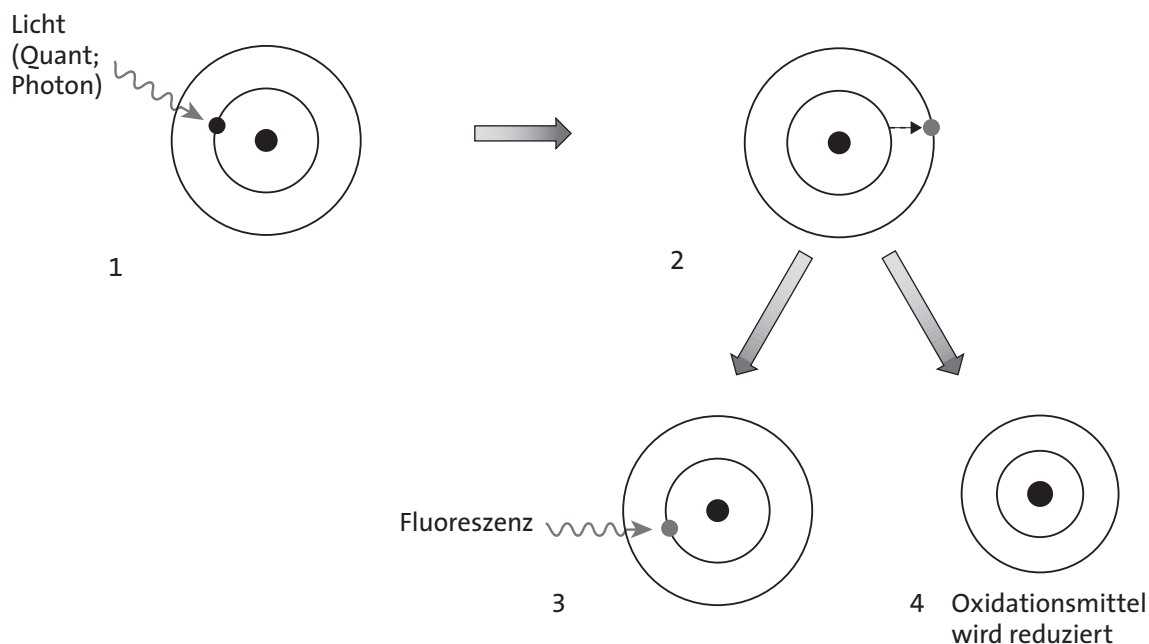


Stoffwechselbiologie

10 Der Lichtsammelkomplex der Fotosynthese

Konstruktionsanleitung

Die Abbildung zeigt die Wirkung von Lichtquanten auf ein Atom.



Werden isolierte Chlorophyllmoleküle im Reagenzglas durch (1) _____
angeregt, so wird die (2) _____ Energie schnell als (3) _____ und
(4) _____ freigesetzt. Wird Chlorophyll jedoch in lebenden Spinatblättern durch
(5) _____ bestrahlt, so beobachtet man keine (6) _____ .
Stattdessen werden die energiereichen (7) _____ aus den angeregten (8) _____
_____ „verjagt“ und (9) _____ auf das erste Glied einer
(10) _____ übertragen.

