

# 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 ( $\text{CO}_2$ , Wasser) unter Nutzung der Energie des Sonnenlichtes organische Stoffe (primär: Kohlehydrate) erzeugt.

3

Bei der Photosynthese wird  $\text{CO}_2$  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.

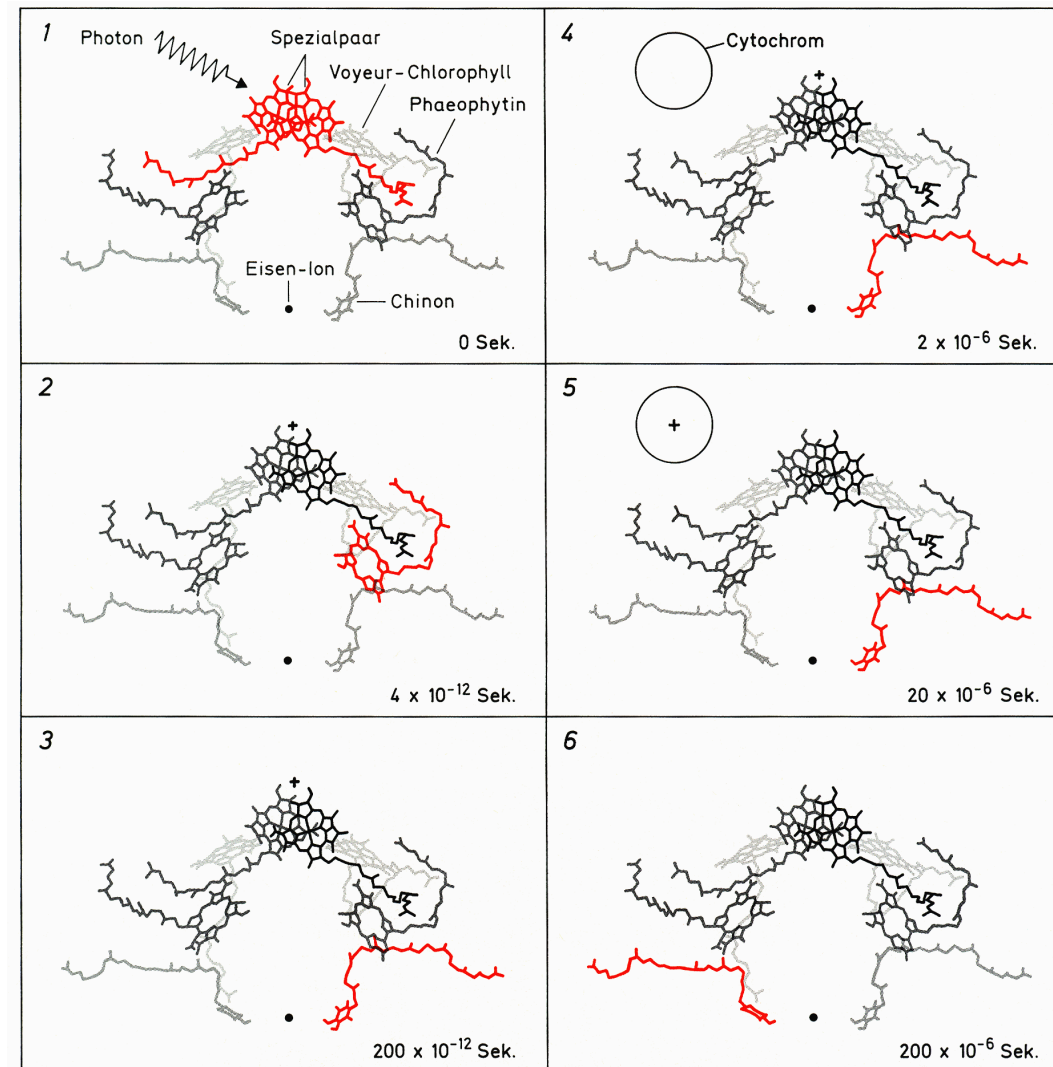
