

Photosynthese

- 1 Allgemeines und Entstehung der Photosynthese
- 2 Lichtreaktion
- 3 Dunkelreaktion und Typen der Photosynthese
- 4 Ursachen für die Entstehung verschiedener Typen
- 5 Summenformeln
- 6 Wichtige Photosynthesebilanzen

Photosynthese 1: Allgemeines und Entstehung

1

Die Photosynthese stellt die einzige relevante Primärenergiequelle für lebende Organismen auf der Erde dar

2

Bei der Photosynthese werden aus anorganischen Rohstoffen (CO₂, Wasser) unter Nutzung der Energie des Sonnenlichtes organische Stoffe (primär: Kohlehydrate) erzeugt.

3

Bei der Photosynthese wird CO₂ in den Kohlehydraten gebunden und Sauerstoff freigesetzt. Damit wird der globale C-Kreislauf ermöglicht.

4

Die Photosynthese entstand innerhalb einer “energetischen” Krise als Anpassung an die Verknappung energiereicher Ressourcen, welche durch “präbiotische Synthese” entstanden sein sollen (Oparin 1922, Miller&Urey 1953, Ebeling&Feistel 1981).

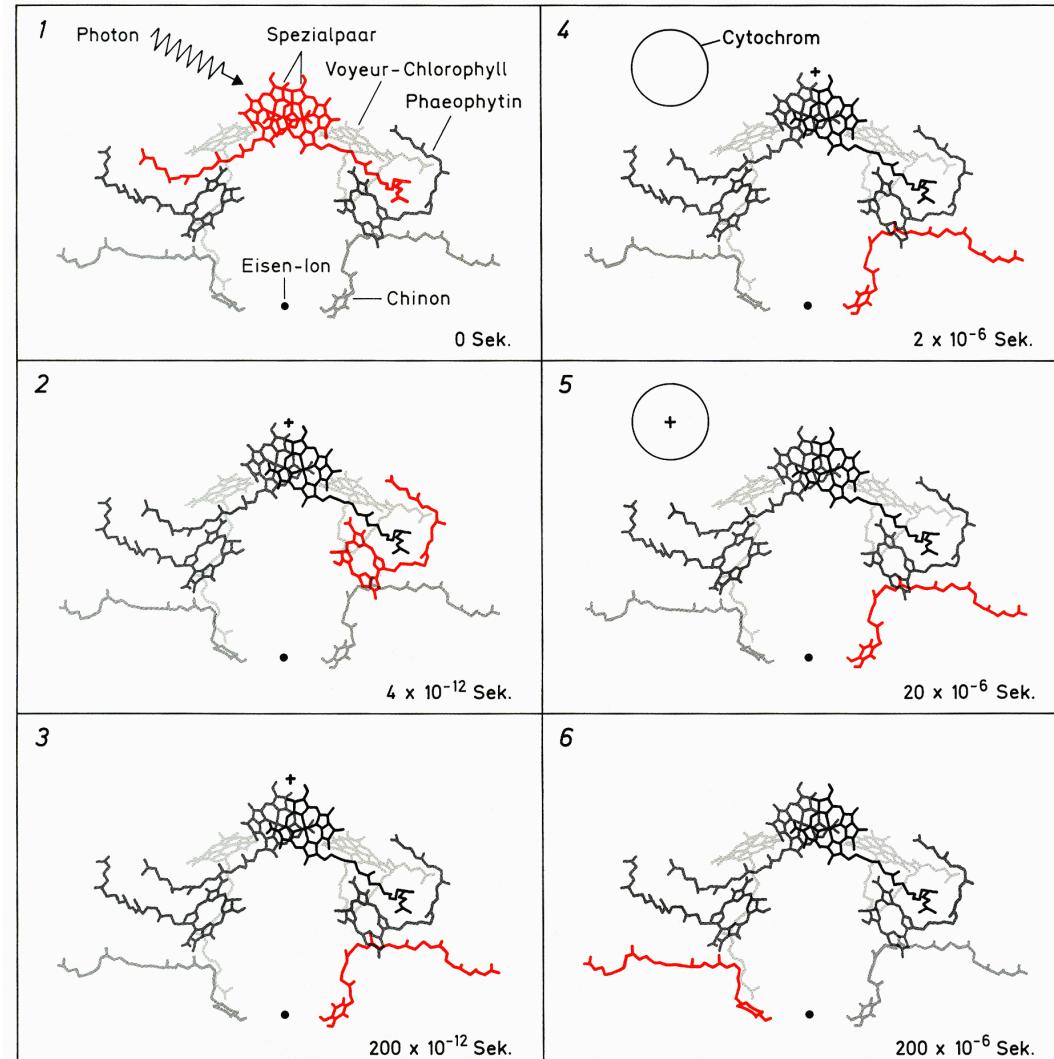
Als älteste Kandidaten dafür gelten Purpurbakterien und Grüne Schwefelbakterien.

