

Lösungen zu den Arbeitsblättern

2a Photo-Blue-Bottle (PBB)

Ein Modellexperiment zu Stoff- und Energieumsätzen

E1

Energieform	Farbe/Temperatur	Beobachtung
Licht	blau	Blaufärbung
Licht	grün	keine Änderung
Licht	rot	keine Änderung
Licht	weiß	Blaufärbung
Licht	violett	Blaufärbung
Wärme	z.B. 100 °C	keine Änderung

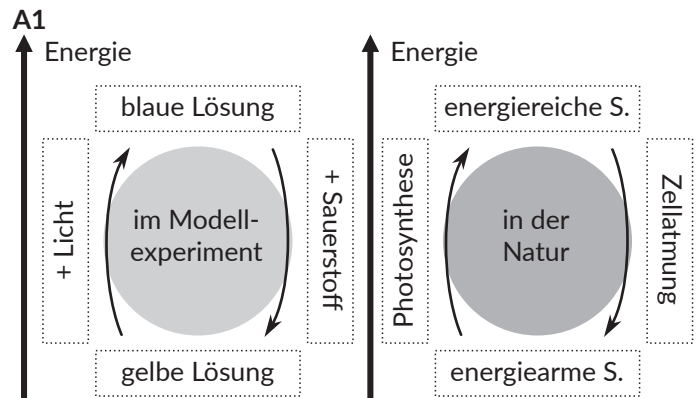
Hinweis: Die Absorptionsbande des Farbstoffes Proflavin in der PPB-Lösung liegt im Bereich 350 – 500 nm mit einem Maximum bei 444 nm. Daher wird die Stoffumwandlung, die durch die Bildung eines blauen Stoffes in der gelben Lösung zu beobachten ist, nur durch blaues (450 nm), violett (400 nm) oder weißes Licht (, da es blaues Licht enthält,) angetrieben. Auch unter intensiver Sonneneinstrahlung ist eine Stoffumwandlung zu beobachten.

E2 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.



A2 Voraussetzung: Richtige Lösung zu A 1 liegt vor.

Zellatmung geschieht durch Aufnahme von Sauerstoff. Die Sauerstoffaufnahme bzw. die Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff wird als Oxidation bezeichnet. Somit stellen die nach unten zeigenden Pfeile eine Oxidation dar.

Die Photosynthese ist der Gegensatz der Zellatmung, sowie auch die Reaktion Gelbe Lösung → Blaue Lösung den Gegensatz zur Reaktion Blaue Lösung → Gelbe Lösung darstellt. Der Gegensatz der Oxidation ist die Reduktion. Somit stellen die nach oben zeigenden Pfeile eine Reduktion dar.

A3 Gemeinsamkeiten:

- Die Reaktionen werden durch Lichtenergie angetrieben.
- An den Reaktionen sind farbige Stoffe beteiligt (gelbe Lösung, Blattgrün).
- Für die Zellatmung und die Reaktion Blaue Lösung → Gelbe Lösung wird Sauerstoff benötigt.
- Der Zyklus Gelb → Blau → Gelb ist wiederholbar. Der natürliche Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung wiederholt sich ebenfalls

Hinweis: Der Zyklus Gelb → Blau → Gelb kann nicht unendlich oft wiederholt werden, da entweder das EDTA in der PBB-Lösung nach mehreren Zyklen verbraucht oder im Schraubdeckelgas nicht mehr genügend Sauerstoff vorhanden sein wird.

Unterschiede:

- Durch Photosynthese wird Sauerstoff erzeugt. Bei der Reaktion Gelbe Lösung → Blaue Lösung entsteht kein Sauerstoff.
- Die PBB-Lösung beinhaltet (bis auf Sauerstoff) andere Stoffe als die aus dem natürlichen Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung.
- Beim natürlichen Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung laufen mehr chemische Reaktionen ab als im Modellexperiment.
- Die chemischen Vorgänge des Modellperiments finden im geschlossenen System (in einem Schraubdeckelglas) statt, wohingegen sowohl die Photosynthese als auch die Zellatmung in einem offenen System ablaufen.

- Im Modellexperiment führt Lichtenergie zu einem Farbwechsel der Lösung. In der Natur findet durch die Photosynthese kein Farbwechsel statt.

