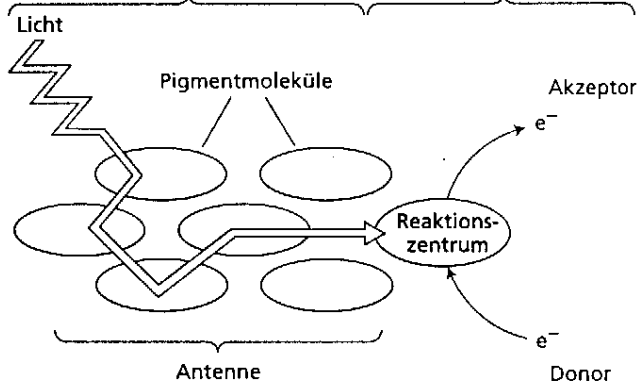
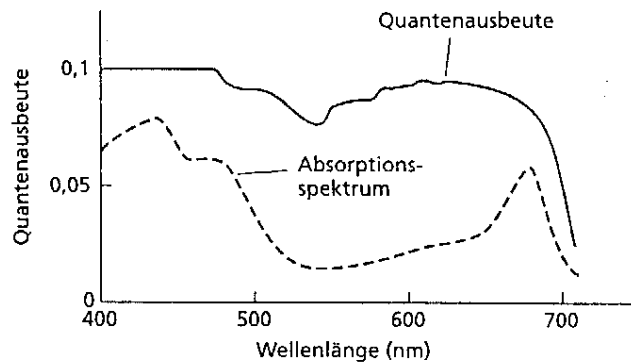


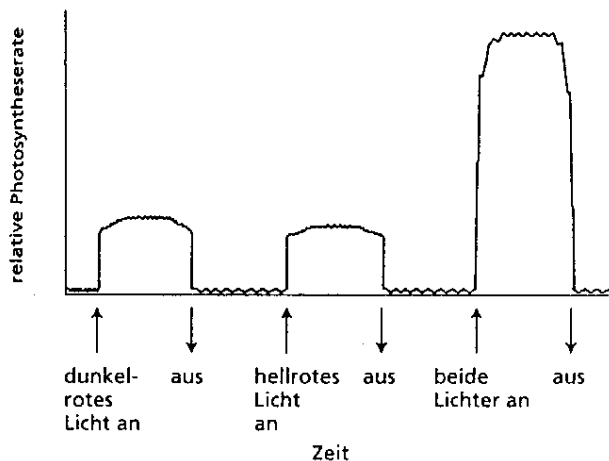
## Übertragung von Anregungsenergie Elektronenübertragung



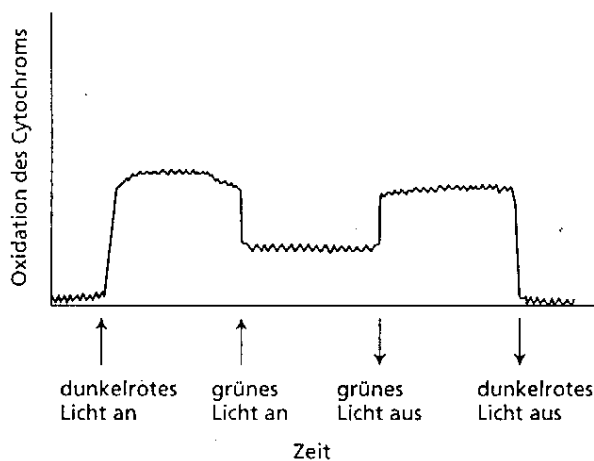
**7.7** Das Grundmodell der photosynthetischen Energieübertragung. Zahlreiche Pigmente bilden zusammen eine Antenne, die das Licht sammelt und dessen Energie zum Reaktionszentrum weiterleitet. Dort wird ein Teil der Energie gespeichert, indem ein Chlorophyllmolekül Elektronen auf seinen Elektronenakzeptor überträgt. Ein Elektronendonator reduziert dann erneut das Chlorophyll. Die Übertragung der Anregungsenergie in der Antenne ist ein rein physikalisches Phänomen und beinhaltet keine chemischen Veränderungen. Die erste chemische Reaktion nach der Photonenabsorption erfolgt im Reaktionszentrum. Nachfolgende Reaktionen stabilisieren die labilen Produkte dieser Reaktion.



