

Pflanzenproduktion in den Tropen / Subtropen

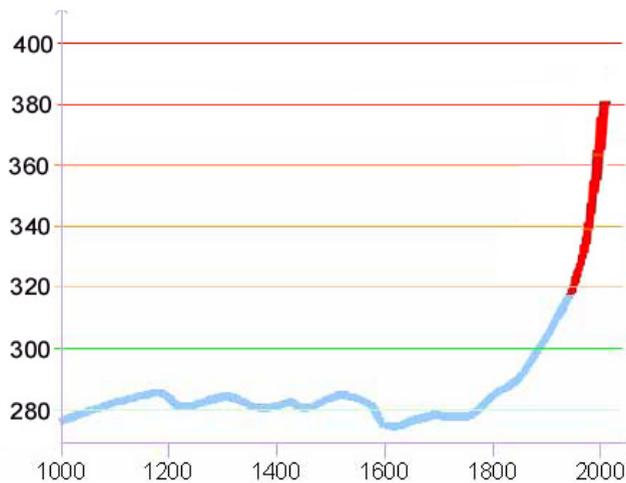
Bedeutung der Lichtatmung: C3, C4 und CAM- Weg

Andreas Lössl

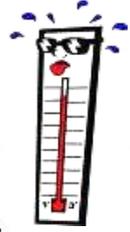
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie
Universitaet fuer Bodenkultur Wien

Zunahme der CO₂ Konzentration

- Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre in ppm



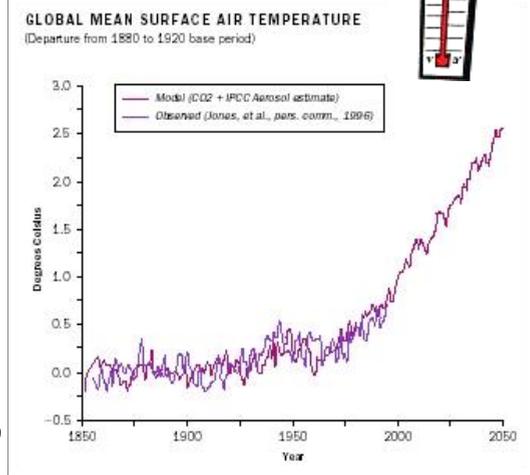
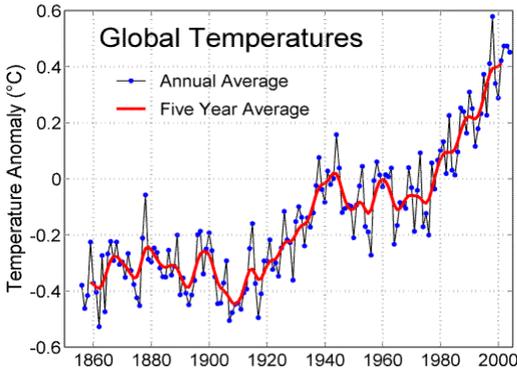
Geschätzte Temperaturentwicklung



