

Botanik I Photosynthese in höheren Pflanzen

Lichtabhängige Reaktion

Ort: Thylakoidenmembran der Chloroplasten

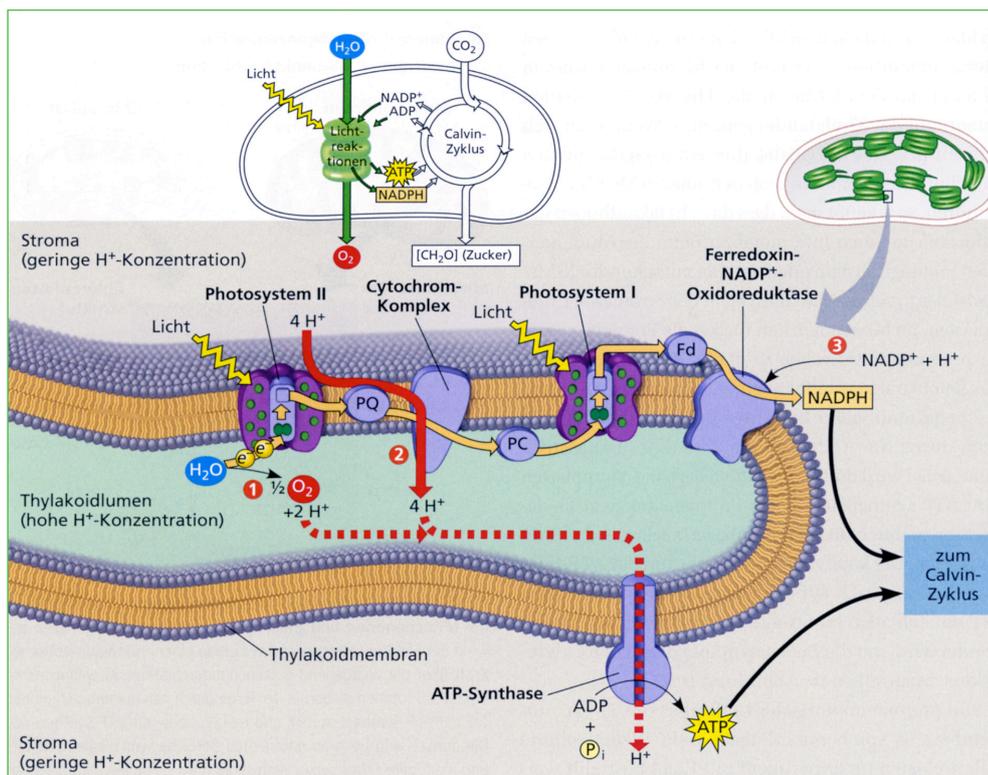
Die lichtsammelnden Pigmente

Anteile des einfallenden Lichts werden von Chloroplastenpigmenten absorbiert. Die wichtigsten Pigmente sind Chlorophyll a, Chlorophyll b und Carotinoide. Die Chlorophylle haben zwei Absorptionsmaxima im blauen und im roten Bereich des Lichtspektrums und Carotinoide absorbieren Licht im violetten-blaugrünen Teil des Spektrums.

Photosysteme

Die Pigmente der Photosynthese sind, an Proteine gebunden, in Photosystemen organisiert. Diese bestehen aus dem Reaktionszentrum und Lichtsammelkomplexen. Das Reaktionszentrum besteht aus zwei Chlorophyll a - Molekülen und einem Molekül, das als primärer Elektronenakzeptor dient. Es gibt zwei Arten von Photosystemen, Photosystem I und II, die jeweils einen charakteristischen Elektronenakzeptor im Reaktionszentrum haben. Dies bewirkt leicht unterschiedliche Absorptionsmaxima, für Photosystem II bei 680nm Wellenlänge und Photosystem I bei 700nm. Die Energie eines einfallenden Photons wird von den Lichtsammelkomplexen an das Reaktionszentrum weitergeleitet. Dort bewirkt die Energie des absorbierten Lichtes eine Übertragung von 2 Elektronen auf einen primären Elektronenakzeptor.

Linearer Elektronentransport



In dieser Elektronentransportkette freierwerdende Energie wird beim Durchgang der Elektronen durch den Cytochrom b_6/f -Komplex zum Pumpen von H⁺-Ionen durch die Membran ins Thylakoidlumen benutzt. Dieses weist eine höhere H⁺-Konzentration als das Stroma auf, sodass die gepumpten Protonen durch die ATP-Synthase zurückströmen und dadurch die Bildung von ATP antreiben. Die im Photosystem I ebenfalls erfolgte Anregung durch Photonen führt zur Übertragung zweier Elektronen über Ferredoxin und die Ferredoxin-NADP-Reduktase an NADP⁺. Dieses wird zu NADPH + H⁺ reduziert (3). Die entstehende Elektronenlücke im Photosystem I wird mit den übertragenen Elektronen aus Photosystem II gefüllt. Die fehlenden Elektronen im Photosystem II werden mit bei der Wasserspaltung entstehenden Elektronen aufgefüllt (1): $H_2O \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^-$

