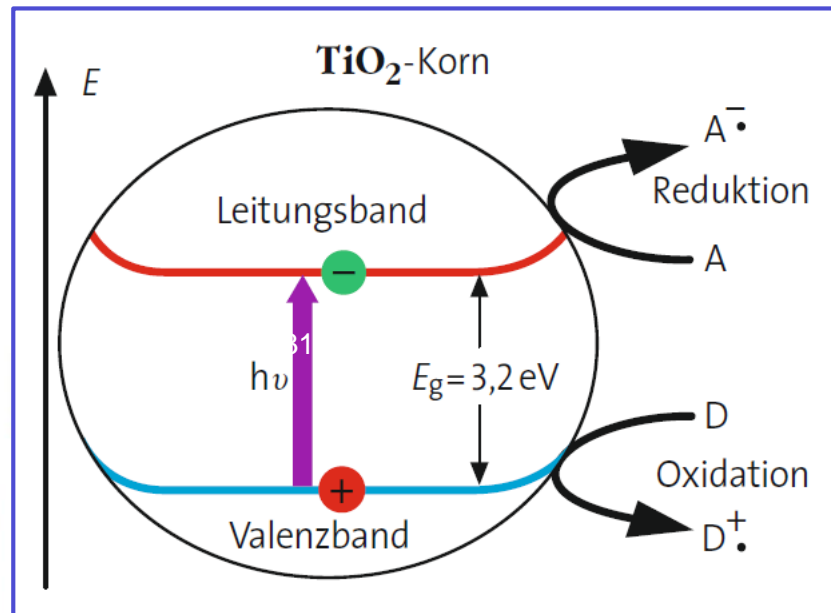
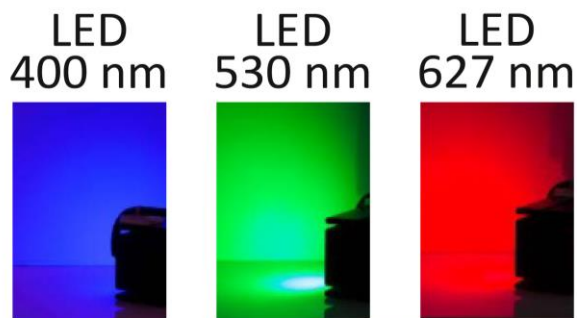
<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photosynthese-ein-fall-fuer-zwei-teil-2-von-2.html>



Lehrfilme online auf [chemiemitlicht.uni-wuppertal.de](https://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.)

# Photo-Blue-Bottle mit $\text{TiO}_2$





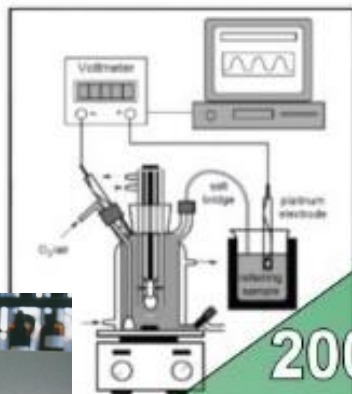
# Metamorphosen von Photo-Blue-Bottle in 25 Jahren



Yasemin Yurdanur

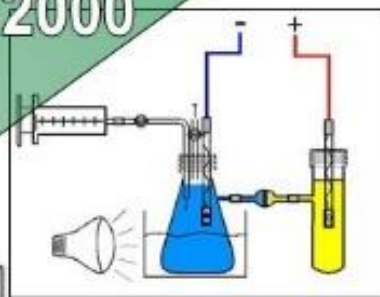


1994



2000

2001



2015

2017

2019



Licht

- M.T. *PdN-ChiS*, 43 (3) 13 (1994);  
S. Korn, M. T. *J. Chem. Educ.* 78 (9), 1238 (2001);  
M. T. et al. *CHEMIE 2000+*, (2007-2017);  
M. Heffen, M. T. *PdN-ChiS* 68 (4) 42 (2015);  
M. Heffen, M. T. *Chem. & Sch.* 31, 5 (2016);  
Y. Yurdanur, M. T. *CHEMKON* 26 (3), 125 (2019);  
R. Brunnert, Y. Yurdanur, M. T. *World J. Chem. Educ.* 7 (2), 33 (2019);  
R. Kremer, M. T. *Chemie & Schule*, 34 (3), 15 (2019).



# Künstliche Photosynthese

## Keine 1:1 Kopie der natürlichen Photosynthese



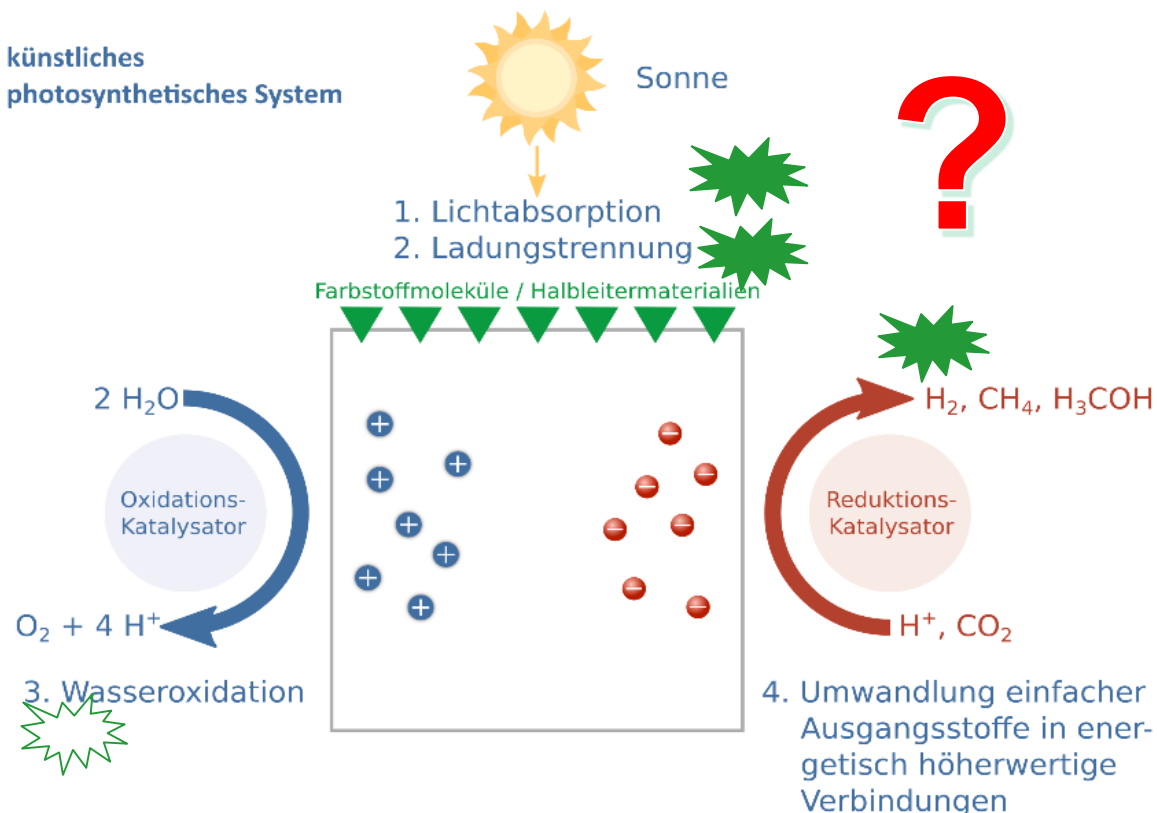
Leopoldina  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften

acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION  
DER DEUTSCHEN AKADEMIEN  
DER WISSENSCHAFTEN