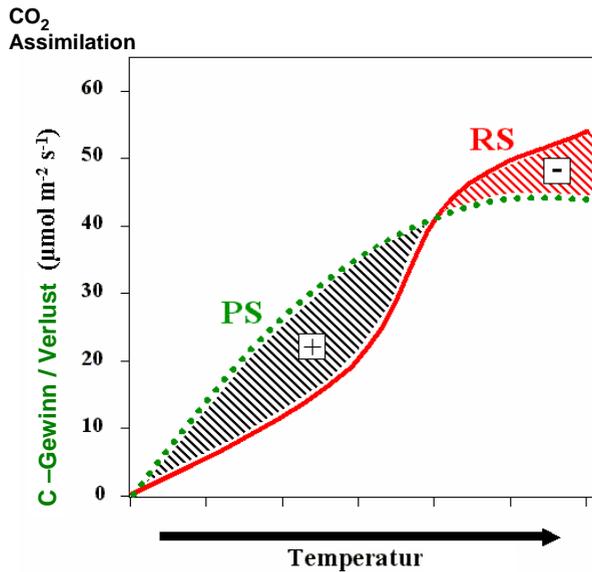
■ Ist-Zustand

.. und

Prognose bis 2050

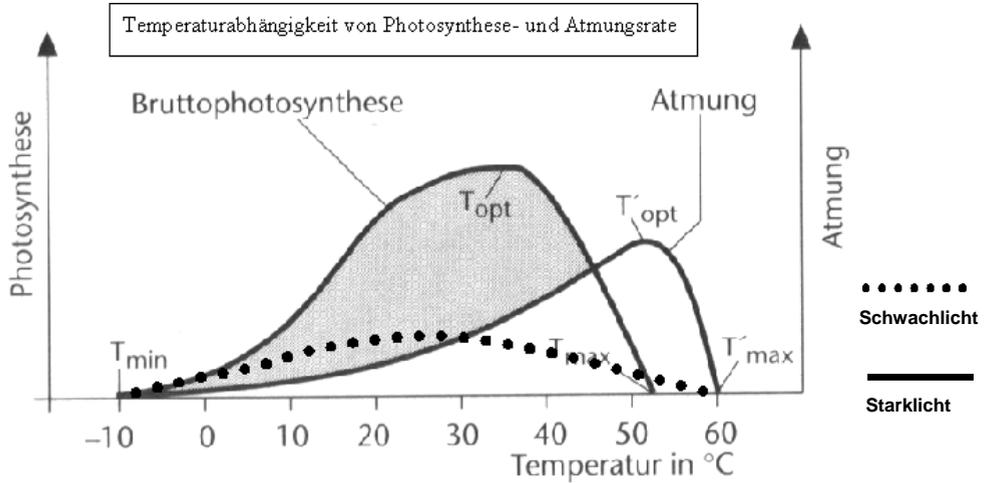


Respiration - Photosynthese in Abh. d. Temp



Die Respiration (RS) überwiegt die Photosynthese (PS) bei hohen Temperaturen

Optima von PS und Atmung



Optima:

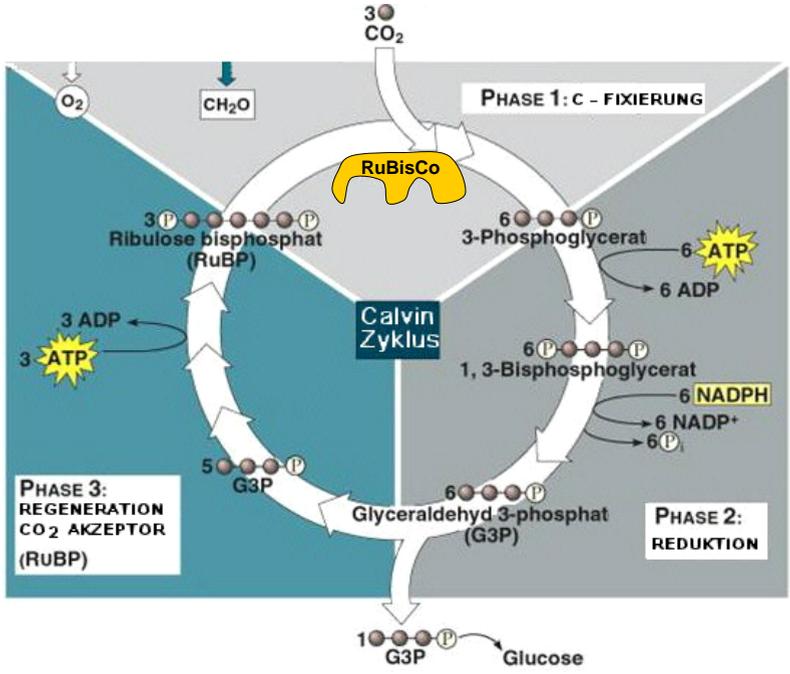
- C3- Sonnenpflanzen: 20°C - 30°C
- C3- Schattenpflanzen, Meeresalgen, Moos, Kräuter: 10°C - 20°C
- C4-Pflanzen. > 30°C

