

# Unterrichtsgang: Teilreaktionen der Fotosynthese

## Vorbemerkungen

In der vorgeschlagenen Doppelstunde werden die SuS zunächst in Einzelarbeit mit der Erarbeitung eines detailreichen und komplexen Vorgangs anhand eines Fachtextes konfrontiert. Bei der Bearbeitung von Thema 1 (Fotoreaktion) erfolgt die Übertragung der Prozesse auf die räumlichen Gegebenheiten des Chloroplasten mit Hilfe von Teilabbildungen (Figurinen). So erschließt sich für die SuS die Notwendigkeit der Kompartimentierung zur ATP-Synthese. Gleichzeitig wird das Erstellen einer schematischen biologischen Abbildung zu Abläufen an der Zellmembran eingeübt. Bei der Bearbeitung von Thema 2 (Synthesereaktion) wird der möglichst einfach gehaltene Fachtext in ein Schema dieses zyklischen Prozesses überführt. Gestufte Hilfen sollen von den SuS benutzt werden.

Bei den Texten zur Erarbeitung der Foto- bzw. Synthesereaktion wurde bewusst auf den Verweis auf wichtige historische Experimente zur Erforschung der Fotosynthese verzichtet. Die SuS sollen so zunächst fokussiert auf den Inhalt möglichst den Ablauf als solches verstehen. Eine Auseinandersetzung mit den historischen Experimenten erfolgt je nach individueller Geschwindigkeit des Lernenden als vertiefendes Element und ermöglicht über die bereitgestellten Materialien mit Lösungsvorschlägen zu den enthaltenen Aufgaben eine intensive Aufarbeitung. Auch chemische Hintergründe werden bereit gehalten. Sie basieren auf inhaltsbezogene Kompetenzen Chemie 8-10 gemäß Bildungsplan 2016. So wird durch den Bezug zu Chemie die prozessbezogene Kompetenz „Bewerten“ gefördert (PBK 2.3.2).

## Sachanalyse und didaktische Reduktion

Durch Lichtabsorption im Fotosystem II (P680) werden Elektronen der Chlorophyllmoleküle angeregt, d.h. auf ein höheres Energieniveau gebracht. Über membrangebundene Proteine werden sie zum Fotosystem I (P700) transportiert (Elektronentransportkette), wo sie die ebenfalls durch Lichtabsorption entstandene Elektronenlücke schließen. Die am Fotosystem II zurückbleibende Elektronenlücke wird durch Elektronen aus der Spaltung von Wassermolekülen durch einen angelagerten Enzymkomplex (Wasserspaltungskomplex) geschlossen (Fotolyse des Wassers). Dabei werden Sauerstoffmoleküle und Protonen gebildet. Letztere reichern sich im Thylakoidinnenraum (Lumen) an, wodurch dort der pH-Wert sinkt. Es entsteht ein Protonen-Konzentrationsgradient zwischen Lumen und Stroma. Dieser wird durch das Einschleusen weiterer Protonen über ein Membranprotein der Elektronentransportkette (nicht-zyklischer Elektronentransport über Plastochinon) und unter bestimmten Umständen auch in der zweiten Elektronentransportkette zur NADP<sup>+</sup>-Reduktase (zyklischer Elektronentransport) noch verstärkt. Dieses Enzym wiederum katalysiert die Übertragung der angeregten Elektronen aus dem Fotosystem I auf Nicotinamidadenindinukleotidphosphat in seiner oxidierten Form (NADP<sup>+</sup>). Diese Reduktion findet an der dem Stroma zugewandten Seite der Thylakoidmembran statt. Ein Proton aus dem Stroma wird dabei an NADP<sup>+</sup> gebunden, ein zweites ist daran assoziiert. Auch dieses Senken der Protonenkonzentration im Stroma trägt zum Aufbau des Konzentrationsgradienten der Protonen bei. Das Ausströmen von Protonen entlang dieses Gradienten durch ein Kanalprotein wird durch das daran assoziierte Enzym ATP-Synthase zur Bildung von ATP genutzt (chemiosmotischer Mechanismus der ATP-Synthese).