Botanik I Photosynthese in höheren Pflanzen

Seite 2

Zyklischer Elektronentransport

Am zyklischen Elektronentransport ist nur das Photosystem I beteiligt. Es werden Elektronen vom Ferredoxin auf den Cytochrom b_6/f -Komplex übertragen, und von dort gelangen sie zurück zum Photosystem I. Das führt zum Pumpen von H^+ -Ionen und der zusätzlichen Produktion von ATP wenn die Protonen zurückströmen, ohne das $NADPH + H^+$ gebildet wird. In der sich anschließenden lichtunabhängigen Reaktion werden $NADPH + H^+$ und ATP ungleichmäßig verbraucht werden. Der zyklische Elektronentransport dient dazu, das resultierende Ungleichgewicht auszugleichen.

Lichtunabhängige Reaktion

Ort: Stroma des Chloroplasten

Der Calvin-Zyklus

Die in der lichtabhängigen Reaktion entstandenen Produkte ATP und $NADPH + H^+$ liefern die benötigte Energie für den Aufbau von Kohlenhydraten im Calvin-Zyklus. In diesem Zyklus entsteht keine Glucose sondern Glycerinaldehyd-3-phosphat (G3P). Zwei dieser C_3 -Körper dienen als Ausgangsstoff für die Synthese eines C_6 -Körpers wie Glucose.

Phase 1 – Kohlenstofffixierung Je ein CO_2 -Molekül wird an ein Molekül des C_5 -Zuckers Ribulose-1,5-bisphosphat angelagert. Das vermittelnde Enzym heißt Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase bzw. RubisCO. Das entstehende C_6 -Produkt zerfällt sofort zu zwei Molekülen 3-Phosphoglycerat. Das erste fassbare Produkt des Calvin-Zyklus ist also eine C_3 -Verbindung.

Phase 2 – Reduktion des 3-Phosphoglycerat Unter Verbrauch von ATP und $NADPH + H^+$ wird das 3-Phosphoglycerat zu 1,3-Bisphosphoglycerat und anschließend zu Glycerinaldehyd-3-phosphat (G3P) umgesetzt. Dabei wurde aber nur ein Kohlenstoffmolekül fixiert. Um drei Kohlenstoffmoleküle zu fixieren, wie sie G3P enthält, muss der Calvin-Zyklus drei Mal durchlaufen werden.

Phase 3 – Regeneration von Ribulose-1,5-bisphosphat Von sechs synthetisierten Molekülen G3P wird ein Molekül aus dem Zyklus geschleust. Die anderen fünf werden in unter Verbrauch von ATP zu drei Molekülen Ribulose-1,5-bisphosphat regeneriert.

Photorespiration

Sogenannte C_3 -Pflanzen führen den beschriebenen Zyklus ohne Variation durch. Bei sinkendem CO_2 -Partialdruck und steigendem O_2 -Partialdruck sinkt bei diesen Pflanzen die Effizienz des Enzyms RubisCO. Statt CO_2 wird O_2 als Substrat verwendet, und an Ribulose-1,5-bisphosphat addiert (Oxygenase-Aktivität). Die entstehenden Produkte werden anderweitig verstoffwechselt, sodass keine Kohlenhydrate gewonnen werden. Zur Aufnahme von CO_2 ist das Öffnen der Spaltöffnungen nötig, sodass kritische Bedingungen vor allem bei geschlossenen Spaltöffnungen in heißen, trockenen Gebieten entstehen.

C_4 - und CAM-Pflanzen

Um Photorespiration zu vermeiden, haben sich zwei verschiedene Mechanismen ausgebildet. C_4 -Pflanzen trennen Kohlenstofffixierung und Calvin-Zyklus räumlich. Sie haben zwei Arten photosynthetisch aktiver Zellen: Bündelscheidenzellen, die eine dicht gepackte Lage um die Blattadern bilden, und Mesophyllzellen. In den Mesophyllzellen addiert das Enzym Phosphoenolpyruvat-Carboxylase ein CO_2 -Molekül an Phosphoenolpyruvat, sodass über das Intermediat Oxalacetat die C_4 -Verbindung Malat entsteht. Dabei wird zusätzlich ATP verbraucht. Das Malat wird in die Bündelscheidenzellen transportiert, wo ein Molekül CO_2 abgespalten wird, und in den Calvin-Zyklus übergeht. Die Phosphoenolpyruvat-Carboxylase hat eine deutlich höhere Affinität zu CO_2 und keine Oxygenase-Aktivität, sodass Photorespiration auch bei geschlossenen Spaltöffnungen vermieden werden kann. CAM-Pflanzen öffnen ihre Spaltöffnungen nachts, nehmen CO_2 auf und bauen es in organische Carbonsäuren ein. Tagsüber tritt das über Nacht fixierte CO_2 in den Calvin-Zyklus ein, und die Spaltöffnungen können geschlossen bleiben.