Stellungnahme, Mai 2018

künstliches  
photosynthetisches System



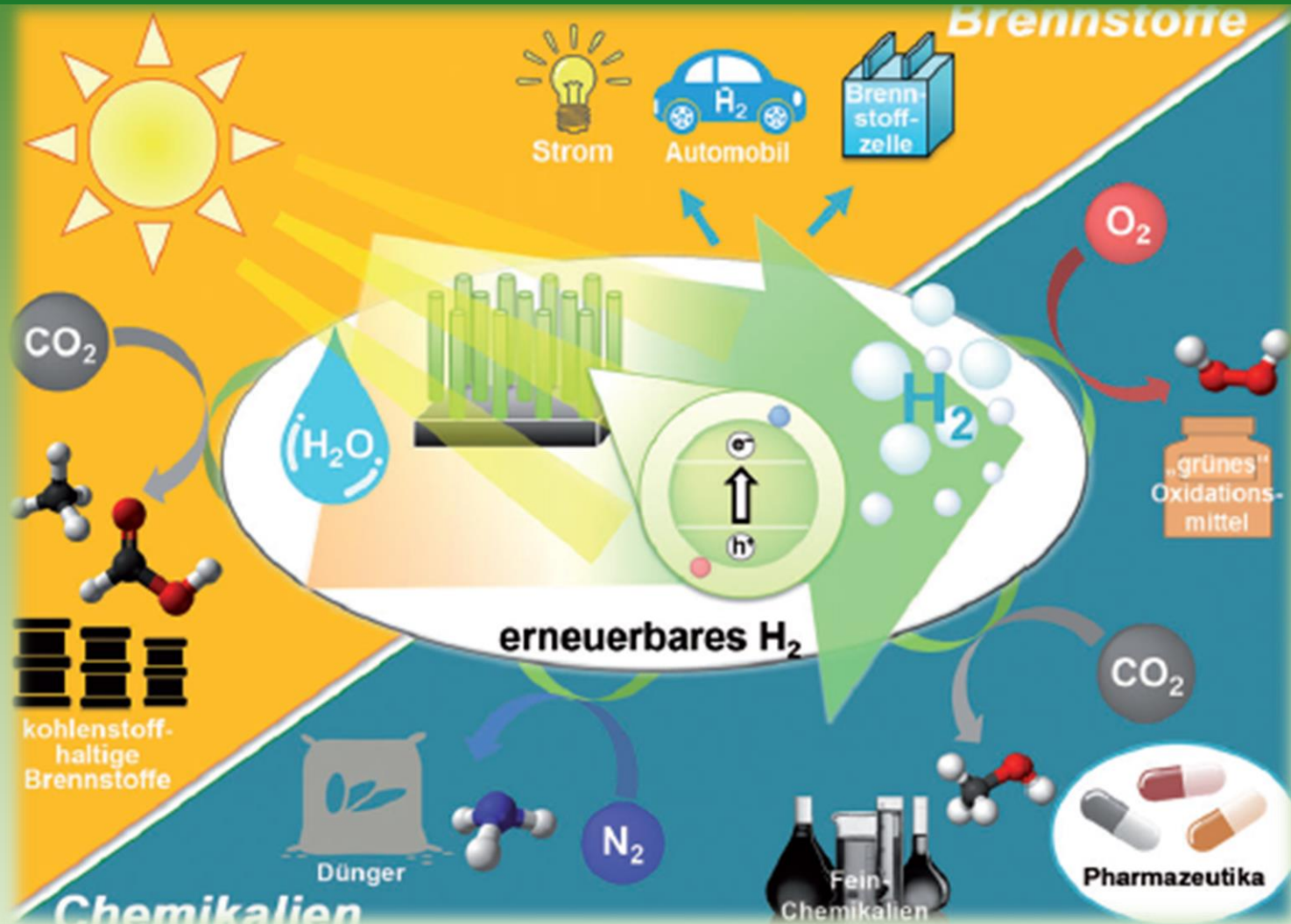
1. Licht → elektrische Ladung
2. Protektion von Blattpigmenten
3. Robuste, reparierbare Teilsysteme





# Künstliche Photosynthese

Szenarien mit „grünen Brennstoffen“ ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  u.a.)







# Experiment E8



Photo-Cat Demo-Set

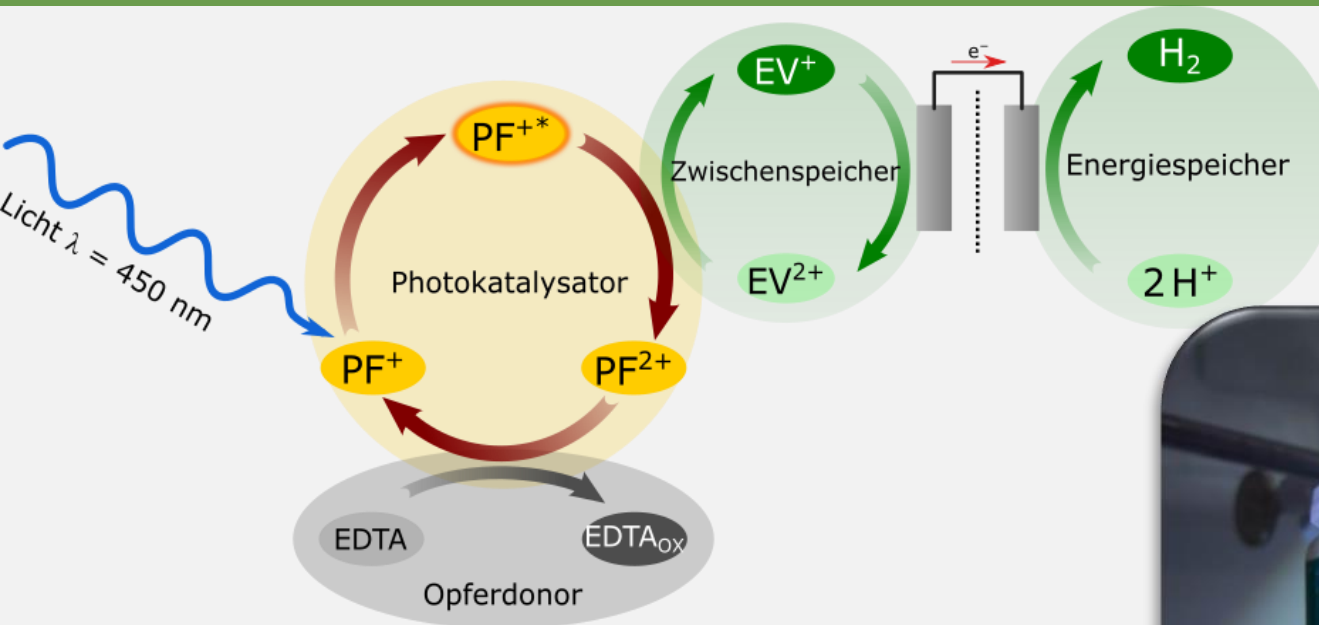
## Photokatalytische Herstellung von „grünem“ Wasserstoff [1]:

50 mL PBB-Lösung (aus den voranstehenden Experimenten) und 50 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.