## Photosynthese 2: Lichtreaktion

### 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



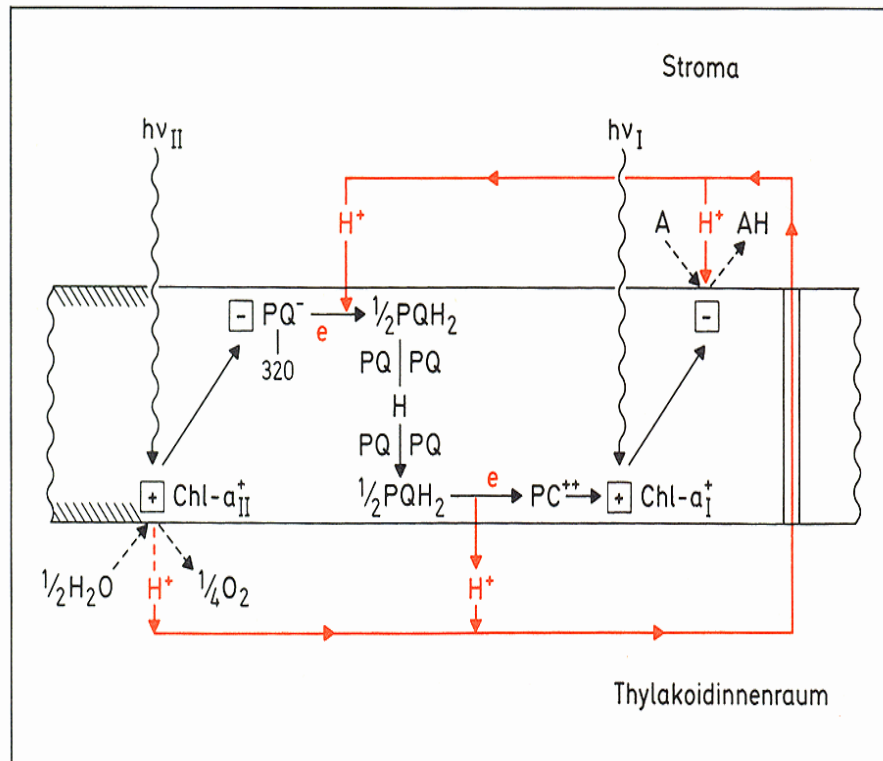
Zeitlicher Verlauf des Photoelektronentransportes im Reaktionszentrum von *Rhodospseudomonas viridis* (*Rhodospirillaceae*). Das jeweils angeregte Molekül ist farblich gezeichnet. (Nach Daten von Deisenhofer, Michel u. Huber nach Youvan u. Marz verändert)