Photosynthese 2: Lichtreaktion

Selektive Absorption des Sonnenlichts durch Chlorophylle

$\lambda \leq 480\text{nm}$ bzw. $550\text{nm} \leq \lambda \leq 700\text{nm}$
dadurch "grüne Farbe" der meisten Blätter
im Grünbereich Reflexionsmaxima fast aller Chlorophylle

Grund: Energetisches Maximum der Solarstrahlung würde den Photosyntheseapparat zu stark aufheizen



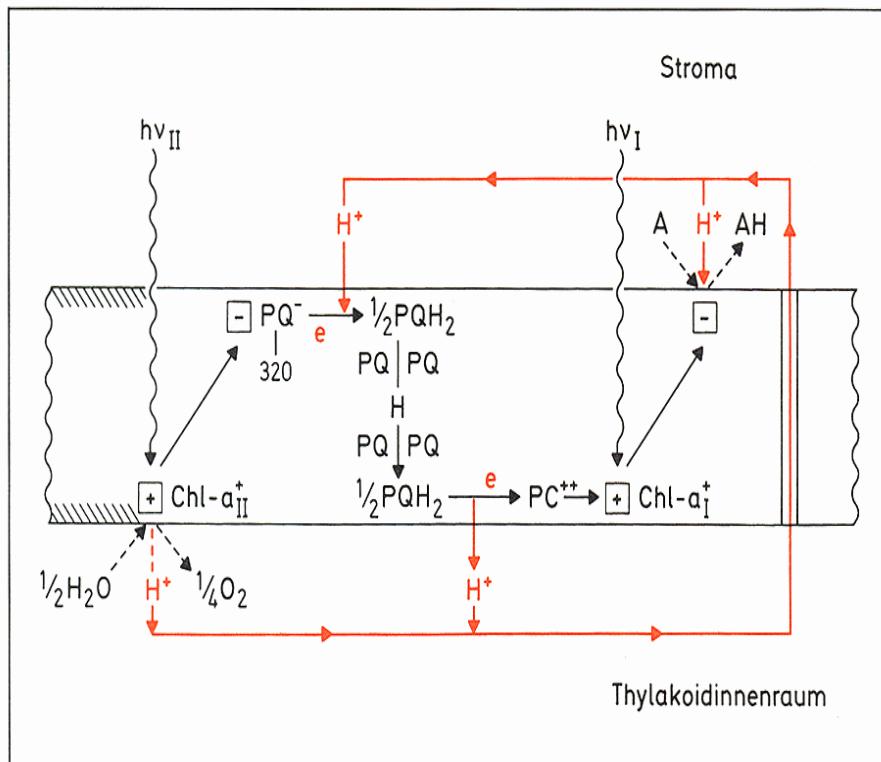
Zeitlicher Verlauf des Photoelektronentransportes im Reaktionszentrum von *Rhodopseudomonas viridis* (*Rhodospirillaceae*). Das jeweils angeregte Molekül ist farbig gezeichnet. (Nach Daten von Deisenhofer, Michel u. Huber nach Youvan u. Mari verändert)

Stufenweise Umwandlung dieser Lichtenergie über verschiedene Anregungszustände in eine primäre Form chemisch gebundener Energie

