

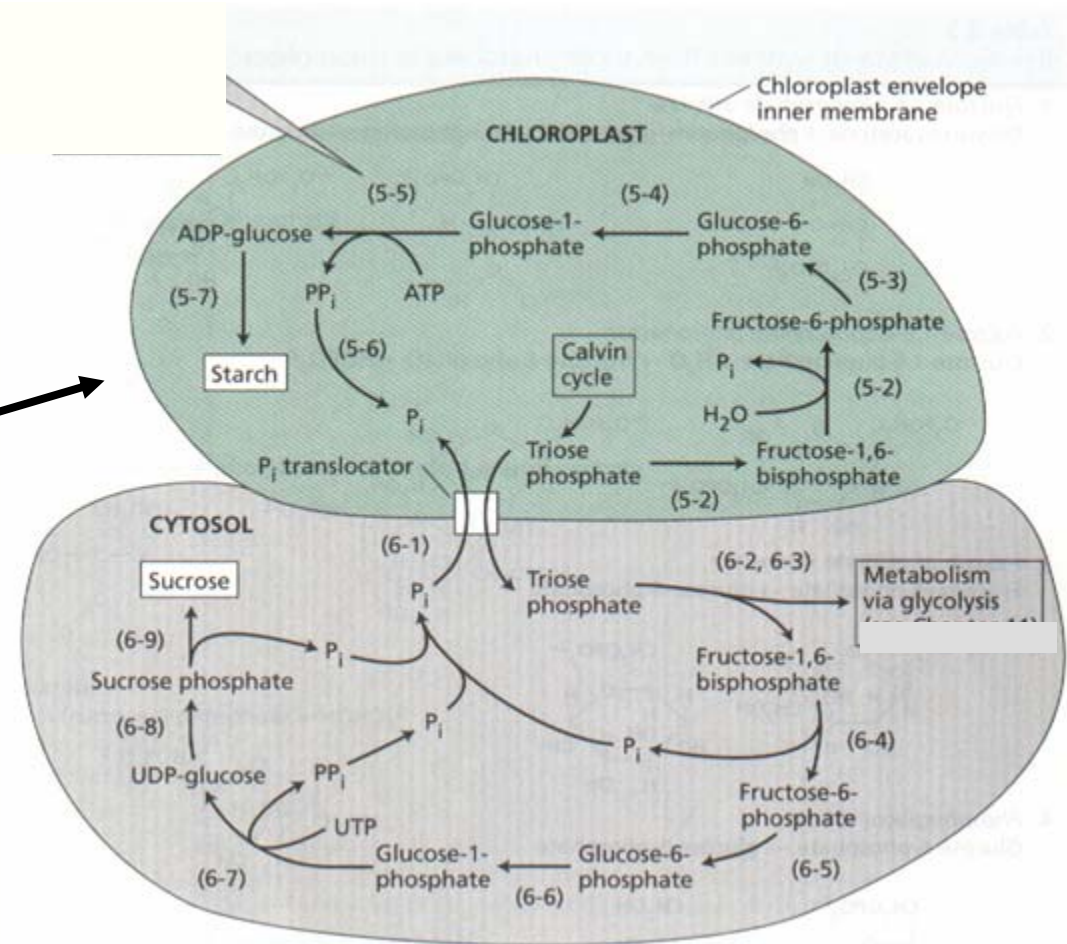
Photosynthese, Teil 2

4. Synthese von Endprodukten der Kohlendioxid-Assimilation bzw. Verwertung der Assimilate

- primär entstehen **Hexosen**; ausgehend von den Triosen, Hexosen und verschiedenen Zwischenprodukten der Regenerationsphase des Calvin-Zyklus' kann eine Vielzahl verschiedener Verbindungen, wie Aminosäuren, organische Säuren, Lipid-Bausteine, Nucleinsäure-Komponenten u.a. hergestellt werden;
- diese Produkte bzw. deren Vorstufen werden über spezifische, in der Chloroplastenhülle lokalisierte **Carrier** aus den Chloroplasten heraus in die Zelle exportiert; äußere Faktoren, wie Lichtintensität, Temperatur, Kohlendioxid- und Sauerstoff-Konzentration haben einen Einfluss darauf, welche Endprodukte bevorzugt gebildet werden;
- Transportform: Saccharose
- Speicherform: Stärke
 - verläuft jedoch die photosynthetische Bildung der Zucker in den Chloroplasten schneller als der Export und die Weiterverarbeitung in der Zelle oder der Abtransport über das Phloem, werden die Zucker in den Chloroplasten in Stärke umgewandelt und dort in dieser Form gespeichert.