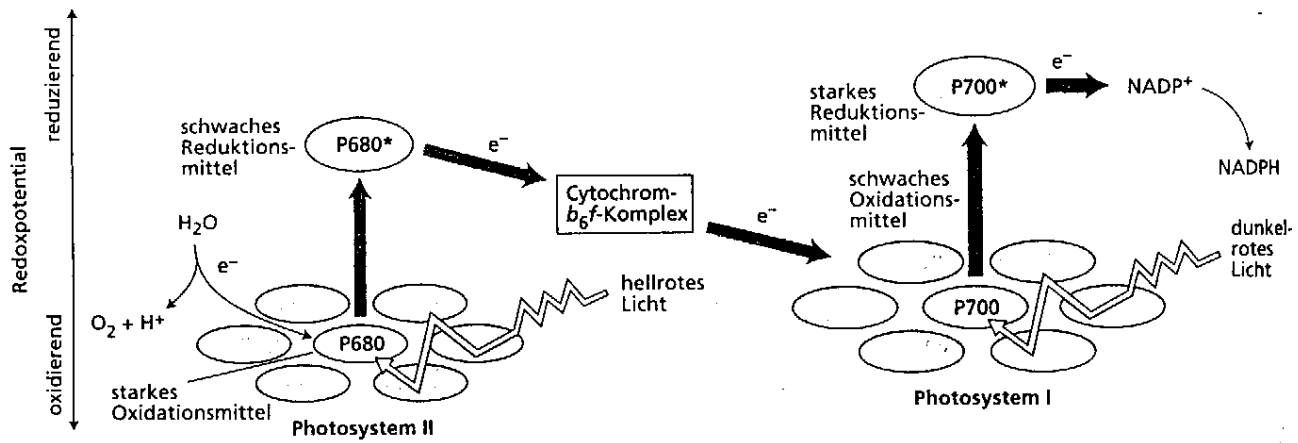
**7.9** Der *red drop*-Effekt. Die Quantenausbeute der Photosynthese (durchgezogene Linie) fällt im dunkelroten Licht bei Wellenlängen über 680 nm drastisch ab. Dunkelrotes Licht alleine ist also photosynthetisch ineffizient. Die leichte Einbuchtung in der Nähe von 500 nm ergibt sich aus der etwas geringeren photosynthetischen Effizienz des Lichtes, das von den akzessorischen Pigmenten, den Carotinoiden, absorbiert wurde. Die gestrichelte Linie zeigt das Absorptionsspektrum der Chloroplasten.



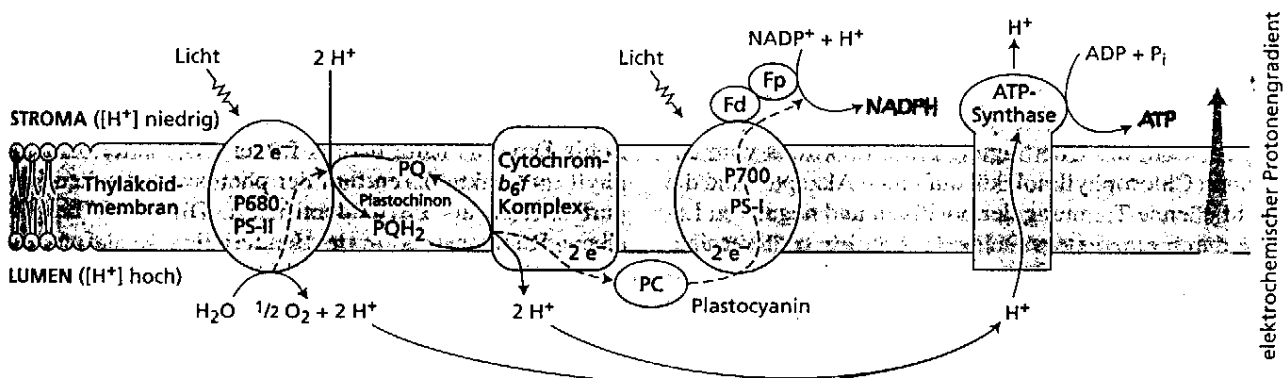
**7.10** Der *enhancement*-Effekt. Bei gleichzeitiger Einstrahlung von rotem und dunkelrotem Licht ist die Photosyntheserate höher als die Summe der Raten bei getrennter Einstrahlung. Die Ergebnisse dieses Experimentes verblüfften die Wissenschaftler in den fünfziger Jahren, lieferten aber einen grundlegenden Beweis zugunsten der Vorstellung, daß die Photosynthese durch zwei Photosysteme ausgeführt wird, die etwas unterschiedliche Absorptionsmaxima aufweisen und hintereinander geschaltet sind.



