

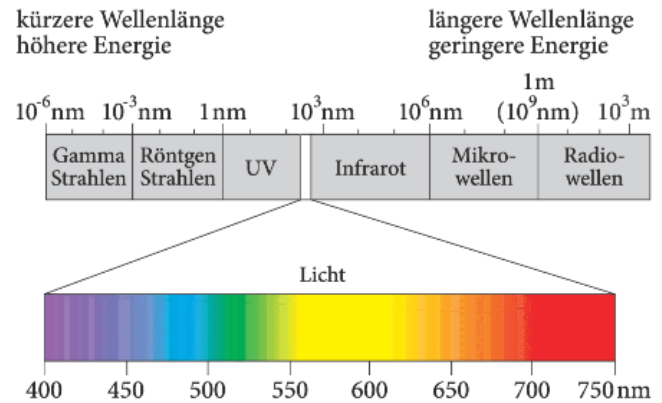
4.3 Lichtabsorption in Chloroplasten

Licht ist Energie in Form elektromagnetischer Strahlung. Als Licht bezeichnet man den Bereich des elektromagnetischen Spektrums, der mit dem Auge wahrnehmbar ist. Er umfasst die Wellenlängen von etwa 400 bis 750 Nanometer (Abb. 172.1).

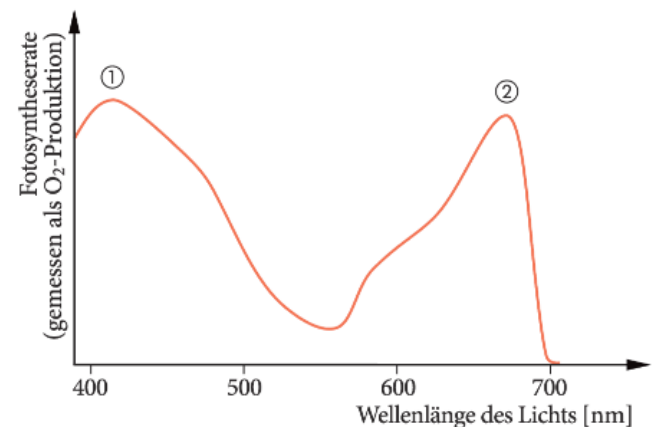
Pflanzen nutzen für die Fotosynthese nicht das gesamte Lichtspektrum mit gleicher Effizienz. Um das nachzuweisen, kann man weißes Licht, welches das gesamte Lichtspektrum umfasst, mithilfe eines Prismas in seine Anteile unterschiedlicher Wellenlänge und damit seine Spektralfarben zerlegen. Bestrahlt man im Experiment Pflanzen oder isolierte Chloroplasten mit den verschiedenen Spektralfarben des Lichts und misst dabei die Fotosyntheserate anhand deren Sauerstoffproduktion pro Zeiteinheit, und trägt beides grafisch gegeneinander auf, ergibt sich ein fotosynthetisches **Wirkungsspektrum** (Abb. 172.2). Dabei wird deutlich, dass die Fotosyntheserate bei Bestrahlung mit blauem ① und rotem ② Licht am höchsten ist. Damit Licht als Energiequelle dienen und fotosynthetisch wirksam werden kann, muss es einerseits von der Pflanze absorbiert werden. Dies gelingt ihr durch den Einsatz verschiedener Fotosynthesepigmente. Andererseits muss das absorbierte Licht in chemische Energie umgewandelt werden können.

Der Grund für die unterschiedliche Wirkung der verschiedenen Spektralfarben auf die Fotosyntheserate wird klar, wenn man die Fotosynthesepigmente aus grünen Pflanzenblättern extrahiert und anschließend isoliert. Wird die Lichtabsorption eines isolierten Pigments bei verschiedenen Wellenlängen gemessen und die Messwerte gegen die Wellenlänge aufgetragen, erhält man ein **Absorptionsspektrum** für dieses Molekül. Es zeigt, welche Anteile des weißen Lichts dieses Pigment besonders gut einfangen kann.