Bildung transitorischer Stärke

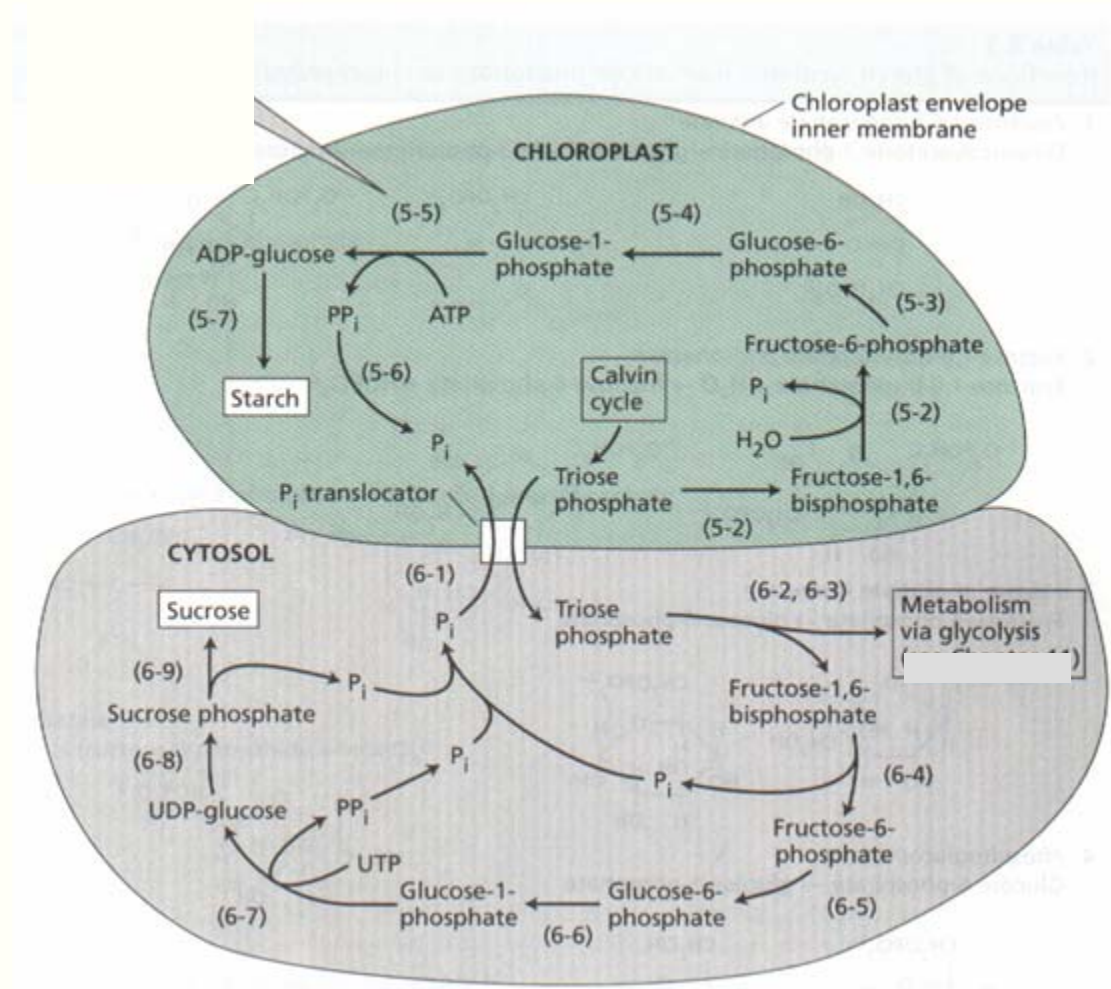
- das im Calvin-Zyklus gebildete Fructose-6-phosphat dephosphoryliert, wird in Glucose-1-phosphat umgewandelt und mit ATP in ADP-Glucose überführt;
- mit Hilfe der Stärkesynthase wird der Glucoserest auf das nichtreduzierende Ende einer Glucosekette übertragen, was zur Bildung von **Assimilationsstärke** in den Chloroplasten führt, diese kurzfristig gespeicherte Stärke wird als **transitorische Stärke** bezeichnet.



http://www.ualr.edu/botany/starch_sucrose.jpg

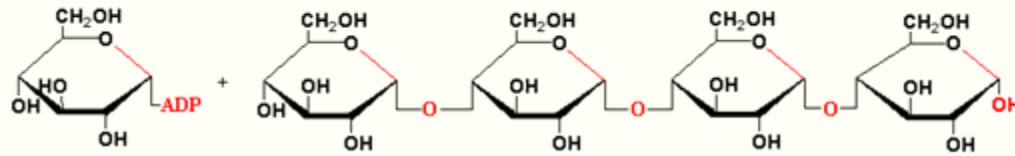
Synthese von Saccharose (engl. sucrose)

- Zum Transport wird die Stärke im Dunkeln wieder in Triosephosphate überführt, die durch einen Phosphat-Translocator im Antiport gegen anorganisches Phosphat in das Cytoplasma der Blattzellen transportiert werden, wo die Synthese der Saccharose erfolgt;
- diese wird zu den Orten des Verbrauches transportiert, wo sie direkt in den Bau- und Betriebsstoffwechsel einfließen kann oder sie wird in den Speicherorganen als Reservestoff deponiert und zwar entweder wieder in Form von Kohlenhydraten (z.B. Stärke) oder nach biochemischer Umwandlung als Fett oder Proteine.