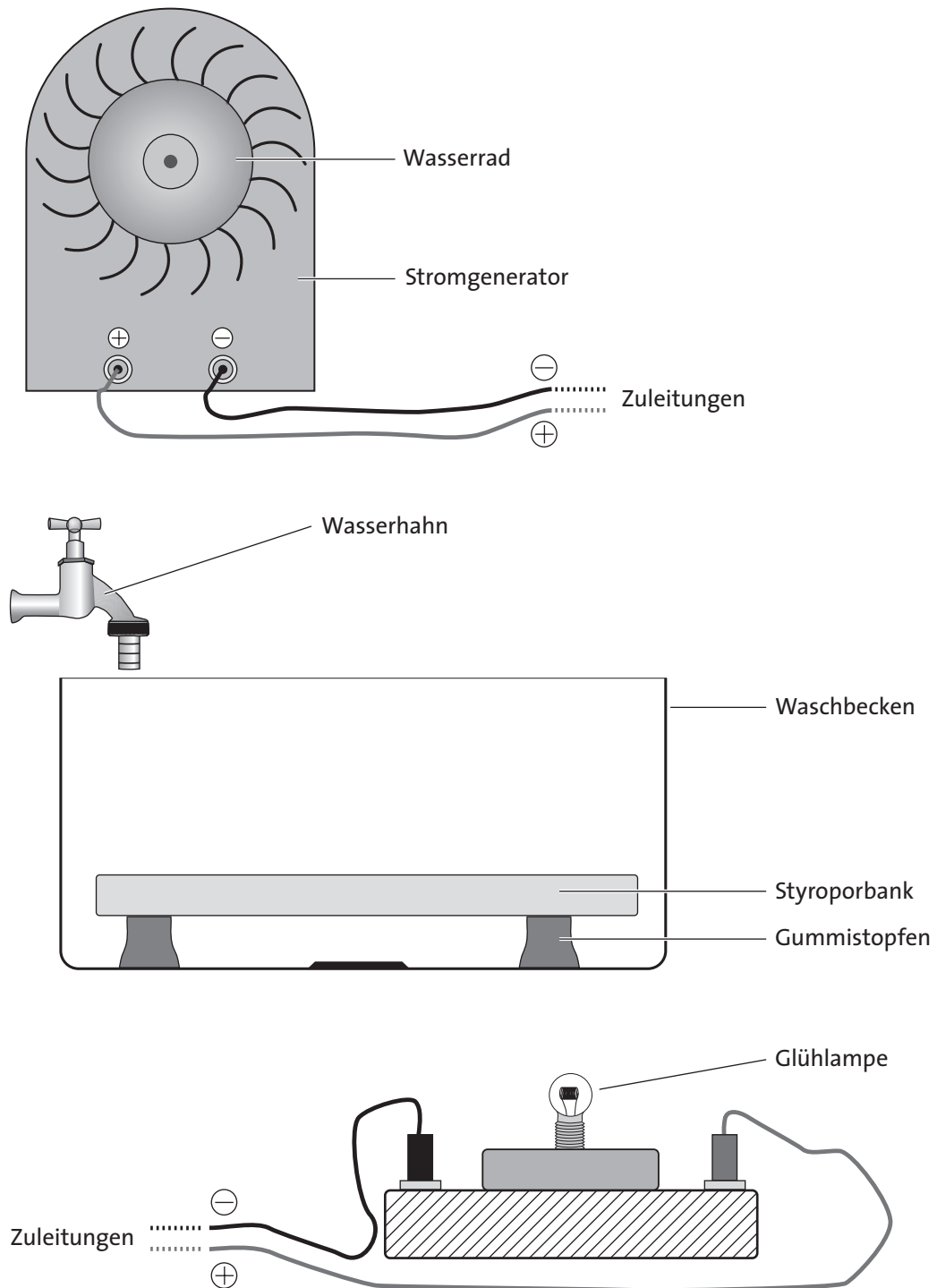
(nach: Lehninger, A., L.: Prinzipien der Biochemie, Walter de Gruyter, Berlin 1987, S. 714, verändert)

Aufgaben

1. Erläutern Sie die in der Abbildung dargestellten Vorgänge.
2. Vervollständigen Sie den Lückentext und stellen Sie kurz die inhaltliche Anbindung an die entsprechenden Fotosynthesevorgänge dar.
3. Verwenden Sie geeignete Informationen aus Abbildung und Text, um daraus die Vorgänge von Energietransfer und Elektronenübertragung in einem Lichtsammelkomplex zu rekonstruieren.
4. Bauen Sie aus den folgenden Versuchsmaterialien ein Modellexperiment auf, mit dem Sie das Zusammenspiel von Antennenpigmenten und Reaktionszentrum nachvollziehen können.