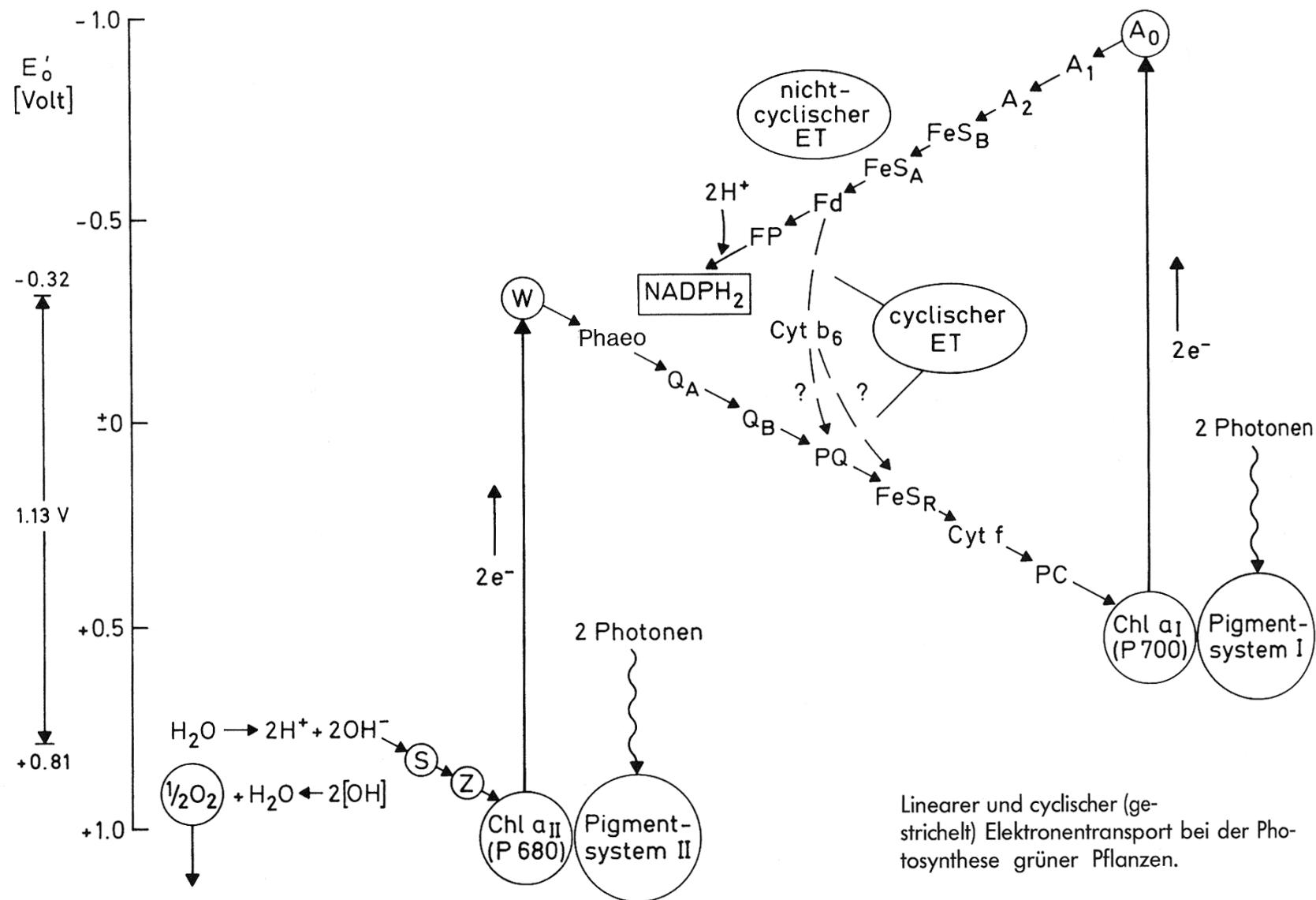
(a) Nicotin-Adenin-Dinucleotid-Phosphat/Hydrid (NADP/NADPH⁺) bzw.