A4 Mögliche Vorteile des Modellexperiments:

- Mithilfe des Modellexperiments kann der natürliche Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung stark vereinfacht simuliert und seine Grundprinzipien erklärt werden.
- Durch den Farbwechsel der PBB-Lösung beim Bestrahlen oder Schütteln kann den beiden Abläufen die Photosynthese und die Zellatmung zugeordnet werden.
- Das Modellexperiment ist sehr einfach durchzuführen.

Mögliche Nachteile bzw. Grenzen des Modellexperiments:

- Da das PBB-Experiment ein Modell ist, werden viele der bei dem natürlichen Kreislauf Photosynthese/Zellatmung ablaufenden Prozesse bzw. Reaktionen vernachlässigt.
- Die PBB-Lösung beinhaltet andere Stoffe als die in dem natürlichen Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung.
- Durch die Photosynthese wird Sauerstoff erzeugt. Bei der Reaktion Gelbe Lösung → Blaue Lösung entsteht kein Sauerstoff.
- Die chemischen Vorgänge des Modellexperiments finden im geschlossenen System (in einem Schraubdeckelglas) statt, wohingegen die natürlichen Stoffkreisläufe in offenen Systemen ablaufen.
- Im Modellexperiment führt Lichtenergie zu einem Farbwechsel der Lösung. In der Natur findet durch die Photosynthese kein Farbwechsel statt.
- Das PBB-Experiment läuft nur so lange ab bis das EDTA aufgebraucht oder kein Sauerstoff mehr vorhanden ist.

Für besonders Schnelle: A5

Energieformen: Elektrische Energie (z.B. für das Handy), Wärmeenergie (z.B. beim Kochen), Lichtenergie (z.B. zum Beleuchten), mechanische Arbeit (z.B. zum Bewegen von Körpern).

2b Photo-Blue-Bottle (PBB)

Ein Modellexperiment zu Stoff- und Energieumsätzen

E1 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe E1

E2

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

Die Reaktion Blau → Gelb findet nicht statt, wenn keine Luft über der Lösung vorhanden ist.

Der Reaktionszyklus Gelb → Blau → Gelb ist nur zweimal möglich.

Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Sauerstoff.

Die Hin- und Rückreaktionen im Photo-Blue-Bottle-Experiment modellieren den natürlichen Kreislauf Photosynthese/Atmung.

Der Reaktionszyklus Gelb → Blau verläuft nur bei Temperaturen über 5 °C ab.

A1 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe A1

A2 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe A2

A3 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe A3

B1 Die Photosynthese ist sowohl ein Prozess der **Energieumwandlung** als auch der Stoffumwandlung: **Lichtenergie** wird in chemische umgewandelt.

Energiearme Stoffe (Kohlenstoffdioxid, Wasser) werden unter Freisetzung von Sauerstoff in energiereiche (**Zucker**) umgewandelt.

Im **Modellexperiment** wird durch Lichtenergie die energiearme, gelbe Lösung in die **energiereiche**, blaue Lösung umgewandelt. Die **Rückreaktion** findet durch Schütteln statt: Die blaue Lösung wird durch **Oxidation** (Sauerstoffaufnahme) wieder in die **gelbe** Lösung umgewandelt. Die in der blauen Lösung gespeicherte **Energie** wird freigesetzt. Diese Umwandlung stellt die natürliche **Zellatmung** dar. Die **freiwerdende** Energie aus den **energiereichen** Stoffen brauchen Lebewesen und Pflanzen um z.B. zu wachsen.

B2 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe A4

Für besonders Schnelle: A4|B3

Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe A5

3, 4 Photo-Blue-Bottle

Ein Modellexperiment zum Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur (Bio & Ch)

E1 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe E1

E2

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

Die Reaktion Gelb → Blau funktioniert nicht mit Licht jeder Farbe aus dem sichtbaren Spektrum.

Die Reaktion Blau → Gelb benötigt nur Bewegungsenergie.

Der Reaktionszyklus Gelb → Blau → Gelb ist nur zweimal möglich.

Die Reaktion Blau → Gelb benötigt Sauerstoff.

Die Reaktionszyklen im Photo-Blue-Bottle-Experiment entsprechen dem natürlichen Kreislauf Photosynthese*/Zellatmung*.

Die Reaktion Gelb → Blau läuft nur bei Temperaturen über 5 °C ab.