Eindringen des CO₂ via Stomata

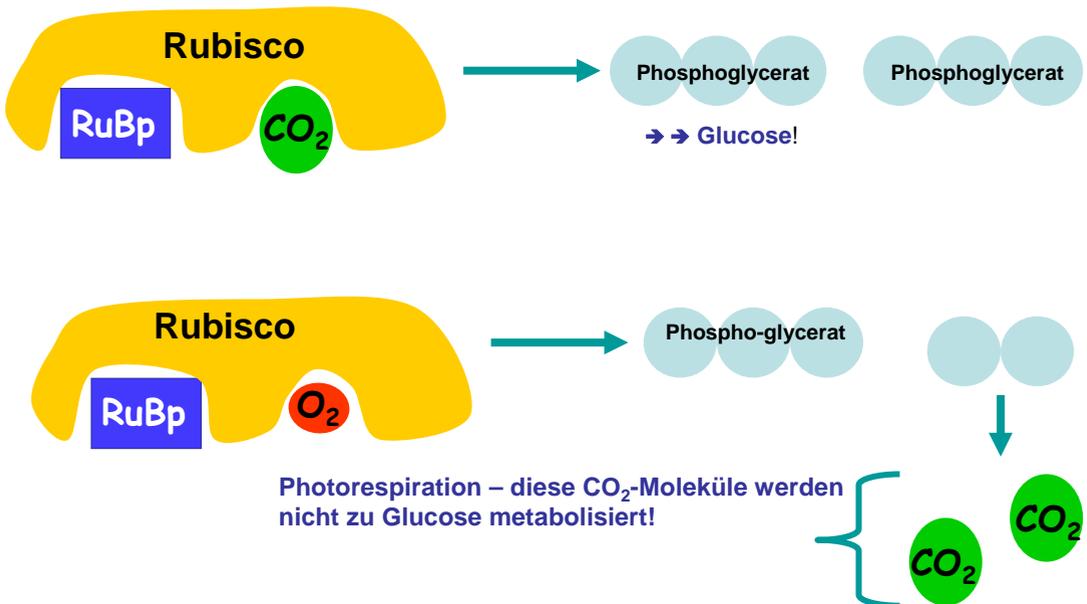
- Bei Trockenheit und hohen Temperaturen müssen Pflanzen sich vor Austrocknung schützen
 - → Spaltenschluss
 - CO₂ Konz.,
 - O₂ Konz.
 - → Welche Folgen ergeben sich für die C-Assimilation?