(b) Adenosindi-/ -triphosphat (ADP/ATP)

beide Verbindungen stellen “angeregte” Komplexe dar und sind hoch reaktiv, also nicht längerfristig speicherfähig und in hohen Konzentrationen toxisch aus der Lichtreaktion entstammt der bei der Photosynthese freigesetzte Sauerstoff



Vereinfachtes Sägezahnschema für den vektoriellen Transport von Elektronen, Protonen und Wasserstoffatomen über die Thylakoidmembran bei Belichtung. Reaktionsfolge:
 1. Anregung von Chlorophyll a_I und a_{II} . 2. Photooxidation von Chl a_I und Chl a_{II} . 3. Gerichteter Transport von Elektronen von der Innen- zur Außenseite der Thylakoidmembran. 4. Oxidation von H_2O , Reduktion und Protonierung des terminalen Akzeptors A und Reduktion und Oxidation von Plastochinon (PQ). 5. Protonen-Transport zum Thylakoidinnenraum durch protolytische Reaktionen mit den Ladungen an der Außen- (PQ^-) und Innenseite (Plastocyanin, PC^{2+}) der Thylakoidmembran. 6. Entladung der «energisierten» Membran durch Efflux der Protonen, dabei Bildung von ATP mittels einer membrangebundenen ATPase. (Nach Tiemann, Renger, Gräber u. Witt)



Linearer und cyclischer (gestrichen) Elektronentransport bei der Photosynthese grüner Pflanzen.

Photosynthese 3: Dunkelreaktion und Typen der CO₂-Fixierung

In der Dunkelreaktion erfolgt unter Nutzung der in den NADPH⁺ bzw. ATP Komplexen intermediär gespeicherten Energie die Bindung des aus der Atmosphäre aufgenommenen CO₂. Dazu muß das CO₂ an den Ort dieser Fixierung gelangen. Je nach der Form der dabei primär entstehenden organischen Verbindungen unterscheidet man die drei Typen der Photosynthese

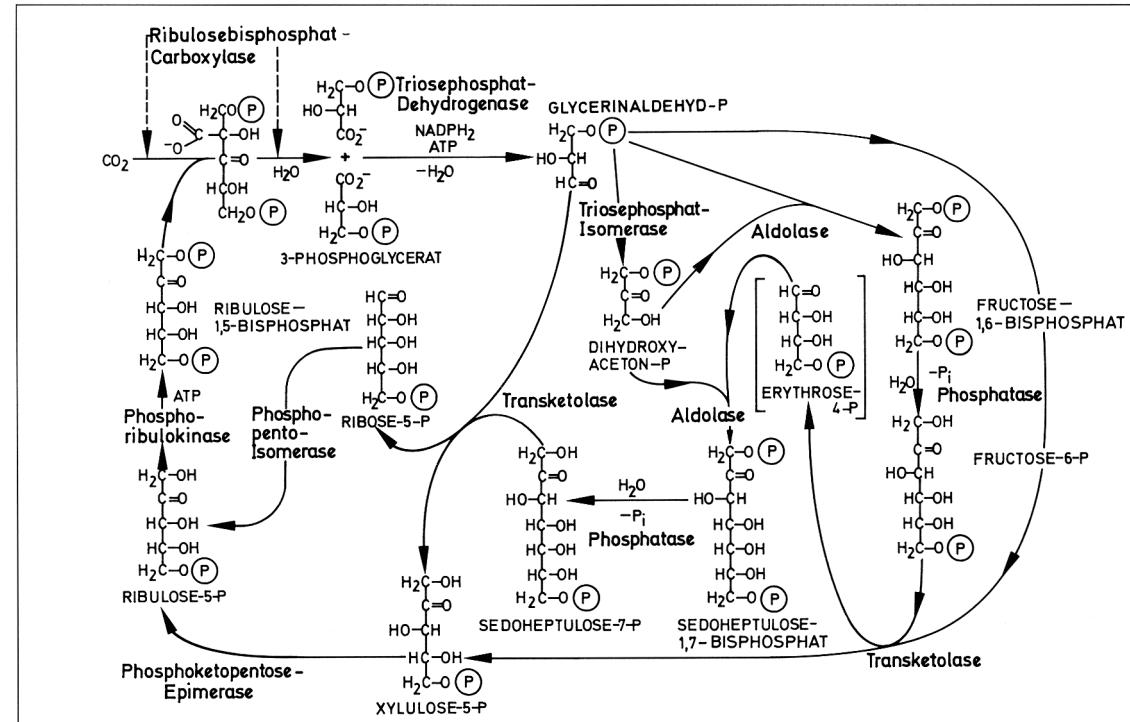
C₃ (Calvin Cyclus)