Stoffwechselbiologie

10 Der Lichtsammelkomplex der Fotosynthese



Führen Sie das Modellexperiment durch und übertragen Sie es auf den Realzustand.

10 Der Lichtsammelkomplex der Fotosynthese

I Lernvoraussetzungen

- Oxidation, Reduktion
- Wirkung von Lichtquanten in einem Atom (Fluoreszenz, Elektronenentzug)
- Ablauf der Primärreaktionen
- Energietransfer, Elektronenübertragung (Carotinoide, Chlorophyllmoleküle als Antennenpigmente, Reaktionszentrum)

II Erwartete Leistungen

1. Elektronen, die um den Atomkern herum kreisen, werden durch Licht bestimmter Wellenlänge in einen energiereicheren Zustand überführt (1), wodurch sie in eine kernferne Position gehoben werden (2). Falls sie aufgrund eines fehlenden externen Elektronenakzeptors in ihre Grundposition zurückfallen, wird die dabei freigesetzte Energie als Fluoreszenzlicht sichtbar (3). Ein Elektronenentzug bedeutet für den abgebenden Stoff, dass dieser oxidiert wird. Er wirkt als Reduktionsmittel, da er in Lage ist, an einen Reaktionspartner mit einer Elektronenlücke ein Elektron zu übergeben. Damit liegt dieser in reduzierter Form vor und ist zu einem Oxidationsmittel geworden, da er seinen Reaktionspartner oxidieren konnte.

2. (1) Licht/Lichtenergie/Lichtquanten/Photonen, (2) absorbierte/aufgenommene, (3) Fluoreszenz(licht), (4) Wärme, (5) siehe (1)/sichtbares Licht, (6) Fluoreszenz, (7) Elektronen, (8) Chlorophyllmolekülen, (9) springen/gehen über/ werden übertragen, (10) Elektronentransportkette/Kette von Elektronen-Carriern

In den Thylakoidmembranen der Chloroplasten werden die Reaktionszentren der Fotosysteme II und I direkt durch Licht getroffen und dabei oxidiert. Die am Chlorophyll a entstehende Elektronenlücke wird kontinuierlich immer wieder durch Elektronen aus Wassermolekülen aufgefüllt. Aus den Wassermolekülen werden dabei Sauerstoff und Protonen freigesetzt (Fotolyse). Während die Elektronen aus dem Wasser die Elektronenlücke im FS II füllen, ersetzen die dem FS II entzogenen Elektronen nach ihrem Transport über eine Reihe von Redoxsystemen (Elektronentransportkette) die dem FS I entzogenen Elektronen. Als Elektronenakzeptor dient dort, dem Ferredoxin nachgeschaltet, das NADP⁺, welches nun in reduzierter Form als NADPH + H⁺ vorliegt. Der Elektronentransport zwischen dem FS II und dem FS I liefert zudem indirekt (zusammen mit der ATP-Synthase) die Energie für die Synthese von ATP. Somit sind NADPH + H⁺ sowie ATP die Endprodukte der Primärreaktionen.

3. Ein Lichtsammelkomplex besteht aus dem Reaktionszentrum mit einem zentralen Chlorophyll-a-Molekül, das von den vorgeschalteten Antennenpigmenten (Chlorophyll-a- und Chlorophyll-b-Moleküle, Carotinoide) Elektronen übertragen bekommt und diese dann an einen externen Elektronenakzeptor abgibt. Dabei erfolgt an den Antennenmolekülen selbst kein Elektronenentzug. Hier werden nur Elektronen lichtinduziert in einen angeregten Zustand versetzt und die dabei freiwerdende Energie auf das Nachbarmolekül übertragen, wo dieser Vorgang erneut einsetzt. Die durch die Rückkehr in den Grundzustand freiwerdende Energie wird als Fluoreszenzlicht sichtbar.