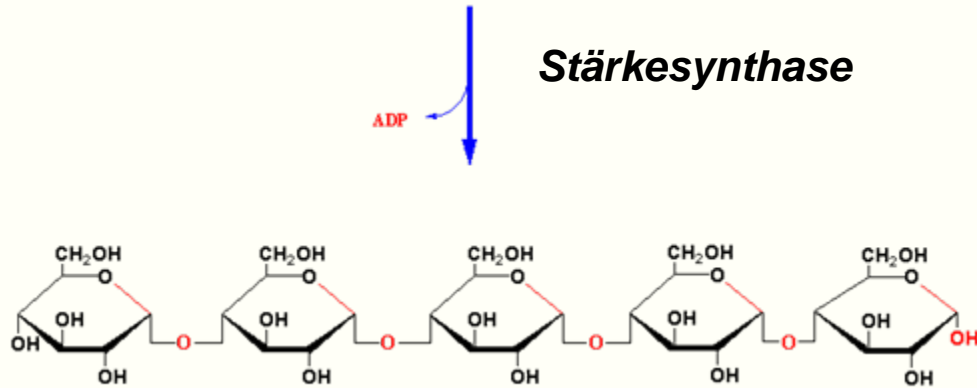


Synthese von Stärke

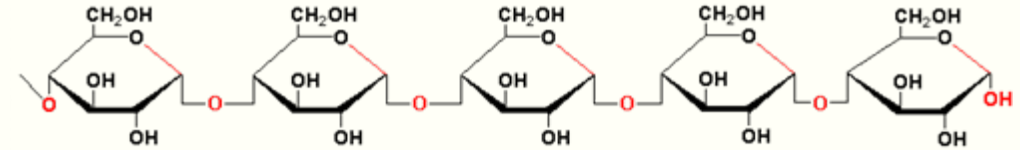
ADP-Glucose-Pyrophosphorylase



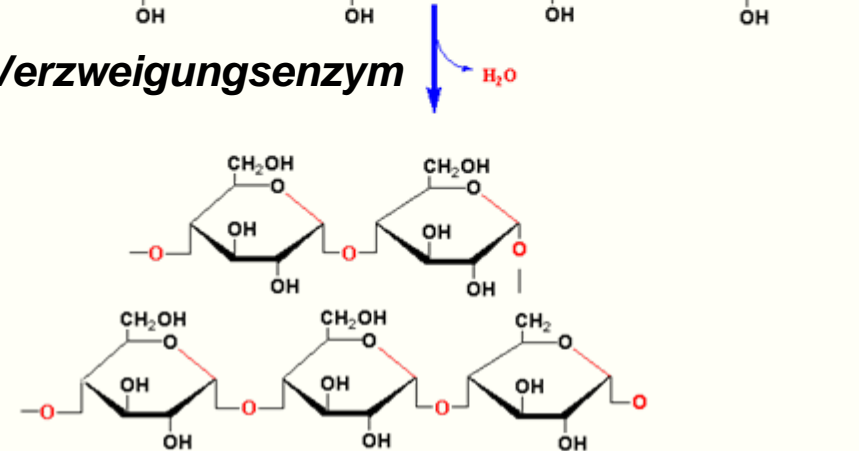
Stärkesynthase



Bildung von Amylose



Verzweigungsenzym



Bildung von Amylopektin

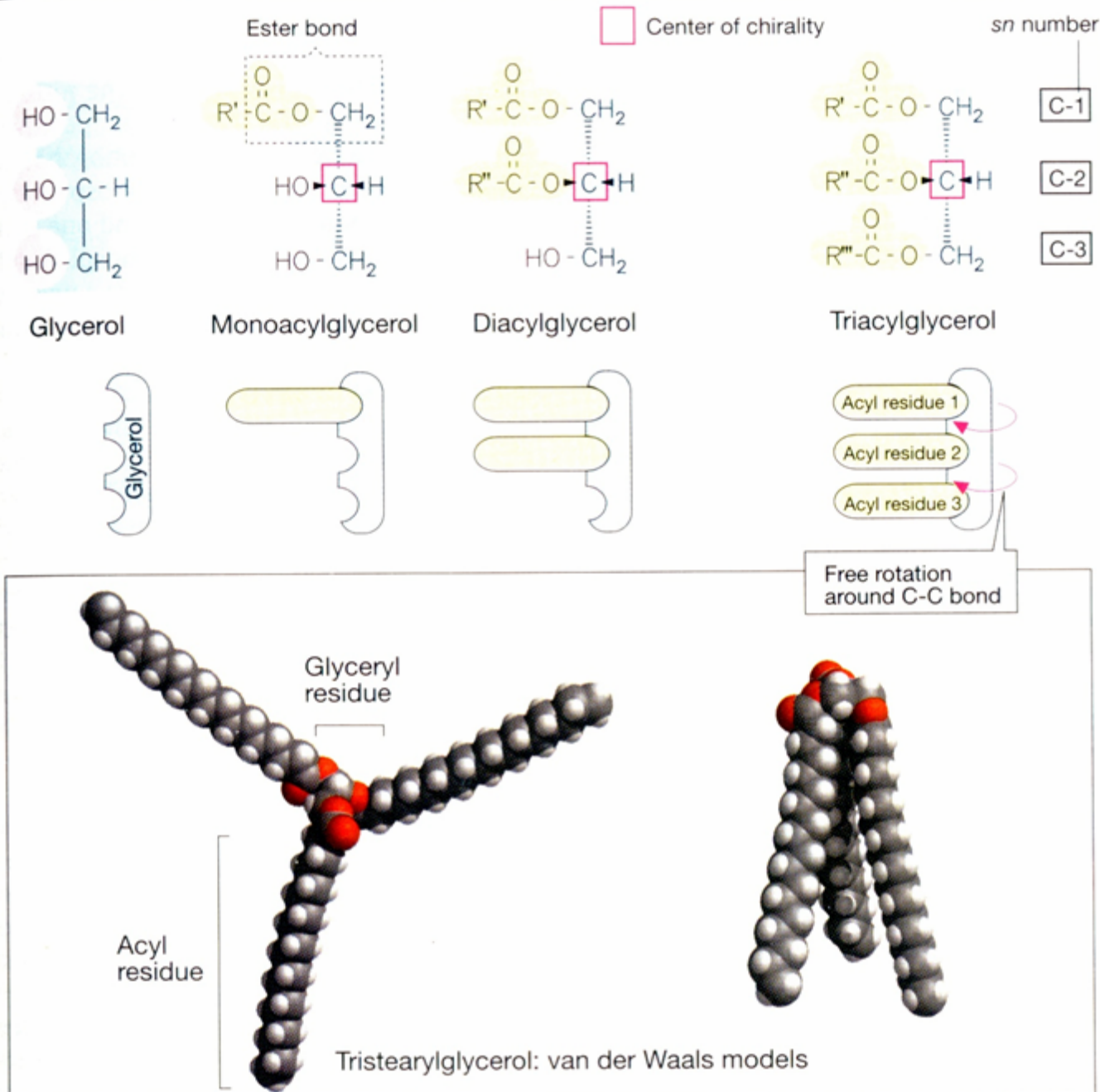
Biosynthese der Fette

- Glycerin u. Fettsäuren (FS) werden auf getrennten Wegen synthetisiert und anschließend zum Fettmolekül vereint;
- Bei der Synthese von FS aus C2-Bausteinen dient Acetyl-Coenzym A als C2-Überträger; Bindungen an CoA sind energiereich, so dass die entstehenden Verbindungen ein hohes Gruppenübertragungspotential besitzen.
- Während der FS-Synthese bleibt der wachsende FS-Rest an den FS-Synthetase-Komplex kovalent gebunden; dieser besitzt zusätzlich zu den verschiedenen enzymatisch aktiven Bereichen ein Acetyl-Carrier-Protein (ACP); die FS-Synthese ist ein zyklischer Prozess zur Bildung von Ketten mit 16 oder 18 C-Atomen
- Bildung von Glycerin: Glycerin-3-Phosphat entsteht durch Reduktion von Triose-3-Phosphat;

http://images.google.de/imgres?imgurl=http://biochemie.web.med.uni-muenchen.de/biotutor_2004/FS_synthese.jpg&imgrefur...



Aufbau von Triglyceriden



Synthese sekundärer Pflanzenstoffe

~ 200 000 Verbindungen!!