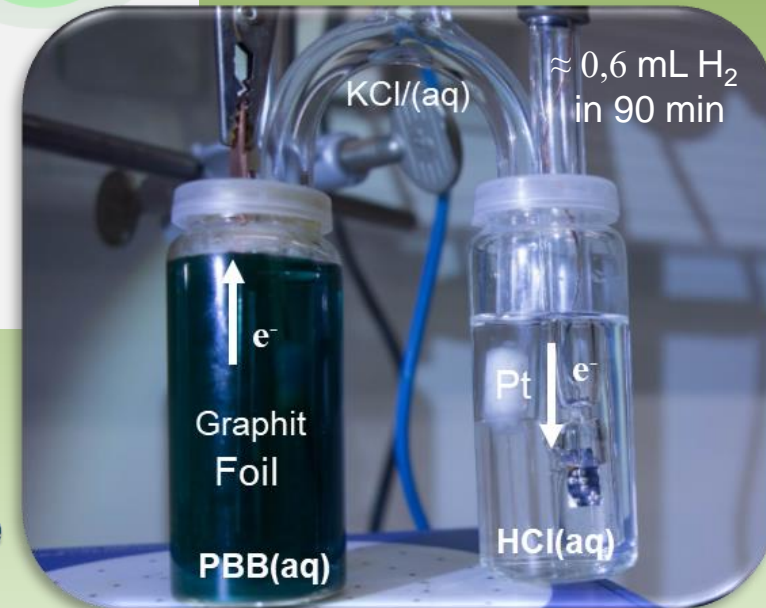
[1] <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/experimentierkoffer-materialiensets/qr-33-experimentierset-photo-cat/demoversion/>

# Unterwegs zur künstlichen Photosynthese:

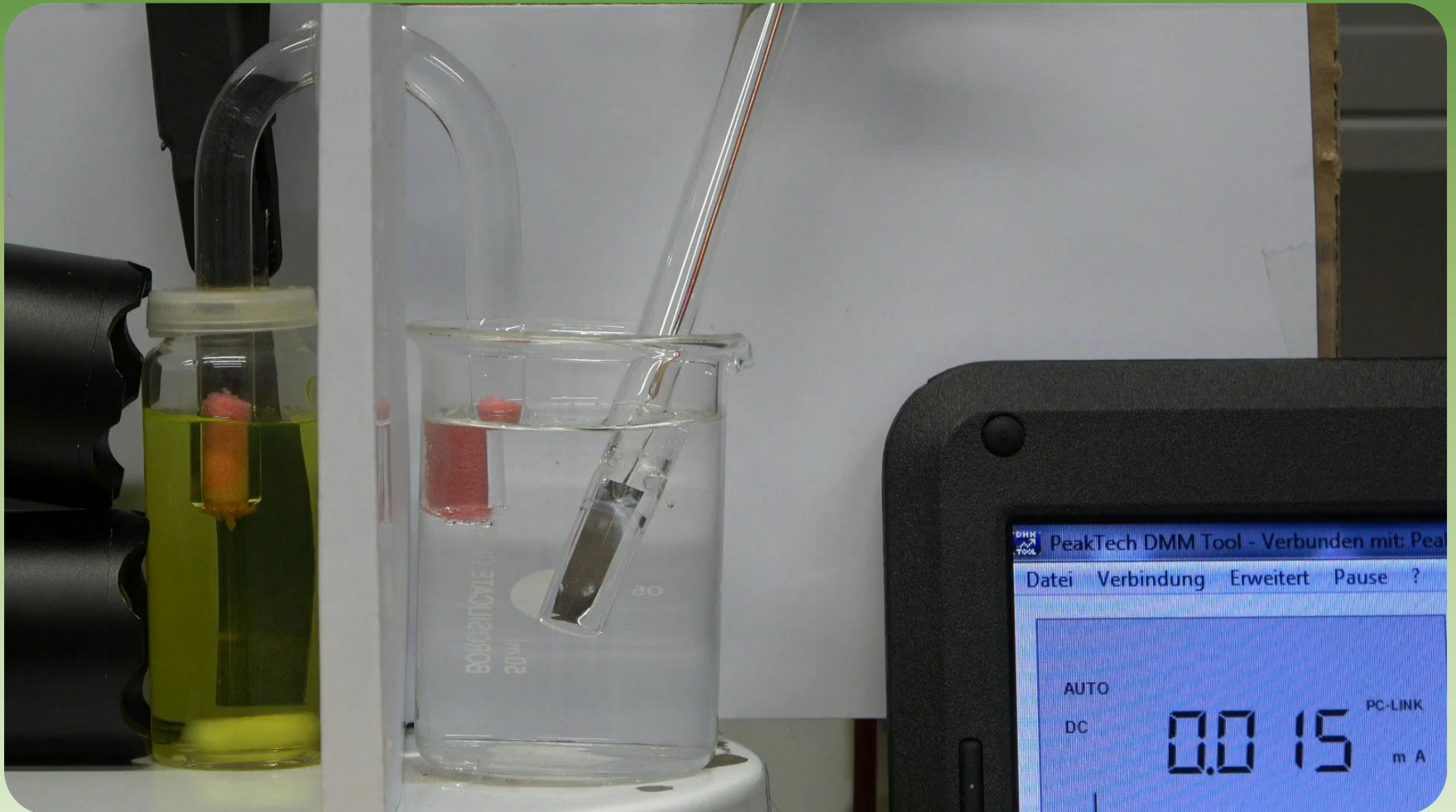
- Ist die Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff mit dem Photo-Blue-Bottle Experiment möglich?