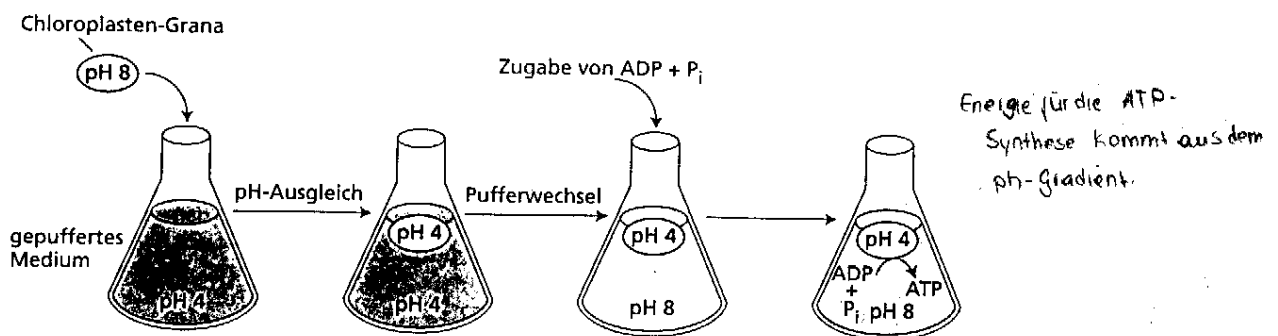
**7.11** Antagonistische Wirkungen von Licht auf den Oxidationszustand des Cytochroms. Dunkelrotes Licht bewirkt eine starke Oxidation des Cytochrom *f* im Chloroplasten. Zusätzlich eingestrahlt grünes Licht führt zur teilweisen Reduktion des Cytochroms. Die beiden Wellenlängen haben gegensätzliche Effekte – daher der Begriff „antagonistisch“. Dieses Experiment ist einer der klarsten Nachweise für das Vorhandensein von zwei photochemischen Systemen: Eines reduziert Cytochrom, und das andere oxidiert es. Im dargestellten Versuch wurde eine Rotalge verwendet, bei der das Photosystem II am besten mit grünem (siehe Abb. 7.12) und das Photosystem I am besten mit dunkelrotem Licht angeregt wird. (nach Duysens et al. 1961)



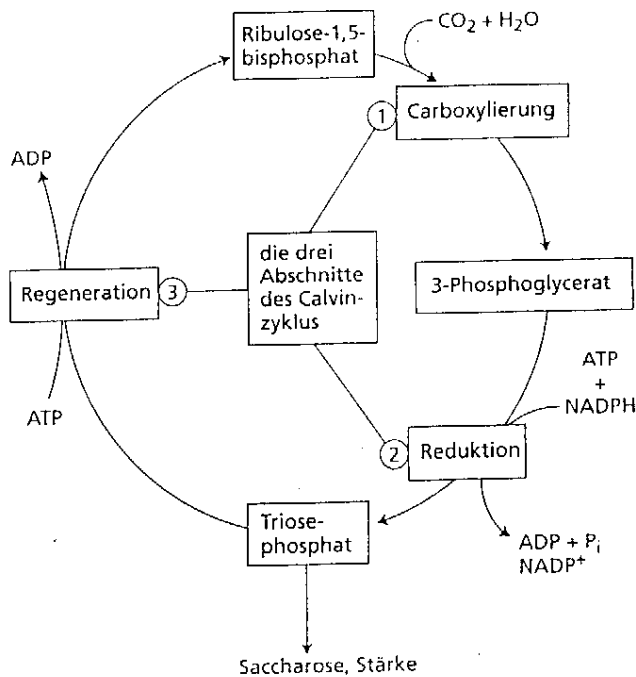
**7.12** Das Z-Schema der Photosynthese. Das vom Photosystem II (PS-II) absorbierte hellrote Licht führt zur Bildung eines starken Oxidations- und eines schwachen Reduktionsmittels. Photosystem I (PS-I) bildet bei Absorption dunkelroten Lichtes ein schwaches Oxidations- und ein starkes Reduktionsmittel. Das am PS-II gebildete starke Oxidationsmittel oxidiert Wasser und das vom PS-I entwickelte starke Reduktionsmittel reduziert  $NADP^+$ . Die vom PS-II abgegebenen Elektronen reduzieren den Cytochrom- $b_6f$ -Komplex, während das vom PS-I gebildete Oxidationsmittel ihn oxidiert. Dieses Schema ist von grundlegender Bedeutung für das Verständnis des photosynthetischen Elektronentransportes. P680 und P700 bezeichnen die Wellenlängen der Absorptionsmaxima der Chlorophylle im Reaktionszentrum von PS-II beziehungsweise PS-I. Später in diesem Kapitel wird genauer auf diese Bezeichnungen eingegangen.