A1 An der Stelle, an der das blaue Licht in die gelbe Lösung eintritt, entsteht eine blaue Substanz. Sie bildet sich aus einer vorher farblosen Substanz, die im Versuch als Modell für das farblose CO_2 aus der Natur dient. Der gelbe Stoff aus der Ausgangslösung ist eine Modellschubstanz für die Chlorophyll. Er wirkt im Experiment als Photokatalysator. Das Photokatalysator-Ion (PF^+) wird durch Absorption eines Photons bzw. Lichtquants geeigneter Energie elektronisch angeregt zu PF^{*+} . (Im Film wird zur Vereinfachung der Photokatalysator mit PK bzw. PK^* statt PF^+ bzw. PF^{*+} , wie auf dem Arbeitsblatt unter E1 zu sehen ist, abgekürzt.) Dabei überträgt es ein Elektron auf ein Ion des farblosen Substrats (EV^{2+}), das dabei reduziert wird (zu EV^+).

Die Lösung (und nicht das Substrat, wie es im Film inkorrekt heißt,) wechselt somit die Farbe von anfänglich gelblich-transparent zu blau. Ein Teil der absorbierten Lichtenergie wird so in chemische Energie umgewandelt und ist in der blauen Substanz, dem reduzierten Substrat (EV^+), gespeichert. Wird das Licht ausgeschaltet und Sauerstoff zugeführt, reagiert dieser mit den EV^+ -Ionen zu EV^{2+} -Ionen. Die Lösung wird wieder gelblich-transparent. Im Experiment funktioniert die lichtgetriebene Reaktion zur Bildung des blauen Stoffes nur mit blauem, violetterem oder weißem Licht (vgl. Lösung zu E1).

A2 Bei dem natürlichen Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung laufen sowohl Prozesse der Stoffumwandlung als auch der Energieumwandlung ab. In dem PBB-Experiment werden die photochemischen Reaktionen aus der Natur nachgestellt. Bei der Photosynthese wird Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt. Energiearme Stoffe wie Kohlenstoffdioxid und Wasser werden unter Freisetzung von Sauerstoff in energiereiche Stoffe wie Zucker umgewandelt. Im Modellexperiment wird durch Lichtenergie die energiearme, gelbe Lösung in die energiereiche, blaue Lösung umgewandelt. Die Rückreaktion findet durch Schütteln statt: Die blaue Lösung wird durch Oxidation wieder in die gelbe Lösung umgewandelt. Die in der blauen Lösung gespeicherte Energie wird freigesetzt. Diese Umwandlung stellt die natürliche Zellatmung dar.

A3 Offene Lösung.

Hinweis: Zu Arbeitsblatt 2a, A3 sind Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem Modellexperiment PBB und dem natürlichen Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung und zu Arbeitsblatt 2a, A4 mögliche Vor- und Nachteile des Modellexperiments aufgeführt. Diese können als Argumente zur Beurteilung des Modellexperiments PBB dienen.

Zusatz für den Biologieunterricht A4

Die Abbildungen in den Lösungen zu Arbeitsblatt 2a, A1 oder zu Arbeitsblatt 2b, A1 zeigen eine mögliche Lösung.

B1

Im Modellexperiment	In der Natur
EDTA als Elektronendonator	H_2O als Elektronendonator
PF^+ als Photokatalysator	Chlorophylle u.a. als Photokatalysator-System
EV^+ (energiereich)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (energiereich)
EV^{2+} (energiearm)	CO_2 (energiearm)
Kreislauf des Substrats (im Schema blau)	C- und O-Kreislauf (im Schema blau)
Kreislauf des Photokatalysators (im Schema rot)	Kreislauf der Chlorophylle u.a. (im Schema rot)
Reaktionszyklus Blau \rightarrow Gelb \rightarrow Blau	natürlicher Kreislauf Photosynthese/Zellatmung