- Verbindungen ohne direkte Rolle in Photosynthese, Atmung, Transport, Nährstoffassimilation, Synthese von primären Inhaltsstoffen
- Begrenztes artenspezifisches Vorkommen
- Hauptgruppen
 - Terpene (mehrere 1000)
 - Phenolische Verbindungen (mehrere 1000)
 - Stickstoffhaltige Verbindungen (mehrere 10 000)

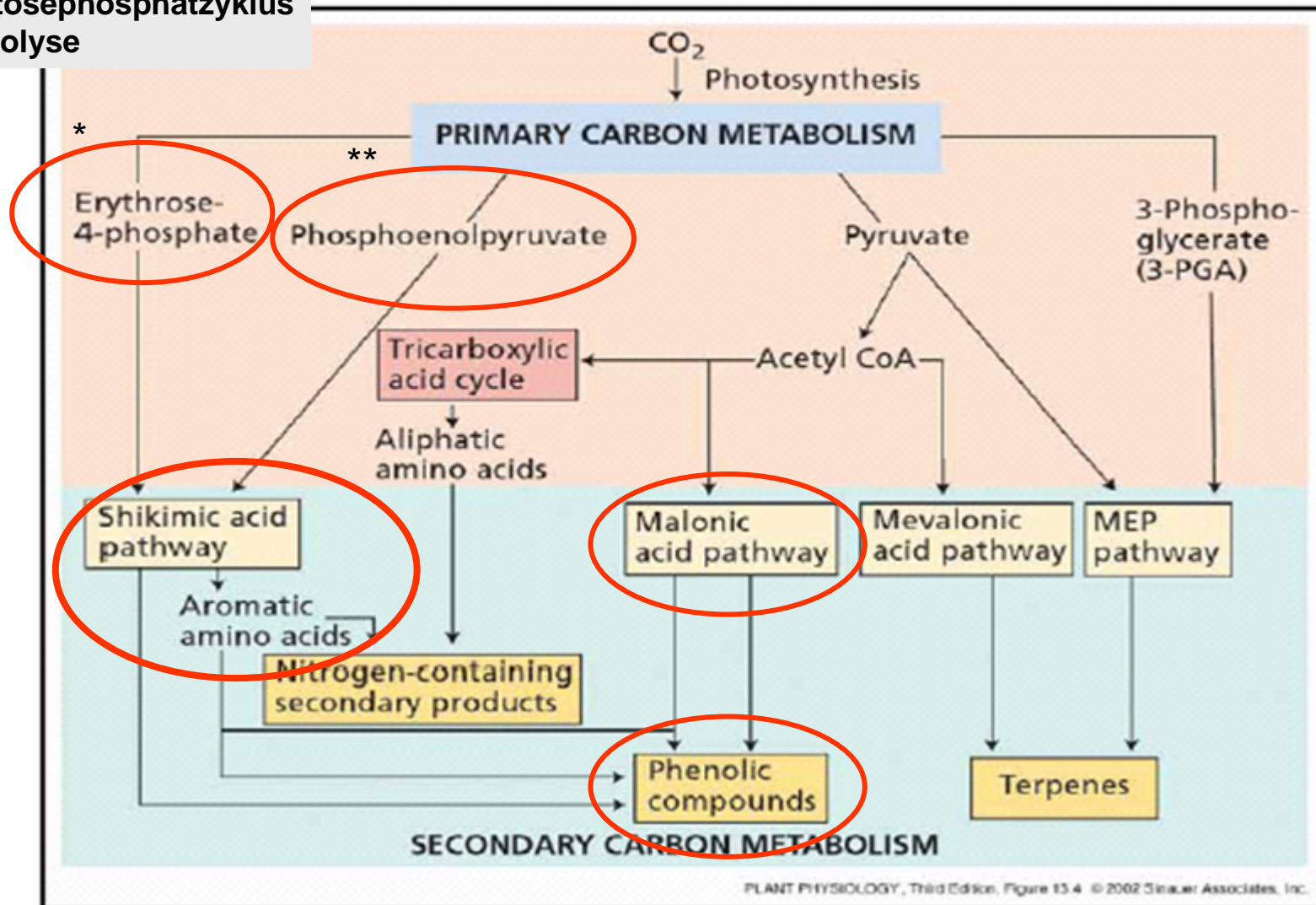
Funktionen sekundärer Pflanzenstoffe: Kommunikation und Interaktion mit der abiotischen und biotischen Umwelt

- **Biotische Umwelt; z.B.**
 - Abwehr von pathogenen Pilzen und Bakterien
 - Anlockung von symbiotischen Bakterien und Pilzen
 - Pflanze/Pflanze-Interaktion
- **Abiotische Umwelt und mechanische Stabilität (Beispiele)**
 - Schutz gegen UV-Strahlung (Flavonoide, Hydroxyzimtsäure)
 - Schutz gegen intensive Lichteinstahlung (Carotine, Xanthophylle)
 - Schutz gegen cutikuläre Transpiration (Cutin, Suberin, Wachse)
 - Stabilität (durch Lignin)

Stoffwechselwege der Synthese

* aus dem Pentosephosphatzzyklus

** aus der Glykolyse



Relative antioxidative Aktivität (TEAC - Wert) von antioxidativen Verbindungen (Böhm et al., 1999)

