

8

Fotosynthese — Solarenergie für das Leben

8.1 Die Fotosynthese ist die Umkehrung von Verbrennung und Zellatmung

Mithilfe der Sonnenenergie erzeugen Pflanzen Glucose aus CO_2 und H_2O und dabei wird O_2 frei. Der Sauerstoff stammt hierbei aus dem Wassermolekül.

In der lichtabhängigen Reaktion der **Fotosynthese** wird Wasser durch Lichtenergie gespalten (**Fotolyse**). In der lichtunabhängigen Reaktion wird der an NADP^+ gebundene Wasserstoff benutzt, um das energiearme CO_2 in energiereiche Glucose umzuwandeln.

Die Gesamtgleichung der Fotosynthese sieht wie folgt aus: $6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$.

Die lichtabhängige Reaktion der Fotosynthese findet in der Thylakoidmembran der **Chloroplasten** statt, die lichtunabhängige, der **Calvinzyklus**, im Stroma.

8.2 Die Fotosynthesepigmente fangen blaues und rotes Licht ein

Voraussetzung für die Fotosynthese sind Farbstoffmoleküle zum Auffangen der Lichtenergie und zudem molekulare Vorrichtungen zur Energieumwandlung.

Pflanzen, Algen und bestimmte Bakterien können Fotosynthese betreiben. Die Farbstoffmoleküle unterscheiden sich zwischen den Arten, das Grundprinzip der Energienutzung ist jedoch das gleiche.

Pflanzen nutzen kurzwelliges (blaues) und langwelliges (rotes) Licht des **Lichtspektrums**. Hierfür sind die verschiedenen **Fotosynthesepigmente** zuständig. Sie fangen Licht bestimmter Wellenlänge ein, und die Elektronen des Farbmoleküls werden auf ein höheres Energieniveau angehoben (**Absorption**).

Carotinoide absorbieren blaues und reflektieren gelboranges Licht. Die Chlorophylle *a* und *b* absorbieren rotes und blaues Licht und reflektieren das grüne. Diese Absorptionsoptima sind in einem **Absorptionsspektrum** zu erkennen.

Die Abhängigkeit der Fotosyntheserate von der Wellenlänge des auftreffenden Lichts kann man messen (z. B. durch Ermittlung der O_2 -Produktionsrate) und erhält ein **Wirkungsspektrum**.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 51 „Fotosynthesepigmente sammeln Licht“

8.3 Die Fotosynthesepigmente sind an Membranproteine gebunden

Chlorophyll-Moleküle befinden sich in den Thylakoidmembranen der Chloroplasten. Chlorophyll besteht aus einem Porphyrinring (viele Doppelbindungen; verursacht grüne Farbe) mit einem zentralen Magnesium-Ion sowie einer Phytolkette (hydrophob; verankert das Molekül in der Membran). Chlorophyll *a* und *b* unterscheiden sich lediglich in einer Seitenkette des Porphyrinrings.

Die Chlorophylle sind an die **Fotosysteme** (FS) I bzw. II gebunden. Jedes Fotosystem trägt Chlorophyll *a* (P_{700} bzw. P_{680}) in seinem Zentrum. Alle weiteren Fotosynthesepigmente absorbieren die Lichtenergie und geben sie von Pigment zu Pigment bis hin zum P_{700} bzw. P_{680} weiter (Lichtsammelfalle).

8.4 Der lichtabhängige Elektronentransport ermöglicht die Synthese von ATP

Bestrahlt man Pflanzen gleichzeitig mit Licht der Wellenlängen 700 nm und 680 nm, so ist die Fotosyntheserate höher, als wenn man sie mit den Wellenlängen einzeln bestrahlte. Dieser Emerson-Effekt zeigt, dass FS I und FS II zusammenarbeiten.

Wird P_{680} des FS II angeregt (P_{680}^*), so kann es sehr leicht Elektronen auf andere Moleküle mit positiverem **Redoxpotenzial** übertragen. Je negativer das Redoxpotenzial ist, desto höher ist die Bereitschaft Elektronen abzugeben, also das Elektronenübertragungspotenzial. Vom P_{680}^* wird ein Elektron energetisch bergab weitergegeben bis zum P_{700} . Dieses wird durch Lichtenergie angeregt und erhält so ein höheres Elektronenübertragungspotenzial. Von hieraus fließen die Elektronen bergab bis zum NADP^+ .