die ursprüngliche Form
ohne vorgelagerte
CO₂-Anreicherung
bzw. -Speicherung

Typische Pflanzen

Alle Bäume, Sträucher, viele Kräuter,
Gräser.

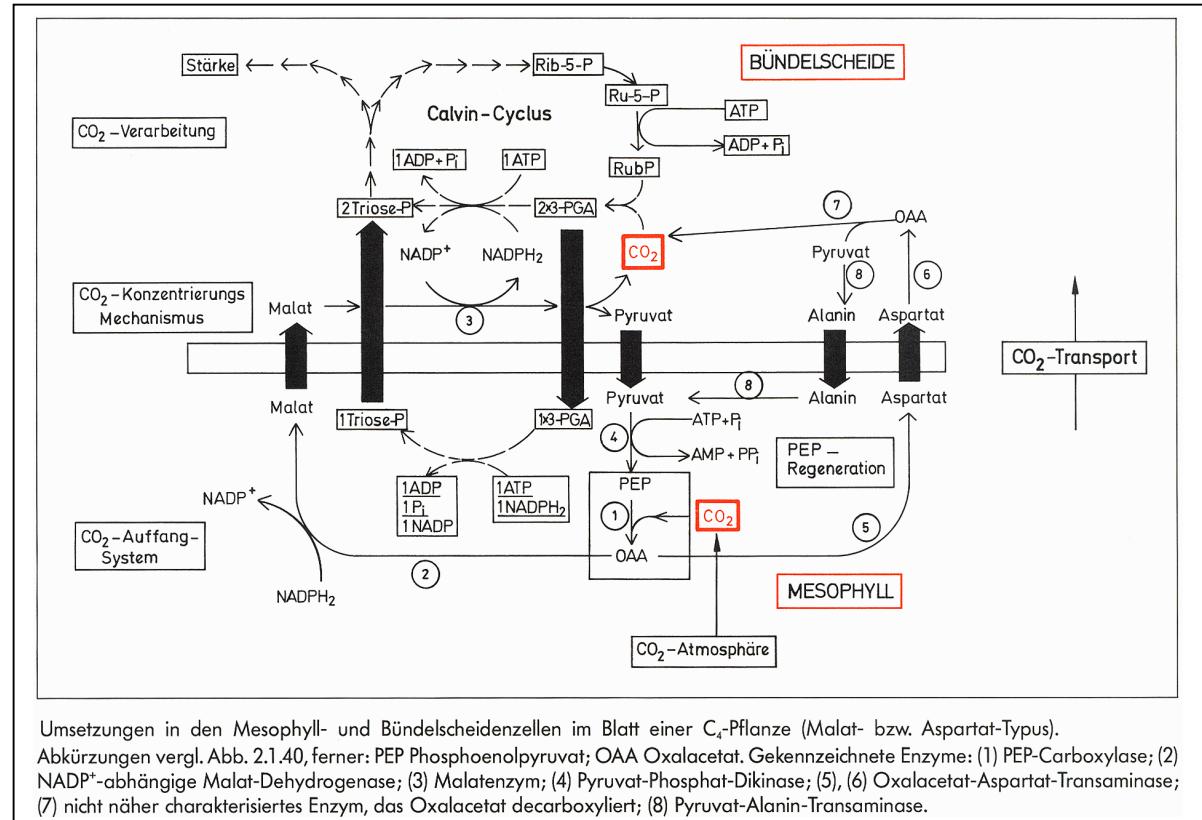
Praktisch alle Getreidesorten
(außer Mais)



Strukturformeln der am Calvin-Cyclus beteiligten Verbindungen.