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

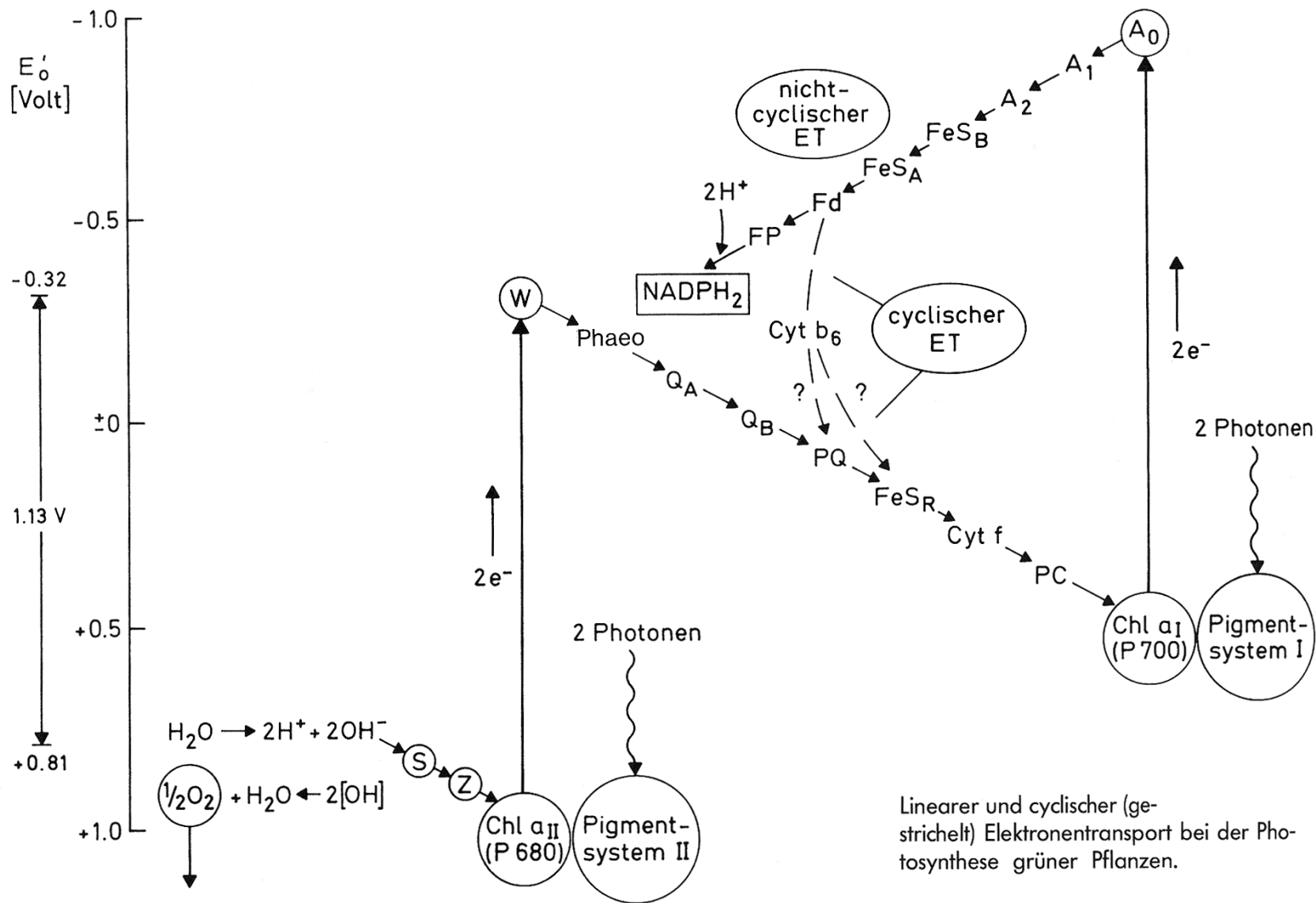
(a) Nicotin-Adenin-Dinucleotid-Phosphat/Hydrid ( $\text{NADP}/\text{NADPH}^+$ ) bzw.

(b) Adenosindi-/ -triphosphat ( $\text{ADP}/\text{ATP}$ )

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  $\text{H}_2\text{O}$ , 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- ( $\text{PQ}^-$ ) und Innenseite (Plastocyanin,  $\text{PC}^{2+}$ ) der Thylakoidmembran. 6. Entladung der «energetisierten» Membran durch Efflux der Protonen, dabei Bildung von ATP mittels einer membrangebundenen ATPase. (Nach Tie mann, Renger, Gräber u. Witt)



# Photosynthese 3: Dunkelreaktion und Typen der CO<sub>2</sub>-Fixierung

In der an die Dunkelreaktion erfolgt unter Nutzung der in den NADPH<sup>+</sup> bzw. ATP Komplexen intermediär gespeicherten Energie die Bindung des aus der Atmosphäre aufgenommenen CO<sub>2</sub>. Dazu muß das CO<sub>2</sub> an den Ort dieser Fixierung gelangen. Je nach der Form der dabei primär entstehenden organischen Verbindungen unterscheidet man die drei Typen der Photosynthese