## Photogalvanische 2-Topf Zelle

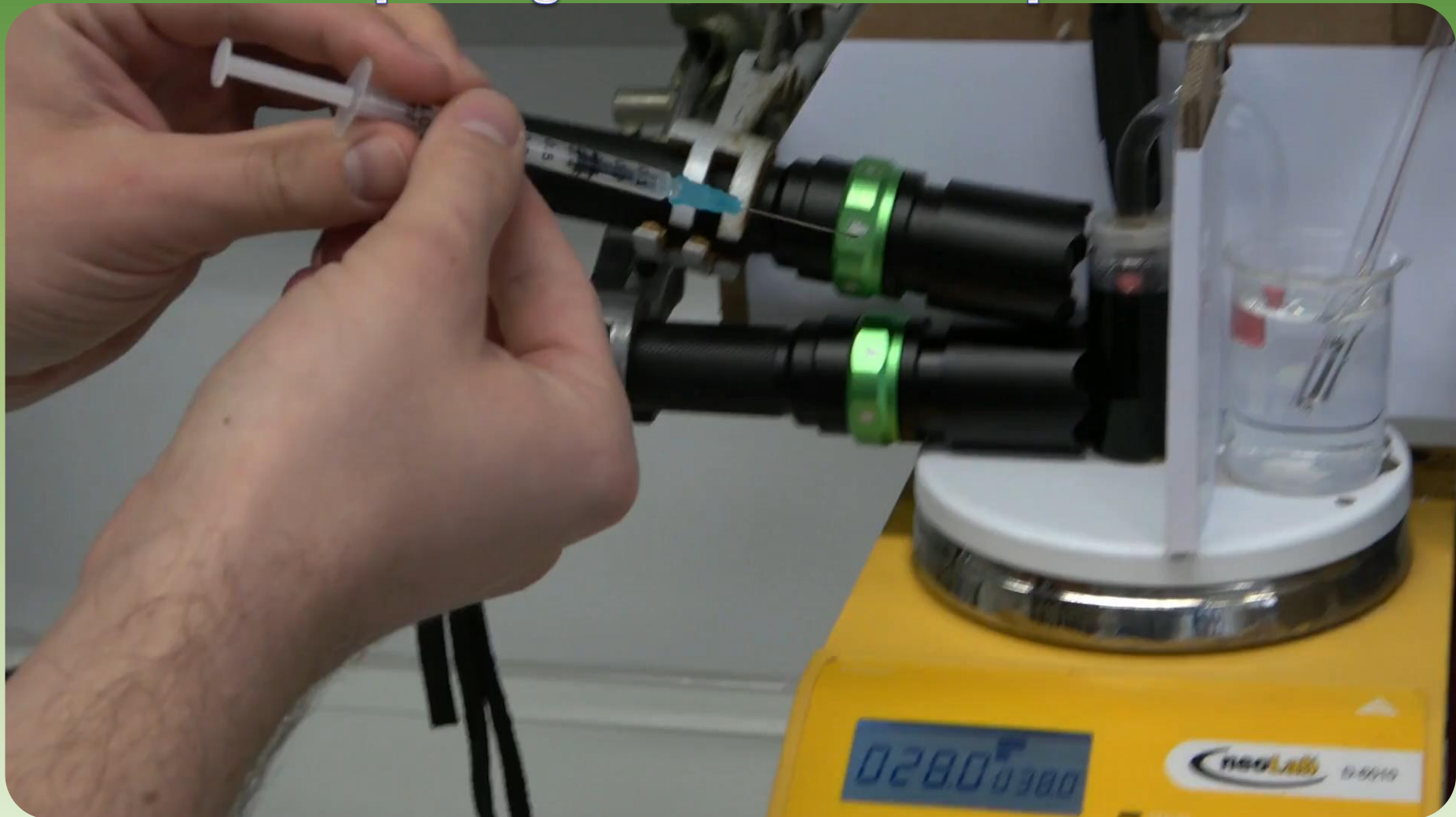


# Wasserstoff mit Photo-Blue-Bottle in der photogalvanischen 2-Topf Zelle



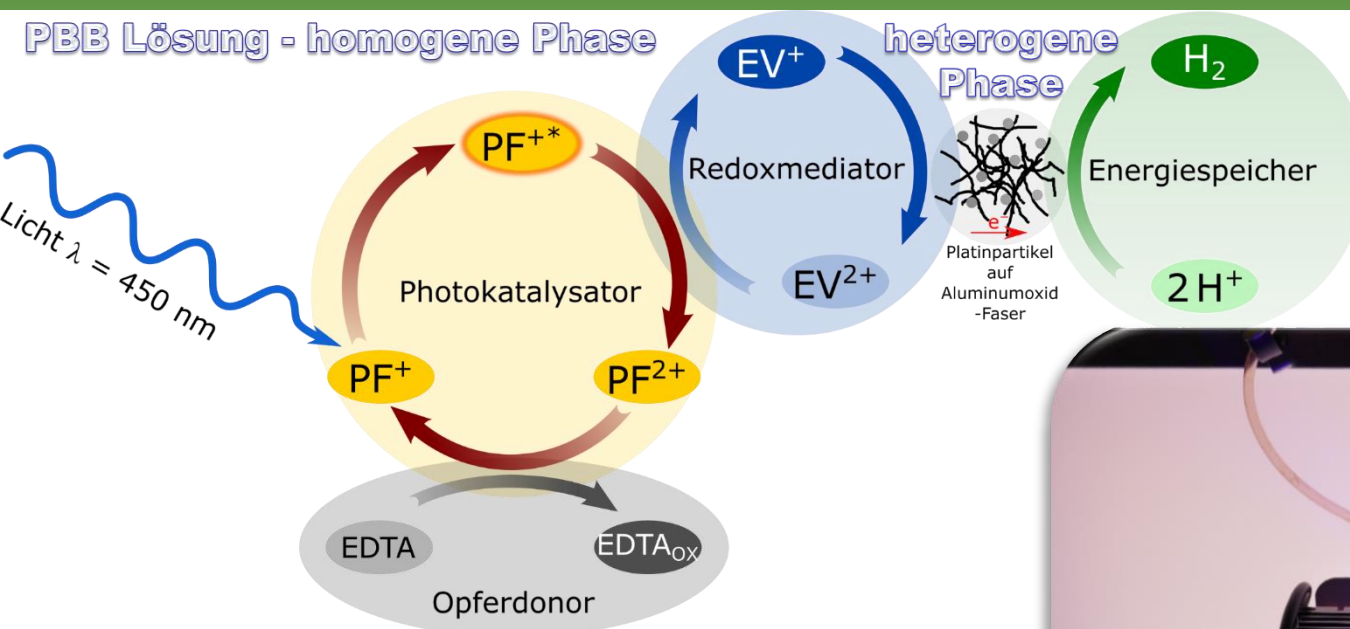


# Wasserstoff mit Photo-Blue-Bottle in der photogalvanischen 2-Topf Zelle

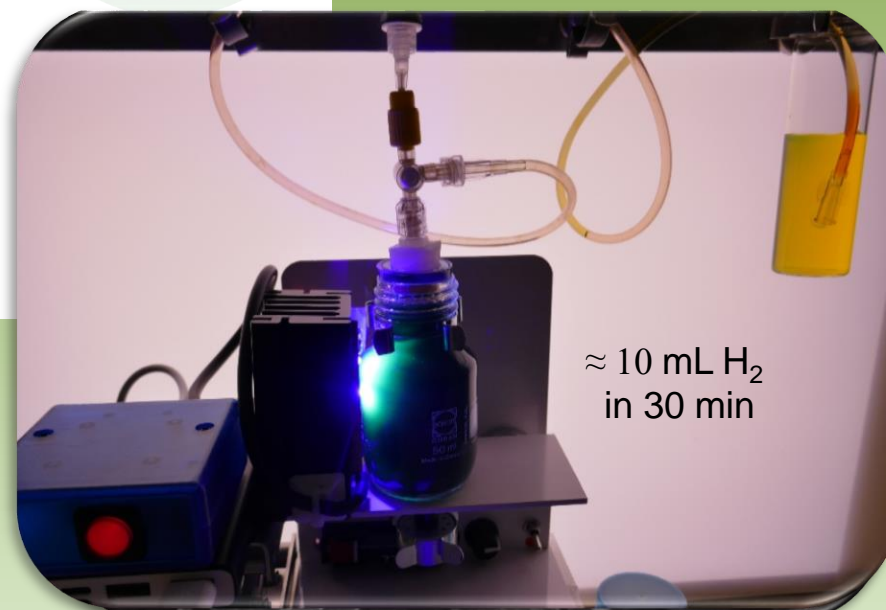




# Wasserstoff mit Photo-Blue-Bottle in der photokatalytischen 1-Topf Zelle



- 50 mL PBB-Lösung
- 50 mg Nano-Pt@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- pH  $\cong$  4,5 (EDTA-Puffer)
- $E^\circ(H_2/2H^+) = -0,265 \text{ V}$
- $E^\circ(EV^+/EV^{2+}) = -0,449 \text{ V}$