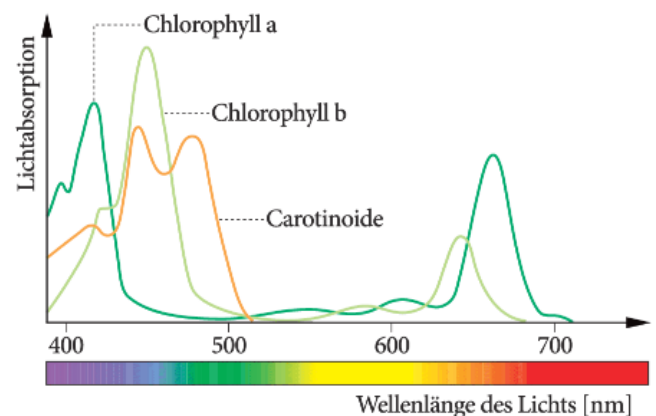
Aus derartigen Untersuchungen wurde das **Chlorophyll a** als wichtigstes Fotosynthesepigment in den Chloroplasten der grünen Pflanzen identifiziert (Abb. 173.1). Sein Absorptionsspektrum erklärt, warum ein Blatt grün erscheint: Es absorbiert blaues und rotes Licht, wohingegen grünes Licht reflektiert wird. Das reflektierte Licht entspricht der Farbe, die wir wahrnehmen. Das Absorptionsspektrum zeigt zwei Maxima, die weitgehend mit den beiden Maxima im Wirkungsspektrum übereinstimmen (Abb. 172.3). Nur im Bereich zwischen 440 und 520 Nanometer, also im blauen und blaugrünen Spektralbereich, weichen Absorptions- und Wirkungsspektrum auffällig voneinander ab.



172.1 Spektrum elektromagnetischer Strahlung



172.2 Wirkungsspektrum der Fotosynthese



172.3 Absorptionsspektrum von Blattpigmenten

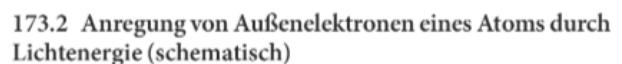
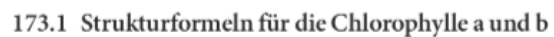
Neben dem Chlorophyll a gibt es weitere Fotosynthesepigmente die Licht in diesem Wellenlängenbereich einfangen und damit für die Fotosynthese nutzbar machen. Dabei handelt es sich um das **Chlorophyll b** und die gelborange erscheinenden Farbstoffe **Carotinoide**, wie etwa das β -Carotin.

Im Vergleich der Absorptionsspektren der verschiedenen Pigmente wird ihre Funktion deutlich: Die beiden Absorptionsmaxima von Chlorophyll b liegen etwas näher beieinander als die von Chlorophyll a. Sie absorbieren also Lichtenergie die vom Chlorophyll a

Die Lichtenergie wird von Außenelektronen des Pigmentmoleküls aufgenommen (Abb. 173.2). Durch die absorbierte Lichtenergie wird ein Elektron des Pigmentmoleküls gegen die Anziehungskräfte seines Atomkerns vom Grundzustand in einen höheren Energiezustand angehoben. Dort kann das Elektron aber nicht lange bleiben, denn das Molekül ist damit energiereicher, es befindet sich im angeregten Zustand. Dabei entspricht die aufgenommene Lichtenergie ziemlich genau der Energiedifferenz zwischen Grundzustand und angeregtem Zustand. Deshalb absorbiert jedes Pigmentmolekül nur Licht, das einem ganz bestimmten Wellenlängenbereich entspricht.

Absorbiert ein Chlorophyllmolekül blaues Licht, so kann ein Elektron auf ein

1 Erklären Sie den Zusammenhang zwischen Absorptions- und Wirkungsspektrum der Photosynthese.



4.4 Funktion der Pigmente in der Thylakoidmembran

Bei Fotosynthese treibenden Organismen sind die Chlorophylle und Carotinoide in die Thylakoidmembran eingelagert. Sie schwimmen jedoch nicht frei beweglich in der Lipiddoppelschicht der Membran, sondern sind an Proteine gebunden. Dort sind sie in funktionellen Einheiten, den sogenannten Fotosystemen zusammengelagert. In den Thylakoidmembranen findet man zwei verschiedene Fotosysteme, die in der Reihenfolge ihrer Entdeckung als Fotosysteme I und II bezeichnet werden. Beide Fotosysteme wirken während der Fotosynthese zusammen. In den Stroma-thylakoiden kommt vor allem das Fotosystem I vor. In den inneren Granathylakoiden findet man hingegen ausschließlich das Fotosystem II (Abb. 174.1).