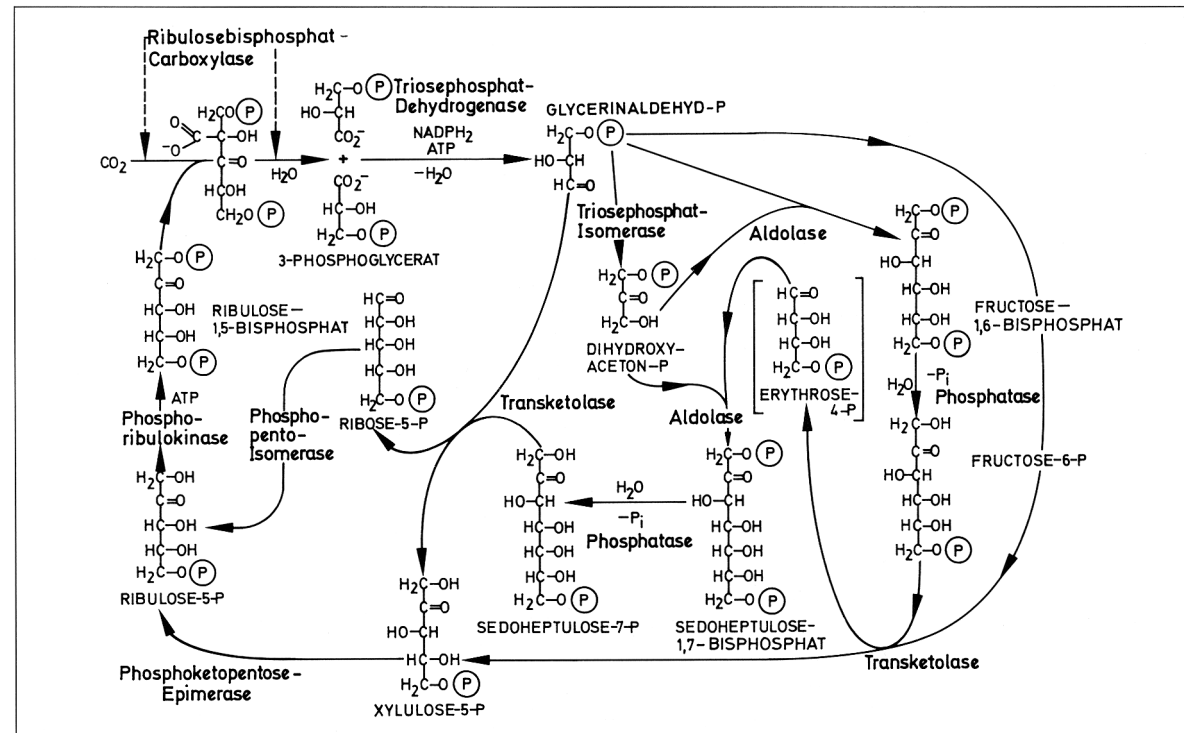
## C<sub>3</sub> (Calvin Zyklus)

die ursprüngliche Form  
ohne vorgelagerte  
CO<sub>2</sub>-Anreicherung  
bzw. -Speicherung

## Typische Pflanzen

Alle Bäume, Sträucher, viele Kräuter,  
Gräser.

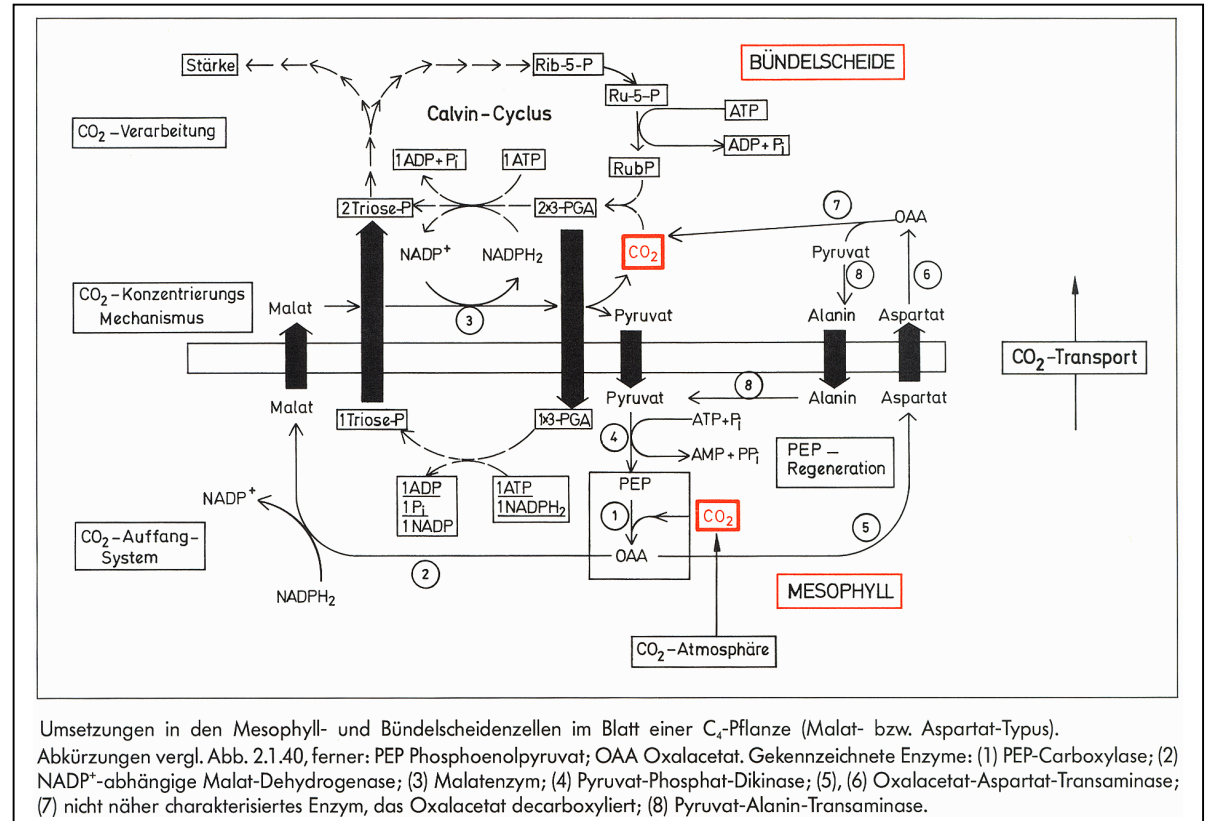
Praktisch alle Getreidesorten  
(außer Mais)