Photokatalytische 1-Topf Zelle  
2019 - 2023

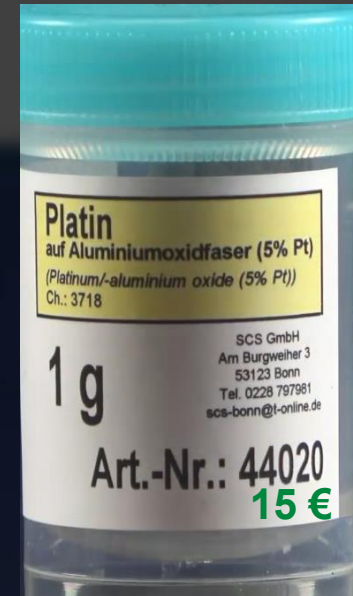


# H<sub>2</sub> – Nachweis im Mikromaßstab

schnell - einfach - eindeutig



5% Pt@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Angeregte Zustände  
für anregende Chemie

# Photo-Blue-Bottle

Photo-MINT



Grüner  
Wasserstoff  
mit Sonnenlicht

PBB im Sonnenlicht

PBB mit Handy - LED



Luisa, 6 J





H<sub>2</sub> in PBB 2-Topfzelle



H<sub>2</sub> in PBB 1-Topfzelle



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

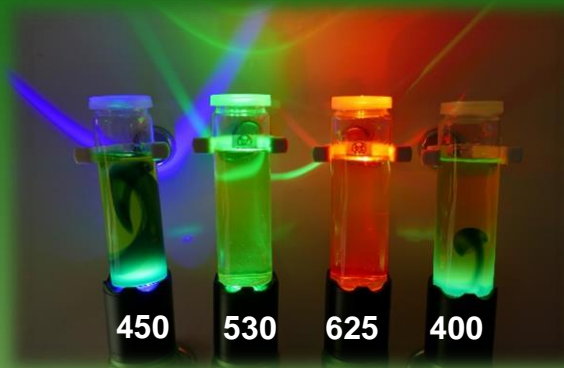
geeignet für Pilotanlagen und für großtechnische Industrieanlagen



# Zusammenfassung Workshop

## Lichtlabor Pflanze & Künstliche Photosynthese

Photo-MINT



Relation: Licht-Energie-Farbe-Struktur

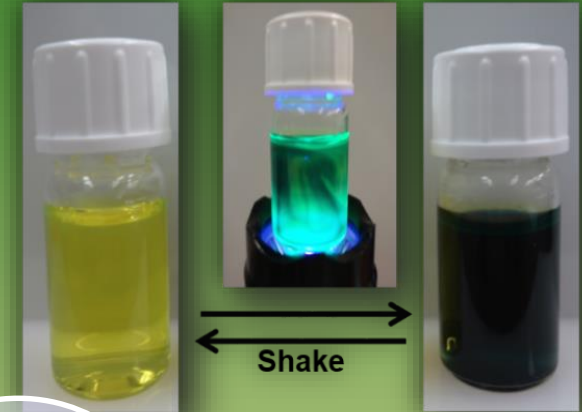


Photo-Blue-Bottle PBB  
Basisexperiment



$\beta$ -Carotin und Chlorophyll

**Energie**  
Umwandlung und  
Transfer

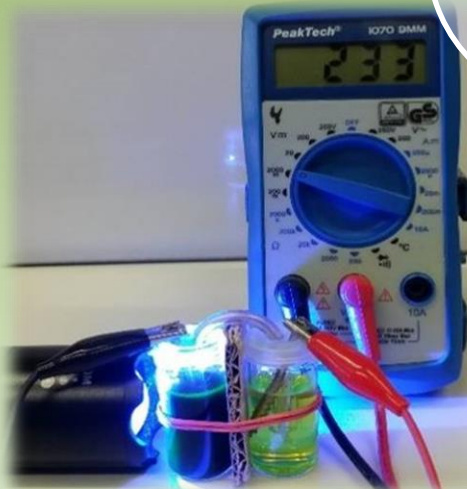
Fachinhalte aus:

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

**C-Kreislauf**  
Photosynthese-  
Atmung

**Elektrochemie**  
Galvanische  
Zellen

**Künstliche Photosynthese**  
„grüner“  
Wasserstoff



PBB Konzentrationszelle



H<sub>2</sub> in PBB 1-Topfzelle







# Chemie mit Licht im Unterricht

- Vorschläge für Unterrichtsdesign
- Curriculare Einbindung





# Konstruktivistische Lernschleife

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

Die angepassten Begriffe und Konzepte werden auf Phänomene aus **Alltag**, **Technik** und **Umwelt** angewendet.

Die Interpretation der neuen Fakten zwingt zur Anpassung der vorhandenen **Begriffe** und **Konzepte**, sodass sie den neuen Fakten auch gerecht werden.

Zunächst wird das **Vorwissen** der Lernenden erkundet, denn das ist der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst.

In diesem Segment werden in **Experimenten** neue Fakten erforscht, **Hypothesen** entwickelt und überprüft