Wasser besitzt ein negativeres Redoxpotenzial als P_{680} und kann somit die Elektronenlücke auffüllen. Somit gelangen Elektronen von Wasser über die **Elektronentransportkette** zum viel besseren Reduktionsmittel NADPH . So wie in den Mitochondrien werden auch die ATP-Synthasen der Chloroplasten durch ein Protonen-Konzentrationsgefälle angetrieben. Im Thylakoidinnenraum ist die H^+ -Konzentration höher (pH 5) als im Stroma (pH 8). Dieser Gradient wird durch überschüssige Energie aus der Elektronentransportkette möglich: Bei der Elektronenübertragung von einem Molekül mit hohem Elektronenübertragungspotenzial zu einem mit niedrigerem Potenzial

8

Fotosynthese — Solarenergie für das Leben

wird Energie frei. Einerseits wird die Protonenkonzentration im Stroma durch die Synthese von NADPH vermindert und andererseits durch den Protonenimport über Plastochinon.

Die Protonen fließen entlang dem Gradienten durch die ATP-Synthase zurück und erzeugen durch **Chemiosmose** das energiereiche ATP.

Sollte ein ATP-Mangel bestehen, kann die Pflanze auf zyklischen Elektronentransport umschalten: FS II → Ferredoxin → Plastochinon → FS I. Hierbei wird weder Wasser gespalten noch NADPH gebildet.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 52 „Der lichtabhängige Teil der Fotosynthese erzeugt energiereiche Elektronen“

8.5

In den lichtunabhängigen Reaktionen wird aus sechs CO₂-Molekülen ein Zuckermolekül aufgebaut

Die lichtunabhängigen Reaktionen werden als **Calvinzyklus** bezeichnet. Der CO₂-Akzeptor des Zyklus wurde mittels radioaktiver Markierung, Papierchromatografie und Autoradiografie identifiziert.

Im Calvinzyklus wird CO₂ auf Ribulose-1,5-bisphosphat (C₅) übertragen (CO₂-Fixierung). Dieses Molekül reagiert mit Wasser zu zwei 3-Phosphoglycerat (C₃, PGS). Der Katalysator dieser Reaktion ist das Enzym Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase-oxygenase (**Rubisco**).

PGS wird zu 3-Phosphoglycerinaldehyd (C₃, PGA) reduziert, wobei NADPH und ATP benötigt werden. Ein Teil der PGA-Moleküle wird zu **Glucose** kondensiert, der andere Teil wird zur Regeneration von Ribulose-1,5-bisphosphat verwendet.

In 6 Durchläufen wird aus 6 CO₂-Molekülen 1 Glucose, wobei 12 NADPH und 18 ATP verbraucht werden.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 53 „Aus Kohlenstoffdioxid entsteht Glucose“

8.6

Manche Bakterien können ganz ohne Licht oder organische Nährstoffe leben

Die Lithophagen (= Steinfresser, Bakterien) leben im Gestein in absoluter Dunkelheit, 1200 m tief im Wasser. Lediglich Wasserstoff dient ihnen als Energiequelle. H₂ entsteht durch die Reaktion von O₂-armem Wasser mit eisenhaltigem Gestein. Aus CO₂ (einzige Kohlenstoffquelle) und H₂ produzieren die Bakterien Methan (CH₄) und einige andere organische Verbindungen. Nicht Licht, sondern chemische Energie wird hier genutzt: Die Bakterien sind **chemoautotroph** und fixieren CO₂ durch **Chemosynthese**. Heterotrophe, Methan verwertende Mikroorganismen bilden eine Lebensgemeinschaft mit den Lithophagen.

In der dunklen Tiefsee (2500 – 3000 m unter der Meeresoberfläche) wurden ebenfalls chemoautotrophe Mikroorganismen entdeckt. Diese Bakterien oxidieren Schwefelwasserstoff aus den heißen Quellen. So ernähren sie ihre Symbiosepartner, die Bartwürmer, deren Abfälle wiederum anderen Organismen als Nahrung dienen. Schwefel oxidierende Bakterien oxidieren in Gewässern und Kläranlagen Schwefelwasserstoff zu Schwefelsäure. Nitrifizierer oxidieren Ammoniak aus zersetztem organischem Material zu Nitrit und weiter zu Nitrat. Nitrat kann wieder von Pflanzen aufgenommen werden.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 54 „Frei werdende Energie kann Lichtenergie ersetzen“