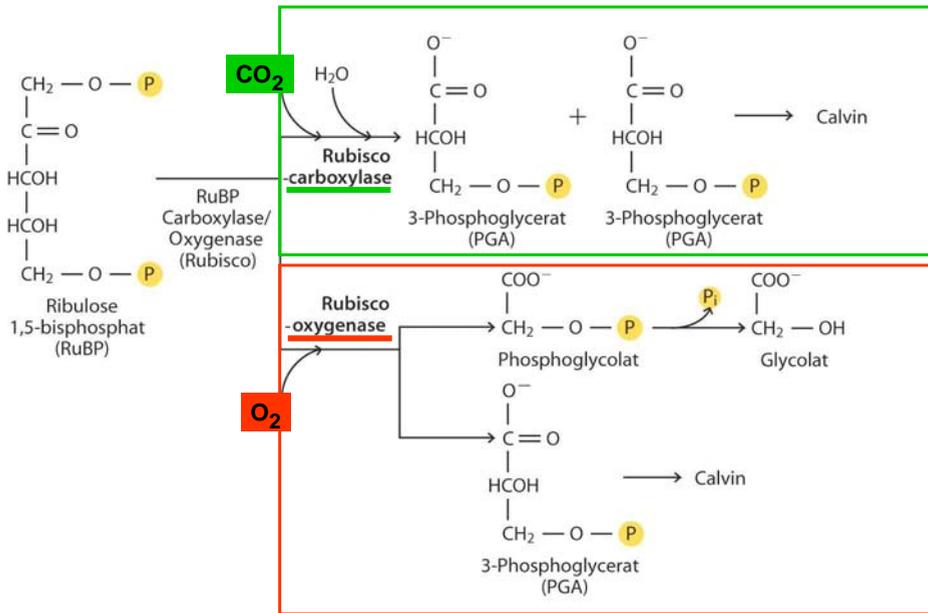
Dunkelreaktion: Calvin-Benson Zyklus



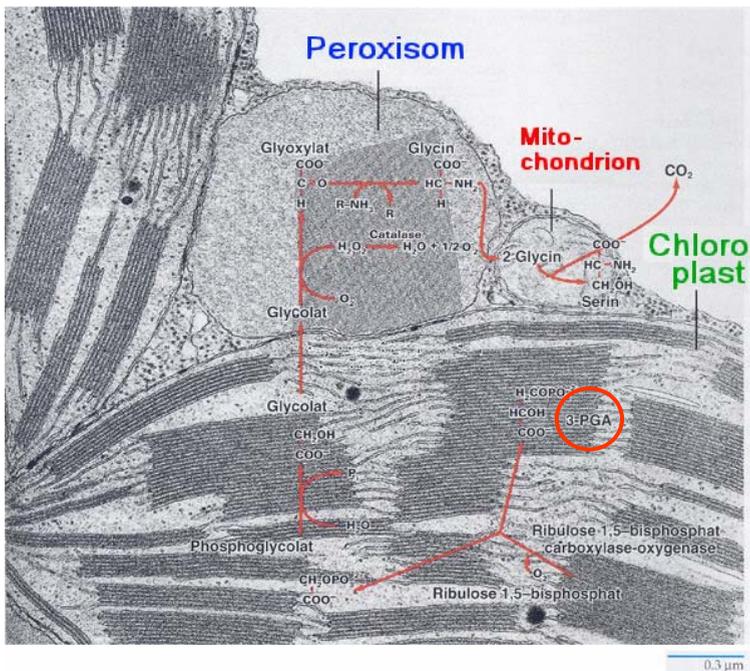
RuBisCO



RuBisCO: 2 Wege

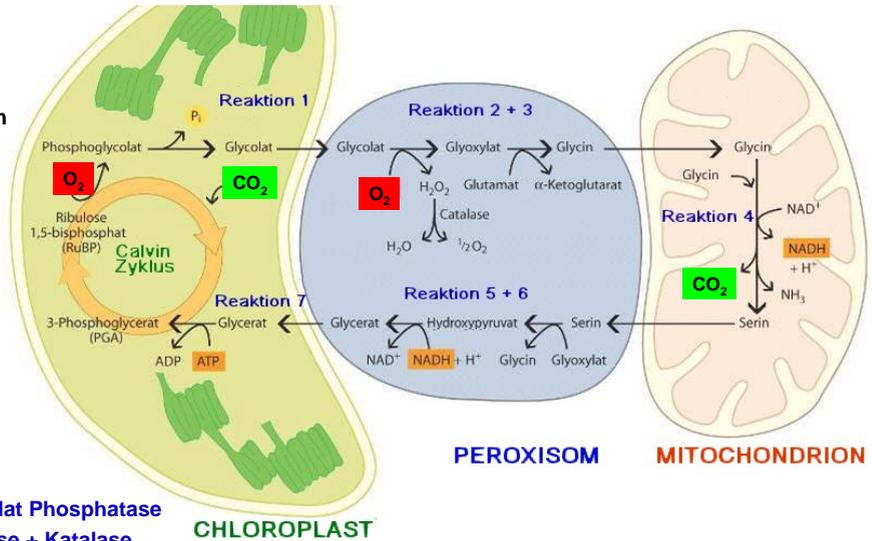


Zusammenspiel der Organellen e- mikroskopiert



Photorespiration *en detail*:

- Der Weg führt über die Peroxisomen auch wieder zurück



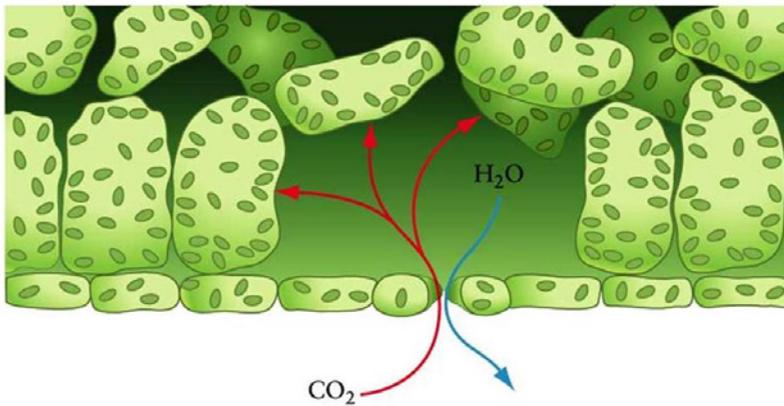
Reaktionen

- 1: Phosphoglycolat Phosphatase
- 2: Glycolat-Oxidase + Katalase
- 3: Glutamat: Glyoxylat Aminotransferase
- 4: Glycin Decarboxylase und Serin-Hydroxymethyl Transferase
- 5: Serin: Glyoxylat Aminotransferase
- 6: Hydroxypyruvat Reductase
- 7: Glycerat Kinase

Photorespiration

- Die RuBisCO: Enzym mit hoher Promiskuität:
 - bindet CO_2 genauso gut wie O_2
- Ursache: Ähnliche Struktur: $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ und $\text{O}=\text{O}$
- Konkurrenz zw. O_2 und CO_2 um das Enzym.
 - Da O_2 ein Nebenprodukt der Photoreaktion ist
- Wenn das Enzym O_2 bindet,
 - wird Ribulose durch Oxidation verbraucht anstatt carboxyliert.
- Sobald $[\text{CO}_2] < 50 \text{ ppm}$
 - Sättigung der RuBisCO mit O_2
 - Unterbrechung von C3 Zyklus und CO_2 -Fixierung.
- Sonniger Tag: Verlust bis zu 50% der Glucose-Bildung
 - da stattdessen CO_2 produziert wird.

Stomata



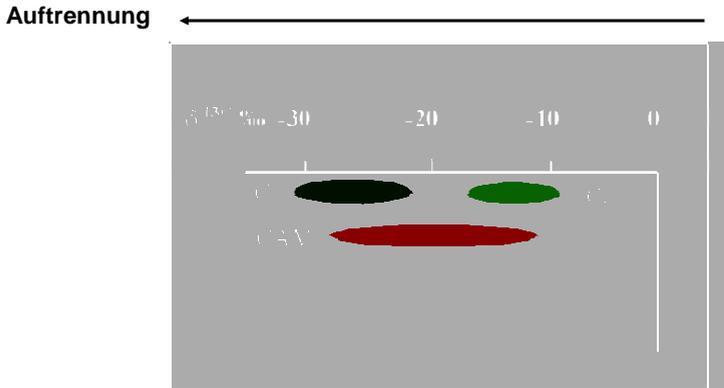
- V.a Pflanzen an ariden Standorten haben ständig den Zwiespalt:
 - Entweder sie öffnen ihre Stomata zum Gas-Austausch oder
 - sie schließen sie, um Wasserverlust zu minimieren.
 - → O_2 Partialdruck ↑
 - → Photorespiration ↑
 - → Verluste der C-Assimilation ↑

Photorespiration...

- ..ein ungünstiger Mechanismus für die Pflanze
- → es gibt mindestens 2 Lösungen