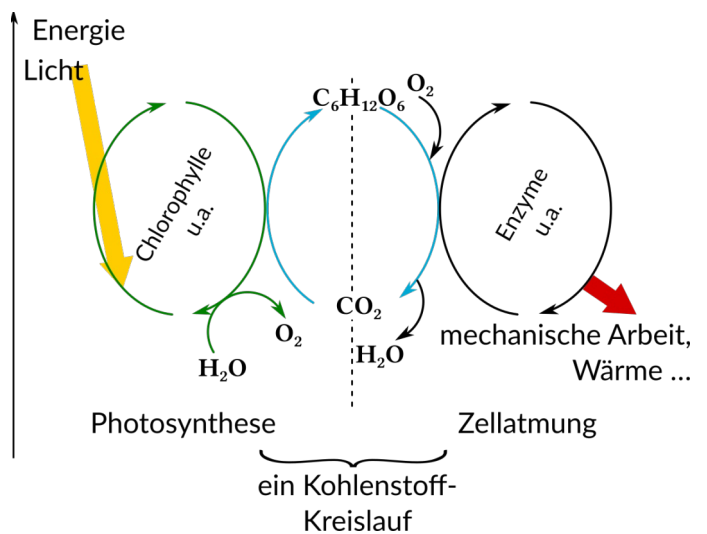
B2 Bei der Photosynthese wird Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt. Energiearme Stoffe wie Kohlenstoffdioxid und Wasser werden unter Freisetzung von Sauerstoff in energiereiche Stoffe wie Zucker umgewandelt. Bei der Zellatmung wird die gespeicherte chemische Energie in Wärme, mechanische Arbeit u.a. umgewandelt.

B3 Vgl. A2

Grenzen des Modellexperiments: Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, A4

B4 Offene Lösung.

Folgende Abbildung zeigt eine mögliche Lösung:



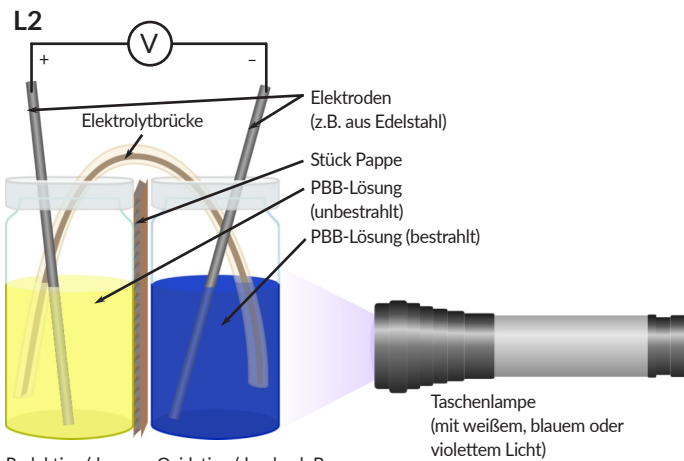
5 Photo-Blue-Bottle (PBB)

Ein Modellexperiment zur Energieumwandlung und -speicherung in einer lichtgetriebenen Konzentrationszelle

B1 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe E1

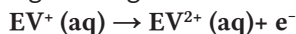
B2 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 2b, Aufgabe E2

L1 Vgl. Lösung zu Arbeitsblatt 3,4 Aufgabe B1

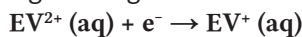


Reduktion (der EV^{2+} -Ionen zu EV^+ -Ionen unter Elektronenaufnahme)
 Oxidation (der durch Bestrahlung entstandenen EV^+ -Ionen zu EV^{2+} -Ionen unter Elektronenabgabe)

Reaktionsgleichung der Oxidation an der Anode:



Reaktionsgleichung der Reduktion an der Kathode:



L3 In der bestrahlten Halbzelle laufen folgende Prozesse ab: Das Photokatalysator-Ion (PF^+) wird durch Absorption eines Photons bzw. Lichtquants geeigneter Energie elektronisch angeregt zu PF^{*+} . (Im Film wird zur Vereinfachung der Photokatalysator mit PK bzw. PK^* statt PF^+ bzw. PF^{*+} , wie auf dem Arbeitsblatt unter E1 zu sehen ist, abgekürzt.) Die Lösung (und nicht das Substrat, wie es im Film inkorrekt heißt,) wechselt somit die Farbe von anfänglich gelblich-transparent zu blau. Ein Teil der absorbierten Lichtenergie wird so in chemische Energie umgewandelt und ist in der blauen Substanz, dem reduzierten Substrat (EV^+), gespeichert. (Wird die Energiequelle ausgeschaltet und Sauerstoff zugeführt, reagiert dieser mit dem EV^+ -Ionen zu EV^{2+} . Die Lösung wird wieder gelblich-transparent.)

D.h. durch das Bestrahlen der einen Halbzelle nimmt die Konzentration der darin enthaltenen EV^+ -Ionen drastisch zu: $EV^{2+} (aq) + e^- \rightarrow EV^+ (aq)$

In den beiden Halbzellen liegen unterschiedliche Konzentrationen an EV^+ -Ionen bzw. EV^{2+} -Ionen und unterschiedliche Verhältnisse $\frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$ vor, sodass eine Konzentrationszelle entsteht:

$$U = E_A - E_D = 0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$$

(analog zur Konzentrationszelle mit Silber-Halbzellen)

Deshalb kann nun eine spontan ablaufende Redoxreaktion anhand der gemessenen Spannung festgestellt werden.