3. Anpassen

4. Anwenden

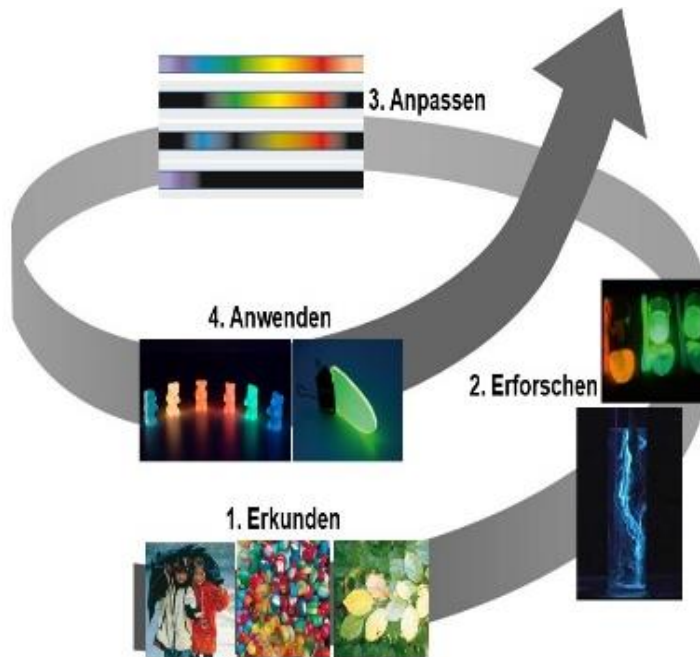
2. Erforschen

1. Erkunden

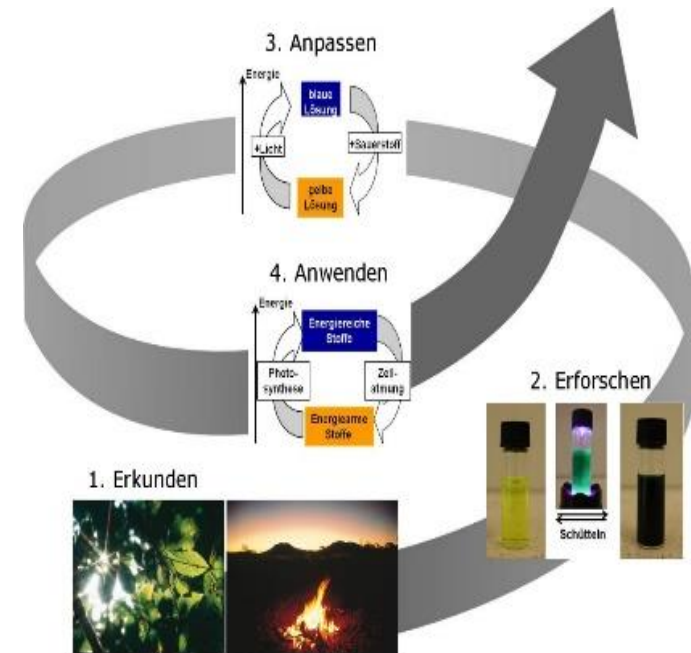


## Konstruktivistische Lernschleifen

Beispiele für Sek. I



Lernschleife „Farben und Leuchtfarben“

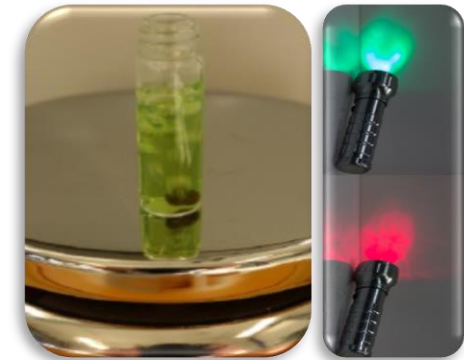
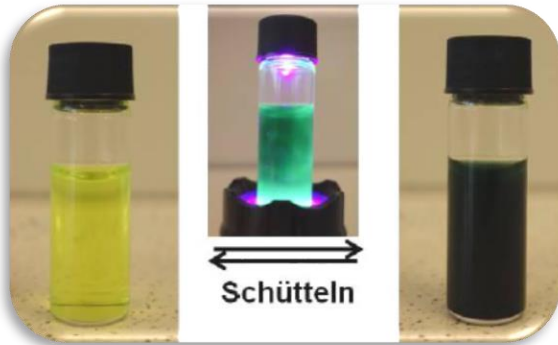
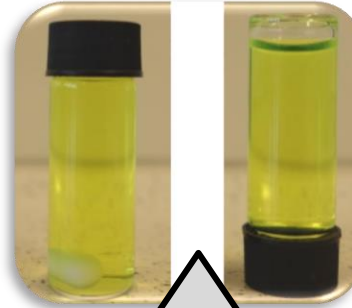


Lernschleife „Licht – der Antrieb fürs Leben“

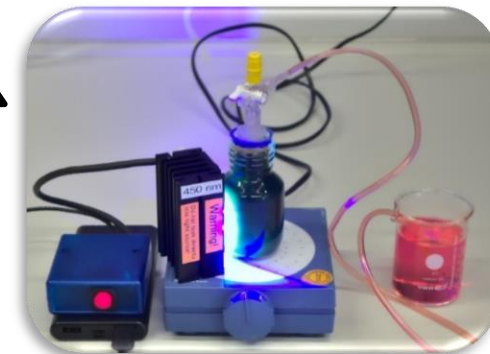
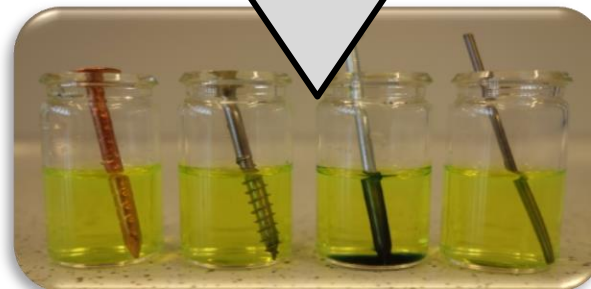
# Unterrichtsdesign - Beispiel für die Sek. II