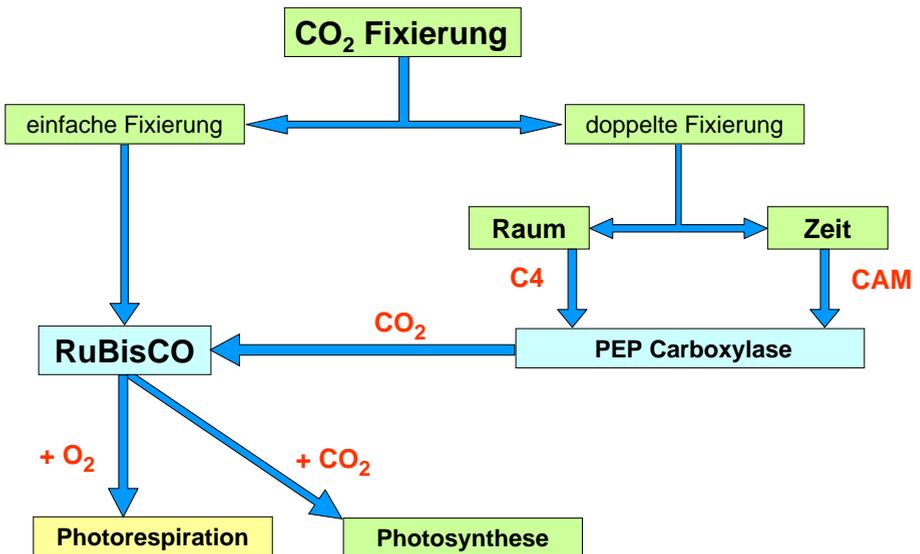


3 Wege: C3 C4 CAM dargestellt via markiertem C:



- Analyse der primären Produkte der Photosynthese:
 - "Pulse & chase" Experimente
 - Begasung der Pflanzen mit ^{14}C
 - Elektrophoretischer Nachweis der Entstehung von C3 und C4 Gerüsten

Lösung des Problems der Photorespiration: C3, C4, CAM



- Trennung der CO_2 Assimilation von der Lichtreaktion und Entstehung von O_2

Der C4 Zyklus (=Hatch-Slack Zyklus)

- Einige Pflanzen:
 - Mais
 - Zuckerrohr
 - Amaranth
 - Sorghum
 entwickelten einen alternativen Weg:

- Die räumliche Trennung
 - zw. Photoolyse (O_2 -Entstehung) und CO_2 Fixierung

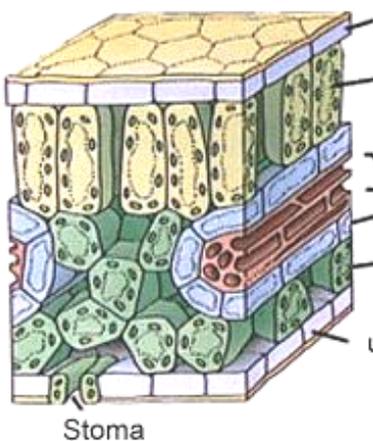
- C4 Pflanzen:
 - Aneignung von CO_2 bei sehr geringen CO_2 -Konzentrationen im Innern des Blatts und
 - → Photosynthese bei geschlossenen Spaltöffnungen
 - Diese Pflanzen können sich erlauben,
 - tagsüber die Spaltöffnungen meist geschlossen zu halten
 - → Wasserverdunstung ↓