Substanz	Quelle	TEAC-Wert (mmol L ⁻¹)
Vitamine		
Vitamin C	Obst, Gemüse	1,0 ± 0,02
Vitamin E	Getreide, Nüsse, Öle	1,0 ± 0,03
Anthocyanidine		
Oenin	Rote Trauben	1,8 ± 0,02
Cyanidin	Trauben, Himbeeren, Erdbeeren	4,4 ± 0,12
Flavon-3-ole		
Quercetin	Äpfel, Beeren, Rote Trauben	4,7 ± 0,10
Kämpferol	Grapefruit	1,3 ± 0,08
Flavone		
Rutin	Äpfel, Beeren, Rote Trauben	2,4 ± 0,02
Hydroxyzimtsäuren		
Kaffeensäure	Weißer Trauben	1,3 ± 0,01
Chlorogensäure	Äpfel, Birnen, Kirschen, Pfirsiche	1,3 ± 0,02
P-Cumarsäure	Weißer Trauben	2,2 ± 0,06

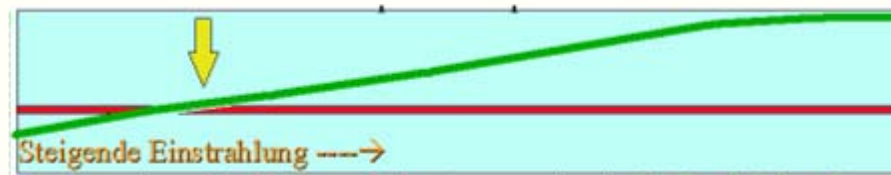
Gemüse- und Obstprodukte als Nahrungsergänzungsmittel?

(Watzl u. Rechkemmer, 2002)

- Als Pulver, Konzentrate, Tabletten...
- Probleme:
 - Unzulässige Übertragung bekannter gesundheitlichen Wirkungen von Obst und Gemüse auf Extrakte
 - Unzulässige Übertragung von Angaben zu wertgebenden Inhaltsstoffen von Obst bzw. Gemüse auf Extrakte
 - Nachgewiesene in vitro - Effekte können nicht direkt auf den Menschen übertragen werden
- Ökonomische Aspekte (Kosten):
 - 1 Rotweintablette (15 mg Anthocyane): 0,29 €
 - 1 Glas (200ml) Traubensaft (bis 68 mg Anthocyane): ca. 0,20 €
 - Gemüse- und Obstkapseln nach Herstellerempfehlung eingenommen: ca. 1,70 €/Tag

Einflussfaktoren auf die Photosynthese

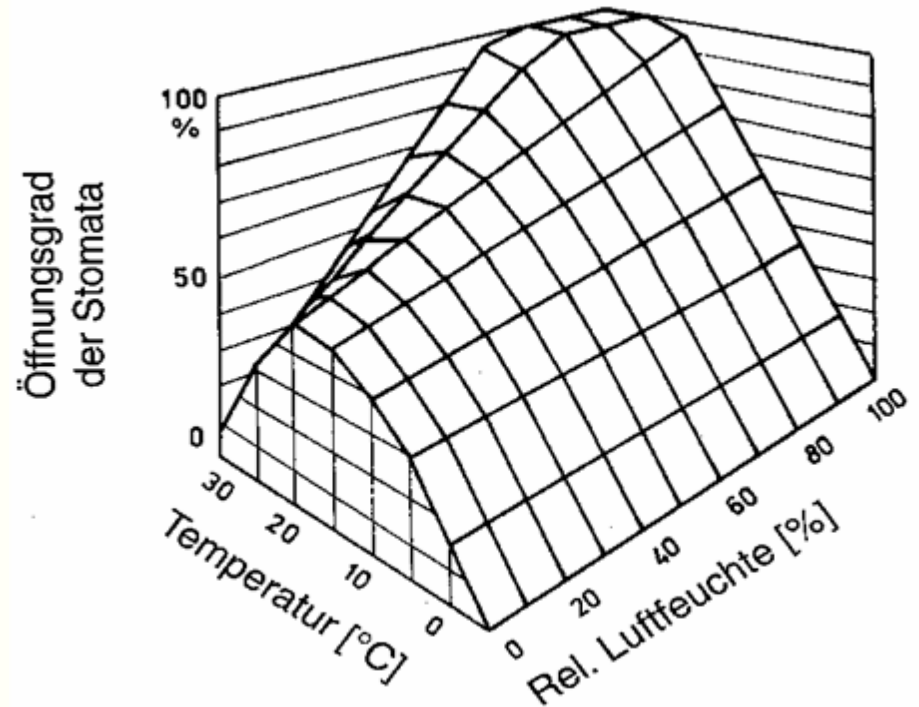
- PS-Substanzproduktion wird durch den Faktor bestimmt, der sich jeweils im Minimum befindet, d.h. am weitesten vom Optimum entfernt ist → Gesetz der begrenzenden Faktoren
- **Licht:**
 - mit zunehmender Bestrahlungsstärke steigt die PS-Rate bis zu einem Sättigungswert an; Sättigungswerte sind für die an niedrige Intensitäten angepassten Schattenpflanzen geringer und werden eher erreicht als bei den an höhere Intensitäten angepassten Sonnenpflanzen
 - der Lichtkompensationspunkt charakterisiert die Intensität, bei welcher der O₂-Verbrauch der Atmung (rot) durch die mit der Strahlung steigende O₂-Produktion der Photosynthese (grün) kompensiert wird.