C₄ (Hatch-Slack-Cyclus)
 eine Form mit vorgelagerter
 CO₂-Anreicherung
 mit höherem Energiebedarf
 als Anpassung an trocken/heiße
 Klimate mit höheren Strahl-
 ungen

Typische C₃-Pflanzen sind Gräser
 der Tropen (Mais, Hirse)

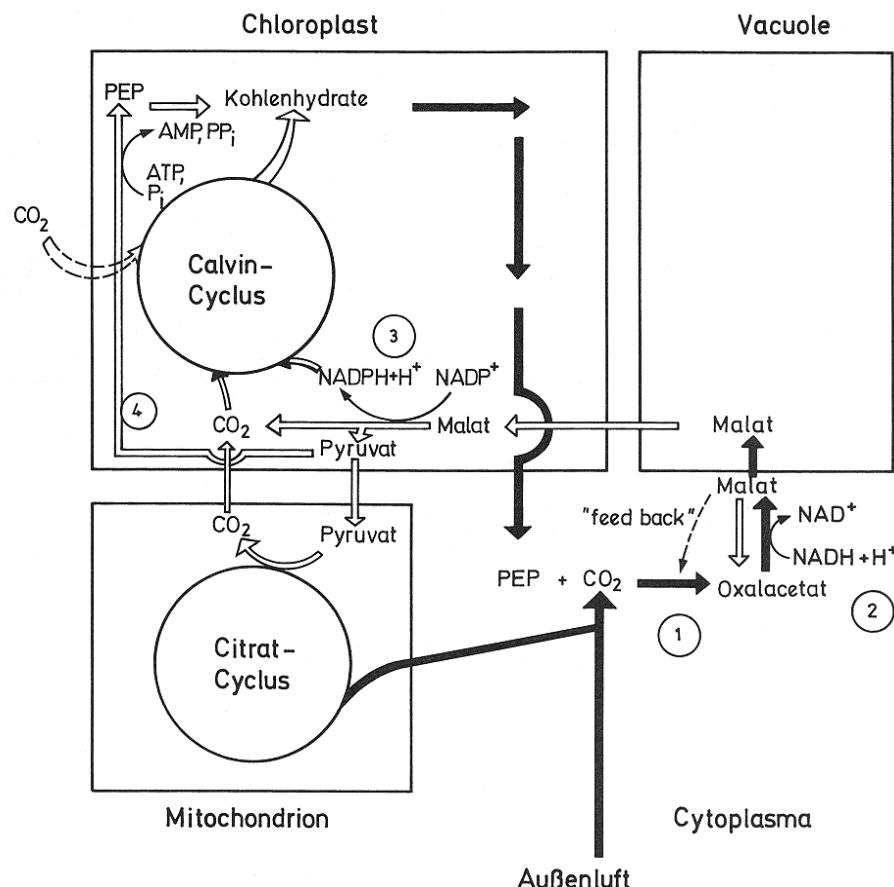


CAM (Crassuleacean acid metabolism) eine Form mit vorgelagerter CO_2 - Anreicherung und -Speicherung

Dabei wird neben der örtlichen Trennung wie bei C₃-Pflanzen die primäre und endgültige Fixierung auch zeitlich getrennt

CAM stellt eine Anpassung an extreme Trockenheit bei gleichzeitig hoher Sonnenstrahlung dar.

Vorkommen in Wüsten (Succulenten)
Daher beliebte "Singlepflanzen"