## 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

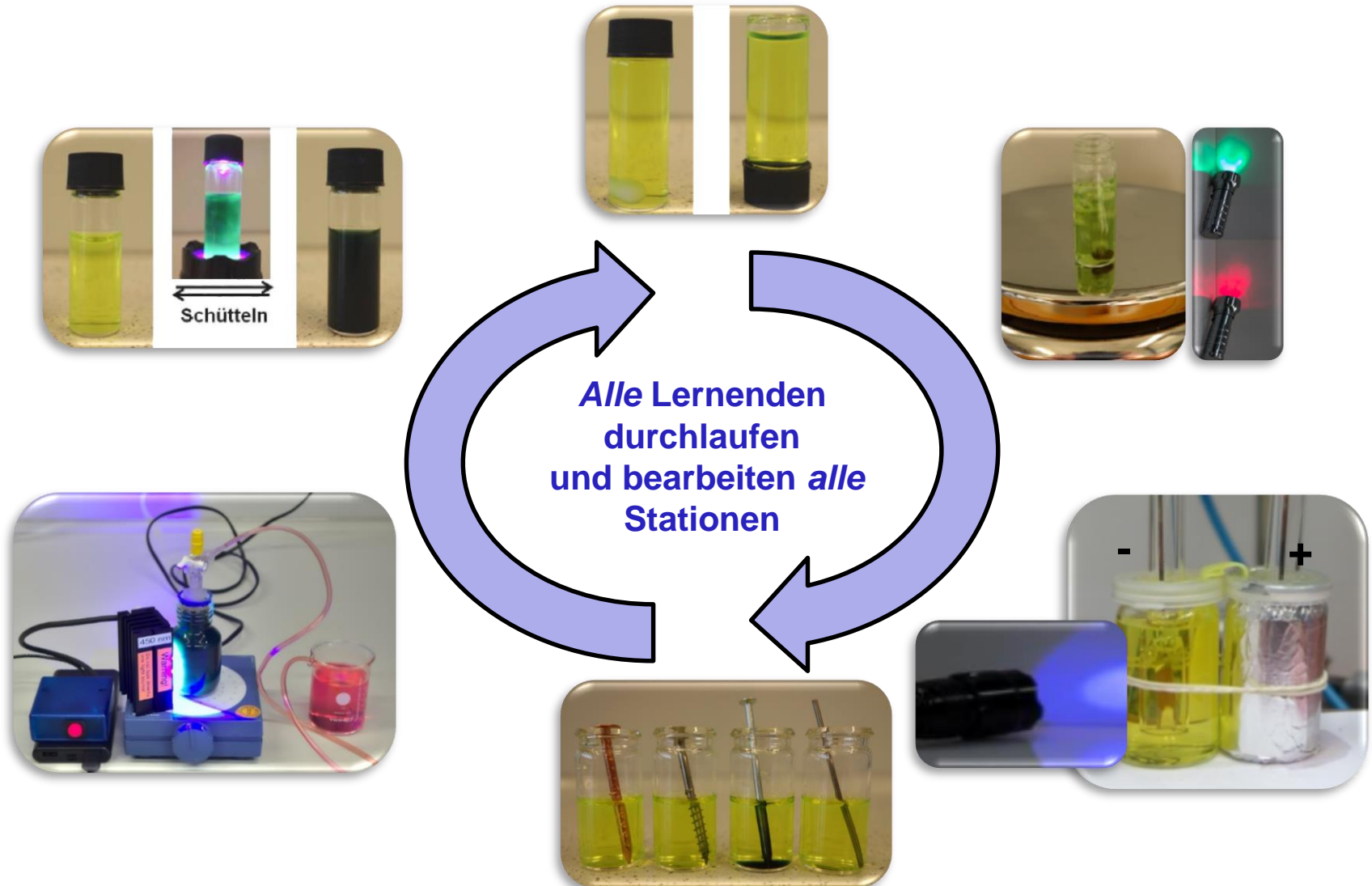




# Unterrichtsdesign - Beispiel für die Sek. II

## Stationenlernen im Rotationsmodus zum Kontext

### „Kreislauf Photosynthese/Zellatmung“ und „Grüner Wasserstoff“

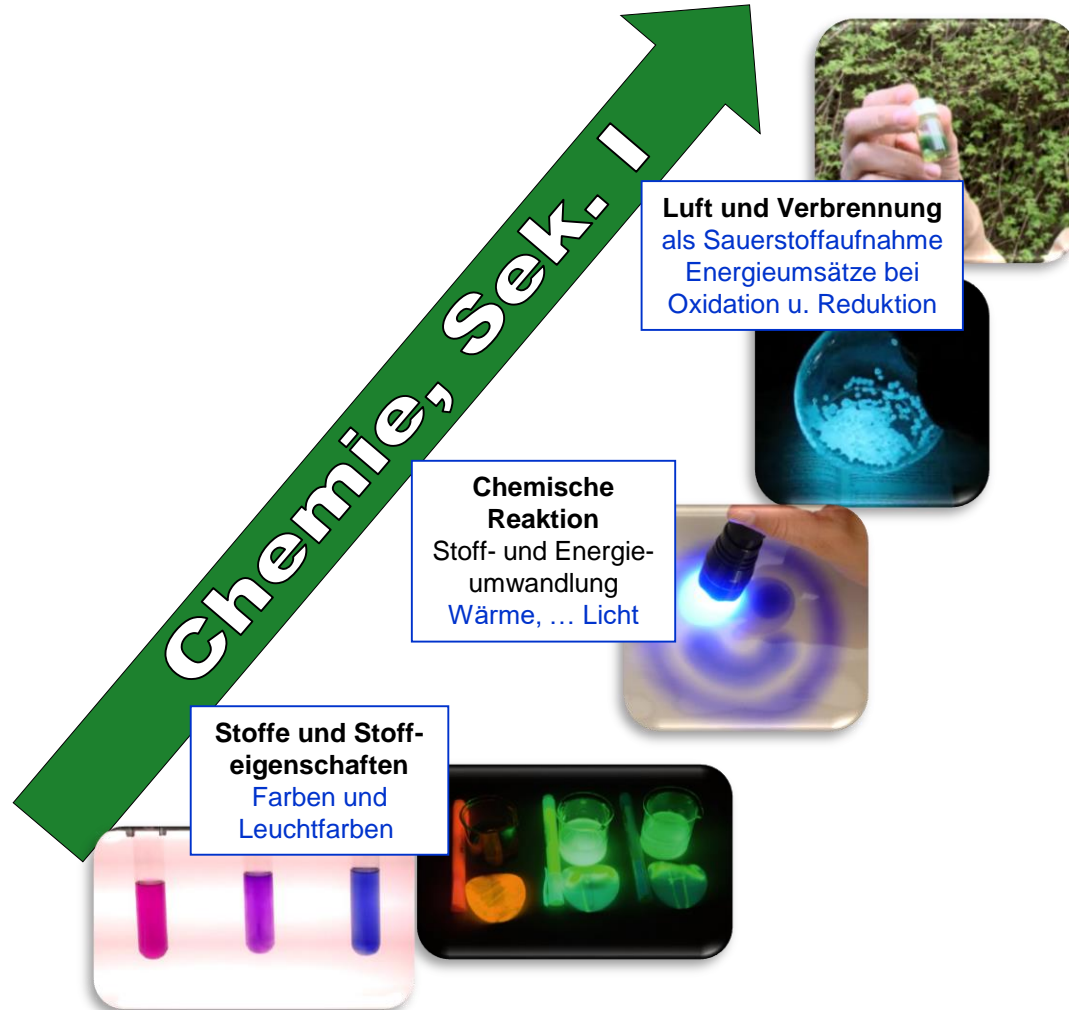




# Curriculare Einbindung von Chemie mit Licht in den Chemieunterricht der Sek. I

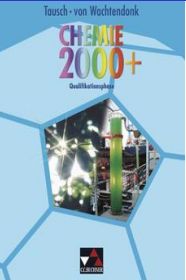


Lehrplanpflichtige Inhaltsfelder der Sek. I - die Reihenfolge ihrer Bearbeitung ist wie angegeben festgelegt

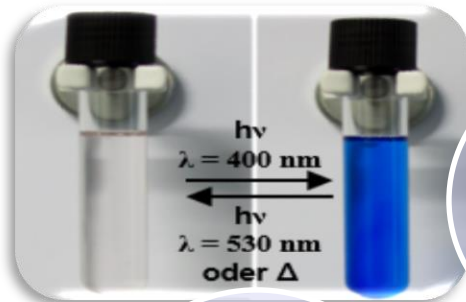
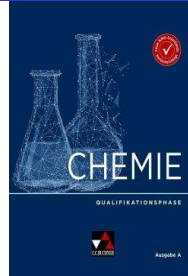




# Curriculare Einbindung von Chemie mit Licht in den Chemieunterricht der Sek. II

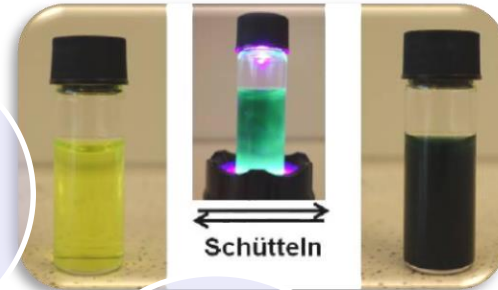


Lehrplanpflichtige Inhaltsfelder der Sek. II  
Die Reihenfolge der Bearbeitung ist *nicht* festgelegt