4. Aufbau des Modellversuchs siehe Durchführung.

Der Wasserhahn wird unterschiedlich stark aufgedreht, sodass jeweils mehr oder weniger viel Wasser auf die Flügel des Rotors trifft.

Das auf die Rotorblätter auftreffende Wasser steht für die fotosyntheserelevanten Lichtwellenlängen, die auf den gesamten Lichtsammelkomplex fallen. Die Rotorblätter, die sich gegenseitig „speisen“ und somit in Bewegung versetzen, entsprechen den Antennenpigmenten, die ihre Energie sukzessive weiterleiten und wo schließlich der Elektronenentzug am zentralen Chlorophyll-a-Molekül erfolgt. Diese Wirkung wird durch das Aufleuchten der Glühlampe gezeigt. Ein schwaches Aufleuchten, das zustande kommt, wenn nur eine geringe Drehbewegung erzeugt wird, wäre dann der nicht erfolgte Elektronenentzug am zentralen Chlorophyll-a-Molekül, sondern der Elektronenrückfall in die kernnahe Position. Das maximale Aufleuchten ist ein Indiz für den Elektronenentzug.

Anleitung zum Modellexperiment

III Einsatzmöglichkeiten

Die Aufgaben 1–3 sind wiederholend-festigend angelegt und führen zum Modellexperiment hin. Dafür werden den Schülern und Schülerinnen die Geräte zur Verfügung gestellt. Der eigenständige Umgang mit den Versuchsmaterialien und die Analogisierung stellen eine wesentliche Steigerung im Anforderungsniveau dar bis hin in den Transferbereich.

10 Der Lichtsammelkomplex der Fotosynthese

IV Thema des Modellexperiments

Fotosynthesepigmente als Lichtsammelfalle, Energietransfer und Elektronenübertragung

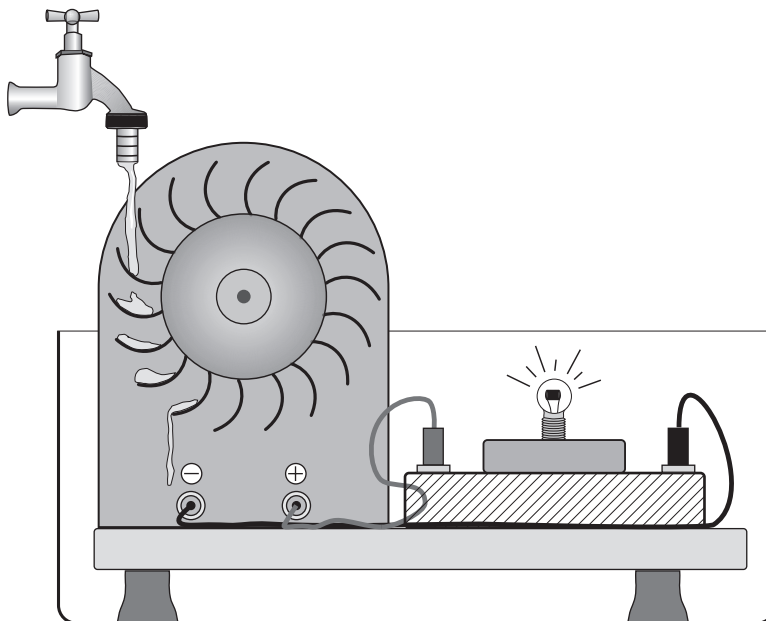
V Vorbereitungszeit

Wenn die Versuchsmaterialien bereitstehen, verlangt das Positionieren des Generators und der Glühlampe im Waschbecken sowie das Anbringen der Kabel nur ca. 5 Minuten.