Der Einfluss des zyklischen und nicht-zyklischen Elektronentransports auf die Höhe des Protonen-Konzentrationsgradienten und somit auf den Umfang der ATP-Synthese ist stöchiometrisch nicht genau quantifizierbar. Im Sinne einer didaktischen Reduktion wird auf die Beschreibung und Darstellung dieser Formen des Protonentransports über die Thylakoidmembran verzichtet. Die Angabe von „e<sup>-</sup>“ in den Teilabbildungen ist als „Elektronen“ zu lesen und meint nicht exakt ein Elektron. Die Anzahl gebildeter ATP-Moleküle ist mit „mindestens“ drei je zwei gespalteter Wassermoleküle vorgegeben. Gleichzeitig werden zwei Moleküle Nicotinamidadenindinukleotidphosphat in der reduzierten Form (NADPH+H<sup>+</sup>) gebildet und ein Sauerstoffmolekül abgegeben. Durch diese Angaben lässt sich für den Teilprozess der Fotoreaktion („Lichtreaktion“, lichtabhängige Reaktion oder auch Primärreaktion) eine Reaktionsgleichung/ein Reaktionsschema erstellen. Eine Quantifizierung des Reduktionsvermögens

am Wasserspaltungskomplex und verbreitete Darstellung der Elektronentransportketten nach diesem Redoxpotential („Z-Schema“), ist ohne vertiefte Kenntnis der Elektrochemie für SuS zu Beginn der Kursstufe nicht nachvollziehbar und für das Verständnis des biochemischen Vorgangs nicht notwendig.

Die Synthesereaktion („Dunkelreaktion“, lichtunabhängige Reaktion oder Sekundärreaktion) umfasst im Wesentlichen den CALVIN-Zyklus. Auch hier ist der Vorgang auf dem Schülerarbeitsblatt so beschrieben, dass die SuS zwar mit einem anspruchsvollen Fachtext arbeiten müssen, diesen jedoch mit ihrem Wissen über Redoxreaktionen nachvollziehen können sollten. Dazu sind mit Phosphoglycerinsäure (PGS) und Phosphoglycerinaldehyd (PGA) nur die Moleküle benannt, die für das Nachvollziehen der Reduktion notwendig sind. (An welcher Stelle im Molekül jeweils die Phosphogruppe liegt und die Säure in wässriger Lösung eher als Säurerestion vorliegt („3-Phosphoglycerat“), wird im Material nicht berücksichtigt.) Zudem wird dieser Vorgang in Material 6 (in der Datei *20406\_mat\_historische\_experimente* enthalten) als chemischer Hintergrund an den Strukturformeln mit Oxidationszahlen erläutert. Sollten die SuS das Konzept der Oxidationszahlen nicht kennen, wird durch das Umwälzen weiterer Definitionsmöglichkeiten des Redox-Begriffs sichergestellt, dass der Vorgang eine Reduktion darstellt. Dass dies einer energetischen Aufwertung gleichkommt und so verständlich wird, wie aus dem energiearmen Kohlenstoffdioxid eine energiereiche Verbindung wie Glucose aufgebaut werden kann, kann den SuS dadurch in der Besprechung nochmals klar gemacht werden, dass eine Verbrennung immer eine Oxidation, also die Umkehrung der Reduktion ist.

Zur Erleichterung von Bearbeitung und Verständnis ist die zyklische Reaktionsabfolge in Phasen untergliedert (CO<sub>2</sub>-Fixierung/Carboxylierung, Reduktion und Regeneration) und liegen gestufte Hilfen zur schematischen Darstellung des CALVIN-Zyklus vor.