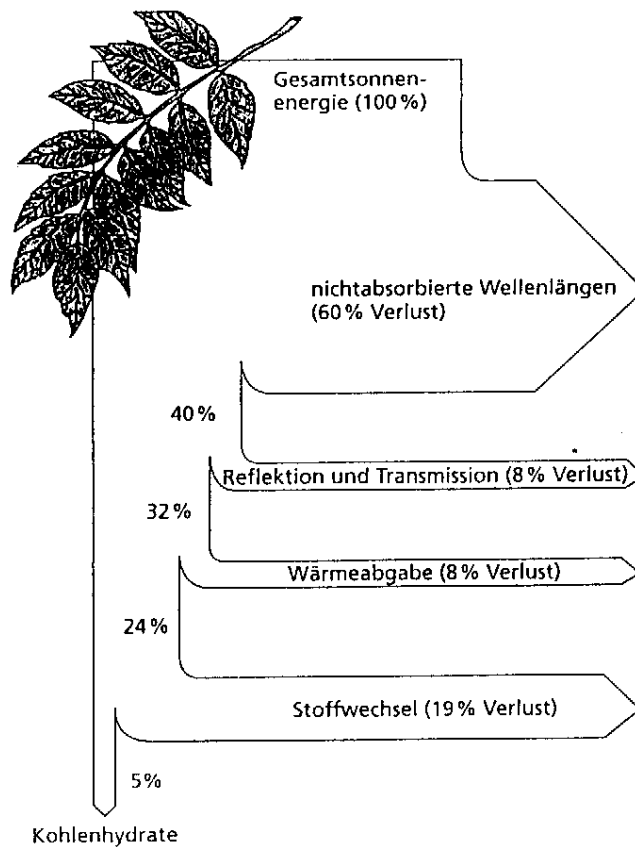
**7.22** Die vier am vektorialen Elektronen- und Protonentransfer beteiligten Proteinkomplexe in der Thylakoidmembran. Im Lumen erfolgt die Oxidation von Wasser und die Freisetzung von Protonen durch das PS-II. Im Stroma reduziert das PS-I unter Mitwirkung von Ferredoxin (Fd) und dem Flavoprotein Ferredoxin-NADP-Reduktase (Fp)  $NADP^+$  zu  $NADPH$ . Auch der Cytochrom- $b_6f$ -Komplex transportiert Protonen ins Lumen, die zum elektrochemischen Protonengradienten beitragen. Diese Protonen müssen dann zum ATP-Synthase-Enzym diffundieren, wo ihre Bewegung entlang des elektrochemischen Energiegradienten genutzt wird, um an der Stroma-Seite ATP zu synthetisieren. Reduziertes Plastochinon ( $PQH_2$ ) und Plastocyanin (PC) übertragen Elektronen auf Cytochrom- $b_6f$  beziehungsweise PS-I. Gestrichelte Linien entsprechen einer Elektronenübertragung, durchgezogene Linien einer Protonenbewegung.