Strukturformeln der am Calvin-Zyklus beteiligten Verbindungen.

**C<sub>4</sub> (Hatch-Slack-Cyclus)**  
 eine Form mit vorgelagerter  
 CO<sub>2</sub>-Anreicherung  
 mit höherem Energiebedarf  
 als Anpassung an trocken/heiße  
 Klimate mit höheren Strahl-  
 ungen

Typische C<sub>3</sub>-Pflanzen sind Gräser  
 der Tropen (Mais, Hirse)

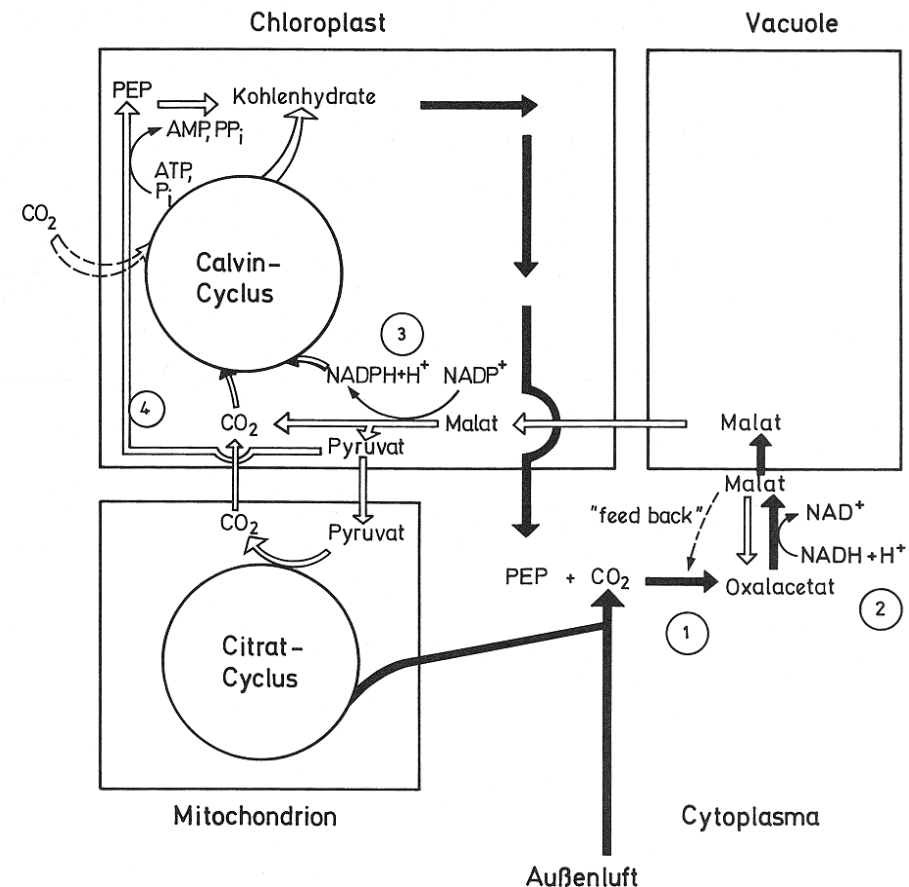


CAM (Crassuleacean acid metabolism)  
eine Form mit vorgelagerter  $\text{CO}_2$ -  
Anreicherung und -Speicherung