Mithilfe der photoelektrochemischen Konzentrationszelle wird somit die Umwandlung der Lichtenergie in chemische Energie und ihre Speicherung in der blauen Lösung nachgewiesen.

L4 Bei der galvanischen Zelle aus dem Lehrfilm handelt es sich um eine photoelektrochemische Konzentrationszelle. Die Konzentrationszelle bzw. galvanische Zelle benötigt, sowie die Photosynthese, auch Lichtenergie. Da durch das Bestrahlen der einen Halbzelle die Konzentration der EV^+ -Ionen in dieser erhöht wird, kommt es zu unterschiedlichen Konzentrationen in den beiden Halb-

zellen und es wird eine Spannung bzw. die in dem reduzierten Substrat (EV^+) gespeicherte chemische Energie gemessen. Auch bei der Photosynthese wird Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt und gespeichert. Dabei werden durch Lichtenergie energiearme Stoffe wie Kohlenstoffdioxid und Wasser in energiereiche Stoffe wie Zucker und Sauerstoff umgewandelt. Sowohl bei der Umwandlung von Kohlenstoffdioxid in Zucker bei der Photosynthese als auch in der Halbzelle der photoelektrochemischen Konzentrationszelle findet während der Bestrahlung mit Licht eine Reduktion statt.

E1 Die in dem Experiment vorkommenden Energieformen sind: Lichtenergie, chemische Energie, elektrische Energie.

E2 Durch das Bestrahlen der einen Halbzelle nimmt die Konzentration der darin enthaltenen EV^+ -Ionen drastisch zu: $EV^{2+} (aq) + e^- \rightarrow EV^+ (aq)$

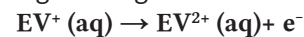
In den beiden Halbzellen liegen unterschiedliche Konzentrationen an EV^+ -Ionen bzw. EV^{2+} -Ionen und unterschiedliche Verhältnisse $\frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$ vor, sodass eine Konzentrationszelle entsteht:

$$U = E_A - E_D = 0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$$

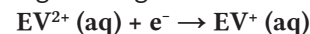
(analog zur Konzentrationszelle mit Silber-Halbzellen)

Deshalb kann nun eine spontan ablaufende Redoxreaktion anhand der gemessenen Spannung bzw. elektrischen Energie festgestellt werden. Dabei werden an dem Minus-Pol, der Anode, die EV^+ -Ionen zu EV^{2+} -Ionen oxidiert und an dem Plus-Pol, der Kathode, werden die EV^{2+} -Ionen zu EV^+ -Ionen reduziert.

Reaktionsgleichung der Oxidation an der Anode:



Reaktionsgleichung der Reduktion an der Kathode:



E3 Gegeben:

$$E_A = -0,45 \text{ V} + 0,059 \text{ V} \cdot \lg 10^{10} \quad (\text{unbestrahlte Halbzelle})$$

$$E_D = -0,45 \text{ V} + 0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)} \quad (\text{bestrahlte Halbzelle})$$

$$U = 200 \text{ mV} = 0,2 \text{ V}$$

Rechnung:

$$U = E_A - E_D$$

$$\Rightarrow 0,2 \text{ V} = -0,45 \text{ V} + 0,059 \text{ V} \cdot \lg 10^{10} - \left[-0,45 \text{ V} + 0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)} \right]$$

$$\Leftrightarrow 0,2 \text{ V} = 0,059 \text{ V} \cdot \lg 10^{10} - 0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$$

$$\Leftrightarrow 0,2 \text{ V} = 0,59 \text{ V} - 0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$$

$$\Leftrightarrow -0,39 \text{ V} = -0,059 \text{ V} \cdot \lg \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$$

$$\Leftrightarrow \frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)} = 10^{6,61}$$

Das Verhältnis $\frac{c(EV^{2+})}{c(EV^+)}$ der unbestrahlten Halbzelle ist in etwa um den Faktor 10^3 größer als in der bestrahlten.

Begründung: vgl. Lösung zu E2

E4

Offene Lösung.

Für besonders Schnelle **E4/E5**

Vergleiche Lösung zu Arbeitsblatt 2a, Aufgabe A4.