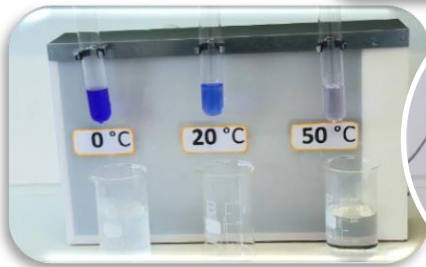
## Chemische Gleichgewichte

Energie und Gleichgewicht photostationärer Zustand



## Energetik, Katalyse, Reaktionskinetik

Konzept:  $A \rightarrow A^*$   
Photonen:  $E = h \cdot \nu$   
Thermo- vs. Photochemie

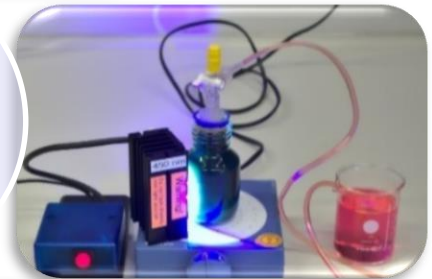


## Basiskonzepte

- ▶ Chem. Gleichgewichte
- ▶ Energie
- ▶ Stoff-Teilchen
- ▶ Struktur-Eigenschaft
- ▶ Donator-Akzeptor

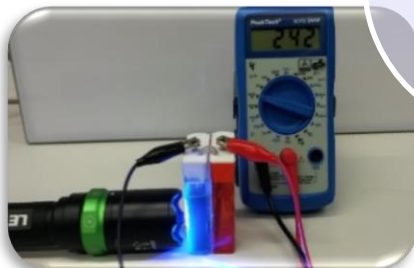
## Stoffkreisläufe

C-Kreislauf in der Biosphäre  
„Grüner“  $H_2$  - photokatalytisch



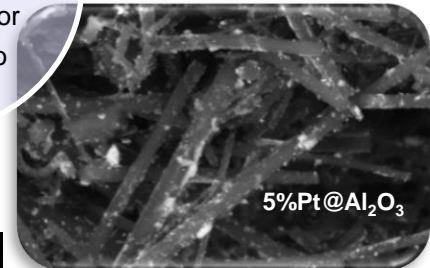
## Elektrochemie, galv. Zellen

Redoxpaare  
Nernst-Gleichung.  
Konz.-Zellen



## Funktionelle Farbstoffe, Nano-Material

Photokatalysator  
Photo & Nano







# Teaching@Distance

in der Corona-Pandemie entwickelte  
digitale Materialien zu Chemie mit Licht  
mit Links zu Bildungsservern einiger  
Bundesländer

Die Materialien sind aktuell  
zugänglich und nutzbar



# 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](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://cloud.schulcampus-rlp.de/edu-sharing/components/search_)

[https://nibis.de/stoff--und-energieumwandlungen-beim-kreislauf-photosynthese-zellatmung\\_15501](https://nibis.de/stoff--und-energieumwandlungen-beim-kreislauf-photosynthese-zellatmung_15501)



# 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.).

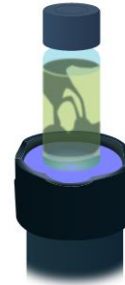
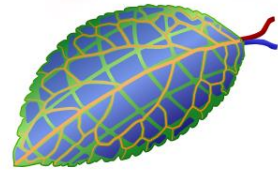
elektrisch leitende und halbleitende Kunststoffe, Kunststoffe mit photoaktiven molekularen Schaltern



# Equipment

Experimentiersets zum  
Workshop „Lichtlabor Pflanze und  
Künstliche Photosynthese“

# 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-experimentierset-photo-cat/basisversion/>



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

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





# Photo-Cat Experimentiersets

mit der Photo-Blue-Bottle Lösung



## Basis-Version

Photo-Cat für Experimente zum  
Kreislauf Photosynthese/Atmung

Preis: 196,- €



## Demo-Version

Photo-Cat für Experimente zur  
Herstellung von „grünem“ Wasserstoff

Preis: 360,- €

## Bezugsquellen für PBB-Versuche:

- Proflavin (3,6-Diaminocridin-hemisulfat), CAS 1811-28-5, Sigma Aldrich; (10 g ca. 43 €)
- Ethylviologen dibromid (1,1'-Diethyl-4,4'-bipyridiniumdibromid), CAS 53721-12-3, Sigma Aldrich; (1 g ca. 45 €)
- EDTA-Dinatriumsalz (Ethylendimaintetraessigsäure-dinatriumsalz), CAS 6381-92-6, Carl-Roth; (1 kg ca. 47 €)

### **Für die Herstellung von 500 mL PBB-Lösung werden benötigt:**

- 1 g EDTA
- 561 mg Ethylviologen
- 15 mg Proflavin

### **Für die Herstellung von 500 mL PBB-Lösung werden benötigt:**

- Graphitfolien, Conrad Electronics, Wärmeleitfolie 0.2 mm 5.5 W/mK (L x B) 100 mm x 100 mm Kerafol 90/10; Art. Nr.: 000189059 ; 2,59 €/Folie
- Reduktionskatalysator (5% Pt auf Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fasern)

### **Lichtquellen:**

- LED-Taschenlampen mit 4 Farben (violett: 400 nm, blau: 450 nm, grün: 530 nm, rot: 630 nm); im Internet unter Suchbegriff: LE Multi-Color LED, Rechargeable Flashlight (1 Stück ca. 20 €)
- Highpower LED von *Sahlmann Photochemical Solutions*, verschiedene Wellenlängen, Preis auf Nachfrage beim Hersteller; email: bs@sahlmann-ps.de.



# LED-Taschenlampe



## LE Multi-Color LED Rechargeable Flashlight

Internet ca. 19,99.-€  
Akku - Ladeteil inbegriffen

- gelb 580-585nm, 200lm, 5 Std.
- blau 450-455nm, 40lm, 5 Std.
- grün 450-525nm, 200lm, 6,5 Std.
- rot 620-625nm, 140lm, 3,5 Std.
- UV 390-395nm, 9 Std



## LEDLENSER t2qc Quad Farbe LED- Taschenlampe (schwarz) – test-it Pack, 9802qctp / Ledlenser GmbH Solingen

Internet ca. 29,39.-€; Batterie inbegriffen

- weiß, rot, grün, blau durch Kopfdrehen

über „Voelkner LED Lenser T2 QC“ nur 26.-€

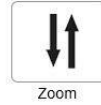


# LED-Taschenlampe



## Multi-Color LED Taschenlampe

Internet ca. 16.-€  
Akku - Ladeteil inbegriffen



- blau 450-455nm,
- grün 450-525nm,
- rot 620-625nm,



## Multi-Color LED Taschenlampe

Internet ca. 14.-€  
Akku - Ladeteil inbegriffen



# Ende

„Lichtlabor Pflanze und  
Künstliche Photosynthese“