Dabei wird neben der örtlichen Trennung  
wie bei  $\text{C}_3$ -Pflanzen die primäre und  
endgültige Fixierung auch zeitlich getrennt

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

Vorkommen in Wüsten (Succulenten)  
Daher beliebte "Singlepflanzen"



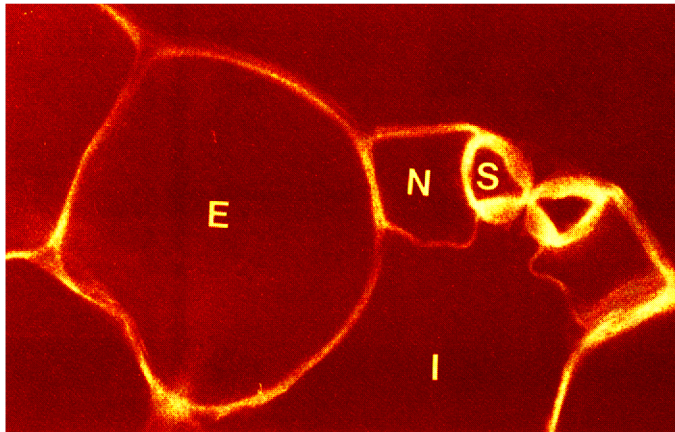
Für den «CAM» charakteristische Dunkel- (ausgefüllte Pfeile) und Licht- (umrandete Pfeile) Reaktionen und ihre Verteilung auf verschiedene Zellkompartimente. Gekennzeichnete Enzyme: (1) PEP-Carboxylase; (2) NAD<sup>+</sup>-abhängige Malat-Dehydrogenase; (3) Malatenzym; (4) Pyruvat-Phosphat-Dikinase.



## Photosynthese 4: Ursachen für die Entstehung verschiedener Typen

1 Das Enzym zum Einschleusen des  $\text{CO}_2$ , das Ribulose-1.5-bisphosphate-Reduktase-Oxygenase-Enzym ist doppelt affin und zwar stark zu dem in geringen Konzentrationen vorliegenden  $\text{CO}_2$  (~370 ppm) und schwach zu dem in hoher Konzentration vorliegenden Sauerstoff (~210 000 ppm!). Die  $\text{O}_2$ -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  $\text{CO}_2$  erfolgt über die Spaltöffnungen



Dabei geht immer Wasser verloren.

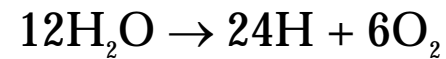
Eine möglichst geringe  $\text{CO}_2$  Konzentration im Raum I bei gleichzeitig hoher Fixierung kann daher nicht durch das relativ “schwache” Enzym Rubisco erfolgen.

Zum “Wassersparen” daher Anreicherung und Speicherung bei  $\text{C}_3$  und CAM Pflanzen.

## Photosynthese 5: Summenformeln

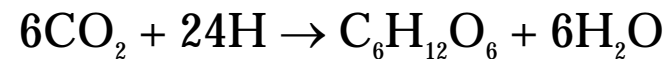
Lichtreaktion

(Wasserspaltung mit Sauerstofffreisetzung)

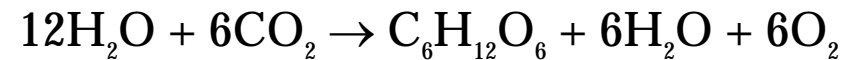


Dunkelreaktion

(CO<sub>2</sub>-Bindung an Ribulose-1.5-bisphosphat zu 2\*Phosphoglycerat (C3))



Summe



## Photosynthese 6: Globale Bilanzen

*(abzüglich Atmung: Nettoprimärproduktion als Kohlenstoff-Äquivalent)*

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

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

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

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

## 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 <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	80 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
annual	200 kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	20 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>