<https://www.uni-hohenheim.de/lehre370/weinbau/biologie/bio2.htm>

Einflussfaktoren auf die Photosynthese

- **Luftfeuchte:** Öffnungszustand der Spaltöffnung hängt u.a. von der Luftfeuchte ab → Einfluss auf die PS-Rate



<http://www.uni-koblenz.de/~odsbcg/baeume97/bsauerst.htm>

Einflussfaktoren auf die Photosynthese

- **Kohlendioxid:** wird aufgrund des konstanten Gehaltes in der Luft (0,03%) immer dann zum begrenzenden Faktor, wenn sich alle übrigen Außenfaktoren ihrem Optimum nähern
- **Temperatur:** Q_{10} -Werte liegen bei > 2 , d.h. die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch eine Temperaturerhöhung um 10 K auf das Doppelte oder mehr gesteigert, die Verlaufskurve ist eine Optimumkurve: Opt: 20...30°C; Min.: bei 0°C

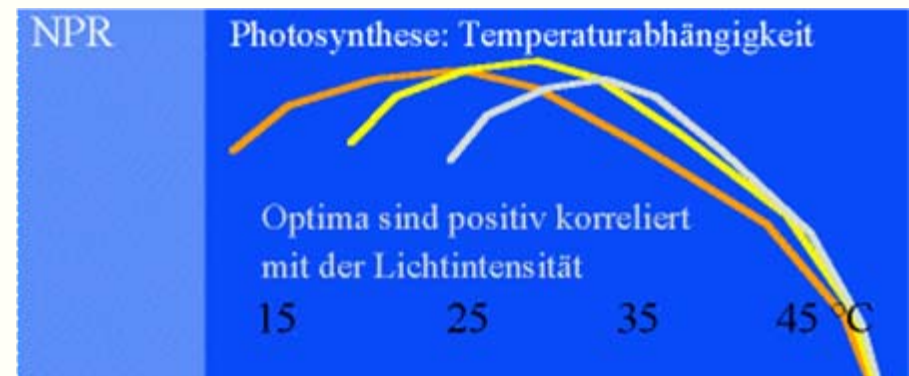
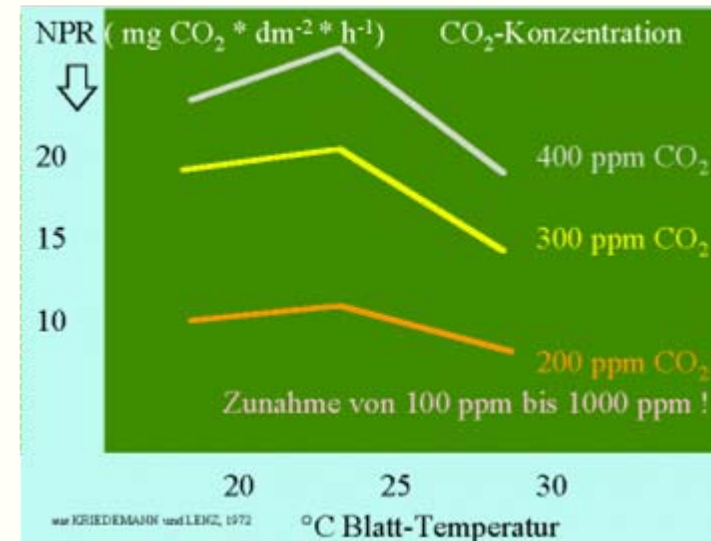
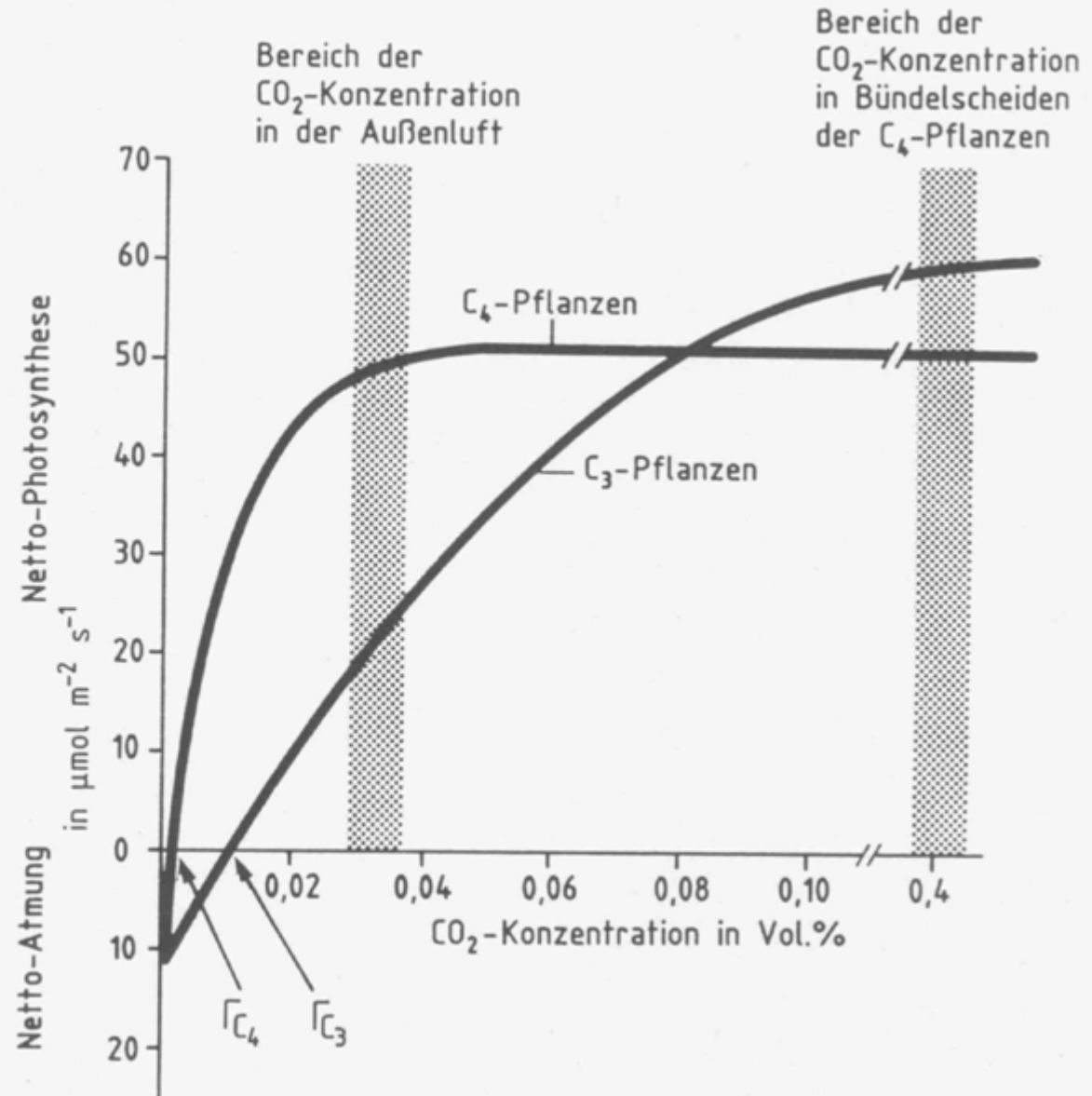