## **Didaktisch-methodische Schwerpunkte**

### **Kommunikation**

Die SuS setzen sich mit biologischen Fachtexten auseinander und vertiefen ihre Kompetenz, diese komplexen biologischen Sachverhalte darzustellen (PBK 2.2.7). Durch den anschließenden Austausch der Lernpartner über ihr jeweiliges Expertenthema zu den erarbeiteten Inhalten der Fotoreaktion und Synthesereaktion wird diese Kommunikationskompetenz weiter vertieft.

### **Erkenntnisgewinnung**

Die Bearbeiter des Themas „Fotoreaktion“ sind aufgefordert, den Vorgang mit vorgegebenen Teilabbildungen bildlich darzustellen. Somit entwickeln sie für den chemiosmotischen Mechanismus der ATP-Synthese ein Modell, das sie und später ihren Lernpartner erheblich beim Verständnis unterstützt (PBK 2.1.12).

### **Sozialformen**

Die gewählte methodische Vorgehensweise ergibt durch das Zusammenführen der erarbeiteten Inhalte ein Ergebnis, das als Lernziel wichtige Standards zum Thema Stoffwechselprozesse abdeckt (IBK 3.5.1.3 (1) und (2), jeweils für die Fotosynthese). Die Reaktionsgleichungen der Teilprozesse werden bilanziert, so dass sich die Reaktionsgleichung der Fotosynthese ergibt. Die Notwendigkeit der Kompartimentierung der Chloroplasten wird anhand des entwickelten Modells (s.o.) nachvollziehbar.

### **Vertiefung**

Die historischen Experimente erlauben eine vertiefte Behandlung des Themas und dienen gleichzeitig der zeitlichen Differenzierung für schnell arbeitende SuS. Ihre ausführliche Besprechung kann von der Lehrkraft je nach gewünschter Durchdringungstiefe und angesetzten Zeitumfang angeschlossen werden.

## Materialien

Material	Anmerkungen
Materialordner: 204_teilreaktionen_FS	
20400_dok_unterrichtsgang_teilreaktionen_FS	Informationen für Lehrkräfte zur Doppelstunde Teilreaktionen der Fotosynthese
20401_ab_fotoreaktion	Schülerarbeitsblatt zur Erarbeitung der Fotoreaktion (Gruppe 1); Dateien 20402, 20408 und 20409 notwendig
20402_mat_teilabbildungen_fotoreaktion	Teilabbildungen als Legekärtchen, um die Vorgänge der Fotoreaktion schematisch darstellen zu können
20403_ab_fotoreaktion_lsg	Lösungsvorschläge zu den Aufgaben des Schülerarbeitsblatts
20404_mat_teilabbildungen_fotoreaktion_lsg	Lösungsvorschlag für Schema zur Fotoreaktion (Gesamtbild bereits in Datei 20403 enthalten)
20405_ab_synthesereaktion	Schülerarbeitsblatt zur Erarbeitung der Synthesereaktion (Gruppe 2); Dateien 20406 bei Bedarf, 20408 und 20409 notwendig
20406_ab_synthesereaktion_hilfen	Hilfen zur Bearbeitung des Schülerarbeitsblatts 20405
20407_ab_synthesereaktion_lsg	Lösungsvorschläge zu den Aufgaben des Schülerarbeitsblatts
20408_mat_info_1+2	Hintergrundinformationen zu den beiden wichtigen Überträgermolekülen NADPH und ATP
20409_mat_historische_experimente	Materialien 1-5 behandeln zur Vertiefung historische Experimente zur Erforschung der Fotosynthese, Material 6 gibt chemische Hintergründe zum Verständnis der Reduktion im Calvin-Zyklus
20410_mat_historische_experimente_lsg	Lösungsvorschläge zu den Aufgaben der vertiefenden Materialien 1-6