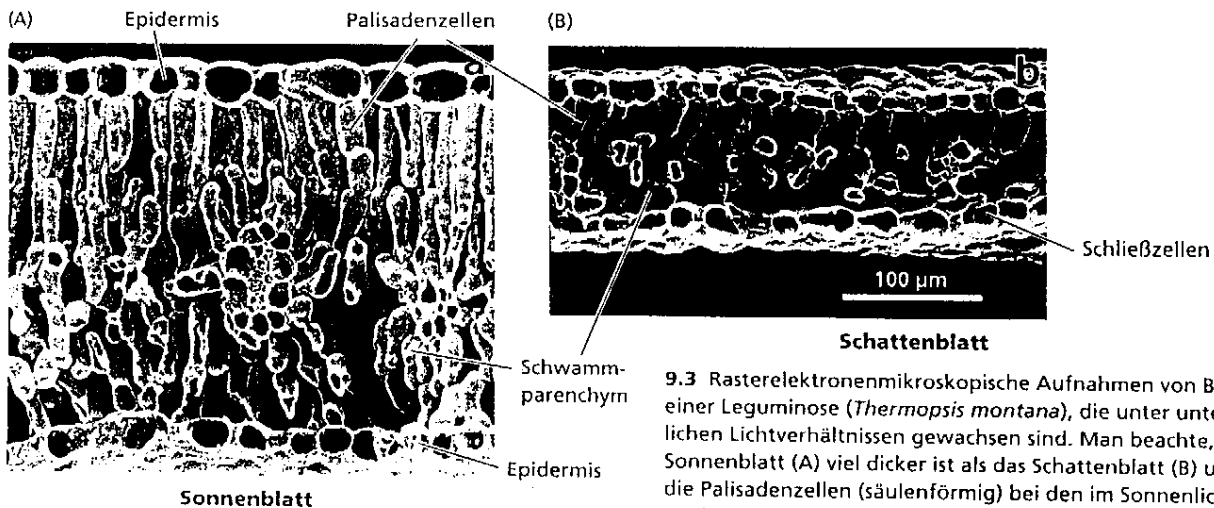
**7.30** Zusammenfassung des Experimentes von Jagendorf und seinen Mitarbeitern. Isolierte Chloroplastengrana, die einen pH-Wert von 8 besaßen, wurden in einem Medium von pH 4 inkubiert, bis ihr pH-Wert auf diese Größe gesunken war. Dann wurden die Grana in ein Medium mit pH 8 übertragen, das  $ADP$  und  $P_i$  enthielt. Durch diese Behandlung wurde ein pH-Unterschied (innen pH 4, außen pH 8) eingestellt, wie er im intakten Chloroplasten durch Elektronenfluß und Protonentransport entsteht. Unter diesen Bedingungen wurde ohne Licht ATP synthetisiert. Dieses Experiment stützte die chemiosmotische Theorie von Peter Mitchell, nach der pH-Unterschiede und elektrische Potentiale an der Membran die Energie zur ATP-Synthese liefern.



8.2 Der Calvinzyklus untergliedert sich in drei Abschnitte: 1. die Carboxylierung, in der CO<sub>2</sub> kovalent an ein Kohlenstoffgerüst bindet; 2. die Reduktion, in der Kohlenhydrate unter Verbrauch von photochemisch gebildeten ATP und NADPH entstehen; und 3. die Regeneration, die den CO<sub>2</sub>-Akzeptor Ribulose-1,5-bisphosphat neu bildet.



9.1 Umwandlung der Sonnenenergie in Kohlenhydrate durch ein Blatt. Von der gesamten einfallenden Energie werden nur 5% in Kohlenhydrate umgewandelt.



9.3 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Blättern einer Leguminose (*Thermopsis montana*), die unter unterschiedlichen Lichtverhältnissen gewachsen sind. Man beachte, daß das Sonnenblatt (A) viel dicker ist als das Schattenblatt (B) und daß die Palisadenzellen (säulenförmig) bei den im Sonnenlicht gewachsenen Blättern viel länger sind. Die Schichten des Schwamm-parenchyms befinden sich unter den Palisadenzellen. (Freundlicherweise zur Verfügung gestellt von T. Vogelmann)