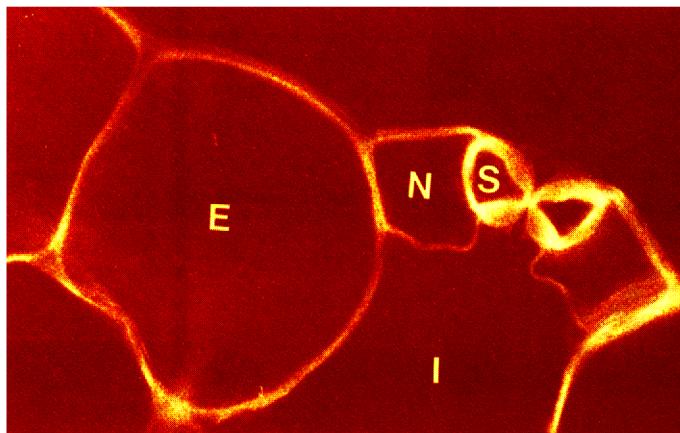


Für den «CAM» charakteristische Dunkel- (ausgefüllte Pfeile) und Licht- (umrandete Pfeile) Reaktionen und ihre Verteilung auf verschiedene Zellkompartimente. Gekennzeichnete Enzyme: (1) PEP-Carboxylase; (2) NAD⁺-abhängige Malat-Dehydrogenase; (3) Malatenzym; (4) Pyruvat-Phosphat-Dikinase.

Photosynthese 4: Ursachen für die Entstehung verschiedener Typen

1 Das Enzym zum Einschleusen des CO_2 , das Ribulose-1,5-bisphosphate-Reduktase-Oxygenase-Enzym ist doppelt affin und zwar stark zu dem in geringen Konzentrationen vorliegenden CO_2 (~370 ppm) und schwach zu dem in hoher Konzentration vorliegenden Sauerstoff (~210 000 ppm!). Die O_2 -Affinität mußte in der Uratmosphäre noch nicht unterdrückt werden, sie ist ein “kleiner Betriebsunfall” der Evolution. Höhere Konzentrationen des konkurrierenden Partners unterdrücken dabei gleichzeitig dessen Fixierung

2 Die Aufnahme von CO_2 erfolgt über die Spaltöffnungen

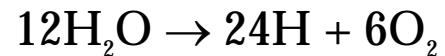


Dabei geht immer Wasser verloren. Eine möglichst geringe CO_2 Konzentration im Raum I bei gleichzeitig hoher Fixierung kann daher nicht durch das relativ “schwache” Enzym Rubisco erfolgen.

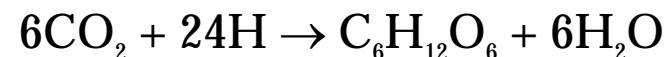
Zum “Wassersparen” daher Anreicherung und Speicherung bei C_3 und CAM Pflanzen.

Photosynthese 5: Summenformeln

Lichtreaktion
(Wasserspaltung mit Sauerstofffreisetzung)



Dunkelreaktion
(CO₂-Bindung an Ribulose-1.5-bisphosphat zu 2*Phosphoglycerat (C3))



Summe



Photosynthese 6: Globale Bilanzen

(abzüglich Atmung: Nettoprimärproduktion als Kohlenstoff-Äquivalent)

Erde $(0,51 \cdot 10^{15} \text{ m}^2)$ $80 \cdot 10^{15} \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ (100,0 %)

Ozeane $(0,36 \cdot 10^{15} \text{ m}^2)$ $28 \cdot 10^{15} \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ (35,4 %)

Land $(0,15 \cdot 10^{15} \text{ m}^2)$ $52 \cdot 10^{15} \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ (64,6 %)

$(10^{15} \text{ g} = 10^9 \text{ t} = 1 \text{ Mrd t})$

noch Photosynthese 6: Globale Bilanzen (spezifische Nettoprimärproduktion)

Tropische Regenwälder	$990 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Ästuare	$710 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Hartlaubwälder	$580 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Savannen	$410 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Nadelwälder	$360 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Agrarland	$290 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Grasland (gemäßigten Zonen)	$270 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Seen & Flüsse	$200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
ozeanische Kontinentalsockel	$160 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Tundren	$60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
offene Ozeane	$56 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Wüsten, Halbwüsten	$40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$
Felsen, Eis, Sand	$1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

noch Photosynthese 6: Globale Bilanzen

*(Vergleich von C4 und C3 Nutzpflanzen,
Maximale Biomasseproduktivität von Agrarpflanzen auf Freiflächen)*

	C4-Pflanzen, Subtropen	C3-Pflanzen, Europa
kurzfristig	400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹	80 t ha ⁻¹ a ⁻¹
annual	200 kg ha ⁻¹ d ⁻¹	20 t ha ⁻¹ a ⁻¹