## Unterrichtsverlauf

Phase	Inhalte	Sozialform, Medien
Doppelstunde		
Einstieg 10'	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorzeigen der zuletzt extrahierten Chlorophylllösung; Mündliche Wiederholung des damit demonstrierten Phänomens der Rotfluoreszenz durch die SuS (ggf. Demonstrationsexperiment jetzt durchführen – vgl. Vertiefung der letzten Stunde (20300_dok_unterrichtsgang_wirkungsspektrum).</li> <li>„Wozu dient das Chlorophyll in der lebenden Pflanze?“ <i>Erwartete Antwort:</i> <i>Um Lichtenergie absorbieren und als chemische Energie (als Zucker/Stärke) speichern zu können.</i></li> <li>„Wie das im Detail gelingt, sollen Sie heute erarbeiten. Dazu wird die Lerngruppe gemäß den beiden Teilprozessen der Fotosynthese in zwei Gruppen arbeiten: Gruppe 1 beschäftigt sich mit der sogenannten Fotoreaktion und Gruppe 2 mit der Synthesereaktion. Bearbeiten Sie die Aufgaben 1-4 auf dem jeweiligen AB in maximal 40 Minuten. Sobald dies erledigt ist, schließen sich zwei Personen aus den beiden Gruppen für die Aufgaben 5-7 zur Partnerarbeit zusammen (20 Minuten). Dabei werden die beiden Teilprozesse auch inhaltlich miteinander verknüpft!“</li> </ul>	UG  (EXP)
Erarbeitung 60' (bis 70')	<ul style="list-style-type: none"> <li>SuS bearbeiten selbständig Aufgaben Ihres AB, nutzen bei Bedarf Info 1+2 und gestufte Hilfen (für Gruppe 2, Synthesereaktion).</li> <li>SuS gleichen selbständig Lösungen zu den Aufgaben der EA und der bearbeiteten Materialien mit eigenen Ergebnissen ab und erhalten bei Bedarf Unterstützung und/oder Feedback durch die Lehrkraft.</li> <li>SuS führen die beiden Teilprozesse der Fotosynthese gemäß Aufgabe 6 des AB zusammen. Ggf. Hinweis auf pragmatische Vorgehensweise und Sicherung des Gesamtergebnisses.</li> <li>SuS gleichen nach gemeinsamer Bearbeitung von Aufgabe 7 die Lösungsvorschläge mit Ihren Ergebnissen ab. Bei Bedarf Unterstützung und/oder Feedback durch die Lehrkraft.</li> </ul> <p><i>Je nach Verlauf der EA und PA kann mehr Zeit für ein selbständiges Arbeiten der SuS gegeben oder die Inhalte im Plenum nachbesprochen werden.</i></p>	EA; AB, MAT;  ggf. LSG  PA; AB, MAT; Kamera (bzw. Smartphones)
Sicherung/ Vertiefung (10' bis) 20'	<p>In jedem Fall sollte abschließend verdeutlicht werden,...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>wie die beiden Teilprozesse stofflich miteinander verknüpft sind (<i>ATP und NADPH<sub>2</sub> als Überträger von Energie und Elektronen</i>),</li> <li>dass die Struktur der Chloroplasten für den geregelten Ablauf der Fotosynthese essenziell ist (<i>Prinzip der Kompartimentierung zur chemiosmotischen ATP-Synthese</i>).</li> </ul> <p>Abschließend stellen einzelne SuS die historischen Experimente zur Erforschung der Fotosynthese kurz vor und berichten dabei, welchen Anteil sie zum Erkenntnisgewinn beitrugen.</p>	UG; AB, MAT

## **Lernvoraussetzungen für den Unterrichtsgang**

Zellbiologie

Enzymatik

### **Verwendete Abkürzungen**

AB: Arbeitsblatt

LV: Lehervortrag

EA: Einzelarbeit

P: Präsentation

EXP: Experiment/Praktikum

PA: Partnerarbeit

GA: Gruppenarbeit

SuS: Schülerinnen und Schüler

TA: Tafel(anschrieb)

LZ: Lernzirkel/Stationenarbeit

UG: Unterrichtsgespräch

MAT: Materialien/Infos für SuS