VI Material und Geräte

- Stromgenerator, an den auf der Vorderseite ein Rotor (alternativ ein Schaufelrad wie bei einer Wassermühle) drehbar fixiert ist
- Glühlampe mit Halterung auf einem Holzsockel
- zwei Zuleitungen mit Stecker
- Waschbecken mit einem Wasserhahn und Abfluss
- Styroporblock von ca. 10 cm Höhe, der den Boden des Waschbeckens fast vollständig auskleidet
- 4 große Gummistopfen

VII Durchführung



Der Styroporblock wird auf die Gummistopfen gestellt, damit das Wasser im Waschbecken ablaufen kann. Er dient als Sockel für den Generator und die Glühlampe. Dabei steht der Generator so, dass Wasser auf die Rotorflügel trifft. Anschließend verbindet man Generator und Glühlampe mit den Kabeln entsprechend der Abbildung.

VIII Beobachtung

Sobald ein Wasserstrahl auf das obere Rotorblatt trifft, übergibt dieses das Wasser an den folgenden Flügel. Dabei beginnt der Rotor sich zu drehen, und zwar je nach Menge des eingetragenen Wassers unterschiedlich schnell. Dementsprechend gestaltet sich auch die Leuchtkraft der Glühlampe: Je höher die Drehzahl, desto stärker die Leuchtkraft.

IX Auswertung

Die Menge an elektrischer Energie, die durch den Generator mittels Rotation der Rotorblätter aufgebaut wird, muss zunächst einen gewissen Schwellenwert überschreiten, bis die Glühlampe überhaupt eine Reaktion zeigt. Je mehr

10 Der Lichtsammelkomplex der Fotosynthese

elektrische Energie übertragen wird, desto stärker leuchtet die Glühlampe, bis sie schließlich ihre maximale Leuchtkraft erreicht hat. Das Aufleuchten der Lampe ist also indirekt abhängig von der Menge an auftreffendem Wasser und direkt abhängig von der vom Generator erzeugten Strommenge.

X Analogisierung

Versuchselemente	Realität
<ul style="list-style-type: none"> • Wasser • Wassermenge • hoher Wassereintrag • geringer Wassereintrag • Rotorblätter • Rotation • Generator • Glühlampe • Aufleuchten der Glühlampe • schwaches Aufleuchten • maximale Leuchtkraft 	<ul style="list-style-type: none"> • Lichtenergie/-quanten/Photonen • fotosyntheserelevante und unwirksame Lichtwellenlängen • fotosynthesewirksame Lichtwellenlängen überwiegen • unwirksame Lichtwellenlängen haben einen größeren Anteil erhalten • Antennenpigmente • Elektronenanregung • Energietransfer • Reaktionszentrum • Elektronenbewegung im Reaktionszentrum erfolgt • kein Elektronentzug im Reaktionszentrum erfolgt, Rückkehr der angeregten Elektronen in den Grundzustand • Elektronentzug im Reaktionszentrum erfolgt

XI Kritik

Veranschaulichung durch den Modellversuch	Grenzen des Modellversuchs
<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau der Lichtsammelfalle aus verschiedenen Komponenten • Zubringerfunktion von Antennenpigmenten • Abgrenzung Energietransfer – Elektronenübertragung 	<ul style="list-style-type: none"> • keine mechanische Energie, die in elektrische umgesetzt wird • keine Moleküle/Molekülkomplexe vorhanden • jegliche Elektronenbewegung fehlt • kein Wasser als primäre Energiequelle • Leuchten könnte als Fluoreszenzlicht missverstanden werden • echtes Fluoreszenzlicht nicht eingearbeitet • Fehlen jeglicher Zellstrukturen, wie Thylakoide etc. • Elektronenakzeptor hinter dem Reaktionszentrum fehlt • Elektronentzug auf dem letzten, dem Reaktionszentrum vorgeschaltetem Zubringermolekül fehlt • Elektronenlücken (Akzeptorfunktion) und -überschuss (Donatorfunktion) nicht berücksichtigt