Abb. 23-17. Abhängigkeit der Photosynthese bei Lichtsättigung von der CO_2 -Konzentration in der Umgebung. Die gerasterten Flächen markieren den Bereich der CO_2 -Konzentration in normaler Außenluft bzw. in den Bündelscheiden der C_4 -Pflanzen. Γ_{C_4} bzw. Γ_{C_3} : die CO_2 -Kompensationspunkte der entsprechenden Pflanzentypen (unter Verwendung von Daten von BERRY und DOWNTON).

(aus: Lüttge et al., 1988)



Temperaturabhängigkeit der Netto – Photosynthese bei natürlicher CO₂ – Konzentration und Lichtsättigung

(aus: Lüttge et al., 1988)

Pflanzentyp	Temperaturminimum in °C (Kältgrenze)	Temperaturoptimum in °C	Temperaturmaximum in °C (Hitzegrenze)
C4 – Pflanzen heißer Standorte	5 bis 7	35 bis 45	50 bis 60
Landwirtschaftliche Nutzpflanzen (C3)	-2 bis etwas über 0	20 bis 30	40 bis 50
Sonnenpflanzen	-2 bis 0	20 bis 30	40 bis 50
Schattenpflanzen	-2 bis 0	10 bis 20	40 bis 50
Immergrüne Laubbäume der Tropen	0 bis 5	25 bis 30	45 bis 50
Laubbäume gemäßigter Breiten	-3 bis 1-	15 bis 25	40 bis 45
Nadelbäume	-5 bis –3	10 bis 25	35 bis 45
Flechten kalter Gebiete	-15 bis –10	5 bis 15	20 bis 30