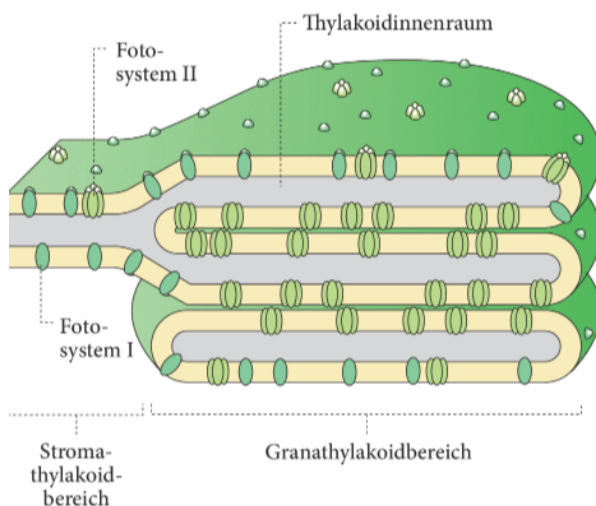
Jedes Fotosystem besteht aus einem Antennenkomplex und einem Reaktionszentrum. Der Antennenkomplex wird auch als Lichtsammelkomplex bezeichnet, da hier die Lichtabsorption der Fotosynthese stattfindet (Abb. 174.2). In diesen Antennenkomplexen sind mehrere Hundert Moleküle Chlorophyll a, Chlorophyll b und Carotinoide dicht zusammengepackt. Diese sind mit den Proteinen der Thylakoidmembran so verknüpft, dass die anregende absorbierte Lichtenergie von einem Pigmentmolekül zum nächsten weitergegeben werden kann, ähnlich einer Eimerkette beim Löschen eines Feuers. Die Energieübertragung innerhalb des Fotosystems ist von einem Pigmentmolekül zu einem anderen nur möglich, wenn ein ener-

getisches Gefälle zwischen den Pigmentmolekülen besteht. Dies bedeutet, dass das jeweils nachfolgende Pigment mit weniger Energie anregbar ist und damit in einem längerwelligeren, energieärmeren Wellenlängenbereich absorbiert. Auf diese Weise gelangt die Anregungsenergie schließlich zu demjenigen Pigment im Fotosystem, das die längsten Wellenlängen absorbiert. Dieses befindet sich im Reaktionszentrum.

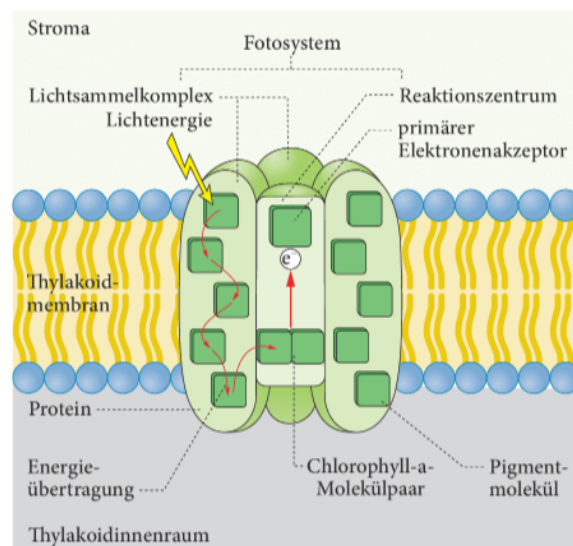
Bei Pflanzen ist das Pigmentmolekül des Reaktionszentrums immer ein Chlorophyll-a-Molekülpaar. Dieses hat im Fotosystem I ein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von 700 Nanometer. Es wird als P700 bezeichnet. Im Fotosystem II liegt sein Absorptionsmaximum bei 680 Nanometer und wird daher als P680 bezeichnet.

Eines der beiden Chlorophyll-a-Moleküle im Reaktionszentrum wird durch die Energieübertragung von den akzessorischen Pigmenten des Lichtsammelkomplexes so stark angeregt, dass es ein Elektron auf einen Elektronenakzeptor übertragen kann, der sich ebenfalls im Reaktionszentrum befindet und dadurch reduziert wird. Dieses Molekül wird als primärer Akzeptor bezeichnet. So findet im Reaktionszentrum die zentrale Reaktion der Fotosynthese statt, bei der Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt wird.

- 1 Beschreiben Sie den Aufbau eines Fotosystems.
- 2 Erläutern Sie den Energietransfer innerhalb eines Antennenkomplexes.



174.1 Verteilung der Fotosysteme in der Thylakoidmembran



174.2 Aufbau und Energietransfer in einem Fotosystem