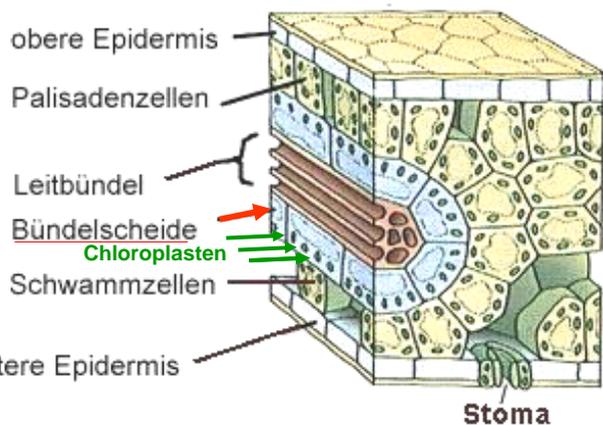
Vergleich im Zellaufbau C3 vs. C4

Blattaufbau

bei C3-Pflanzen

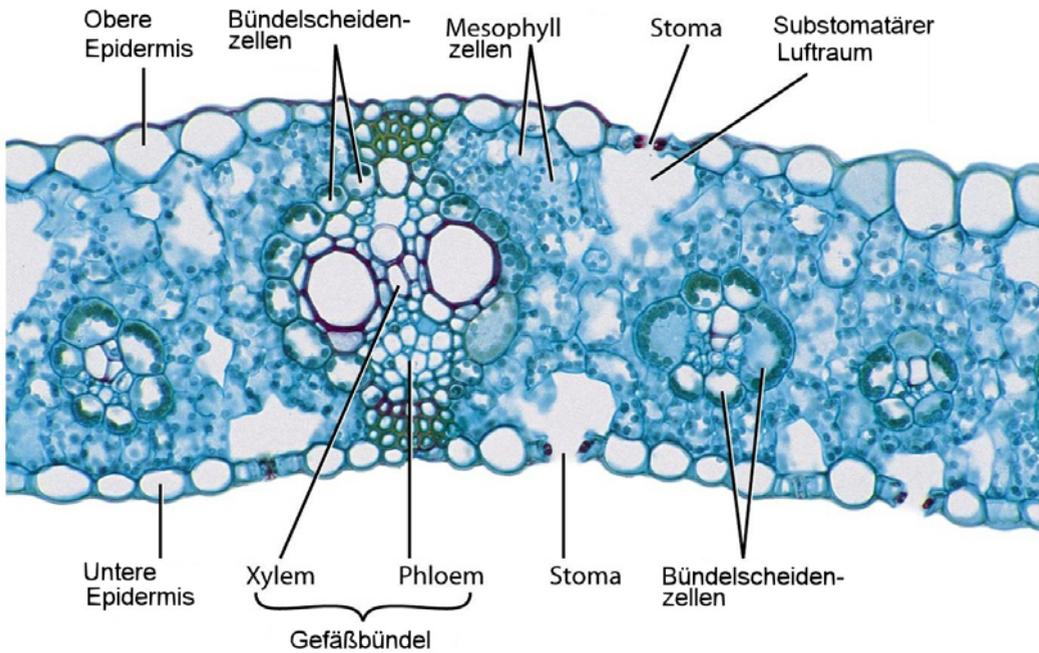


bei C4-Pflanzen



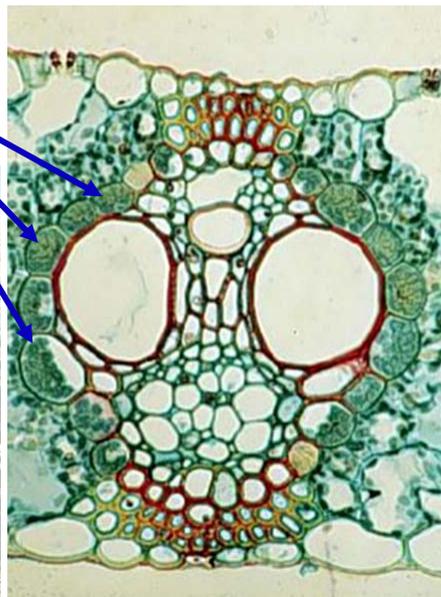
- Chloroplasten in der Bündelscheide

Gewebeschnitt C4 Pflanze



Gewebeschnitt Mais

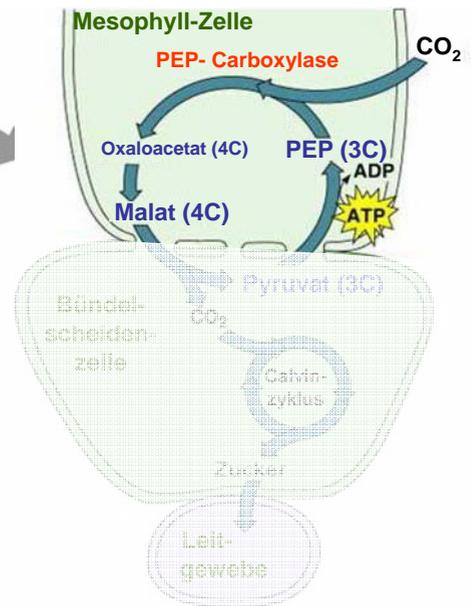
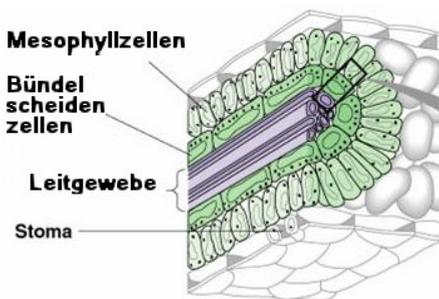
C Fixierung durch die RuBisCO
in Bündelscheidenzellen



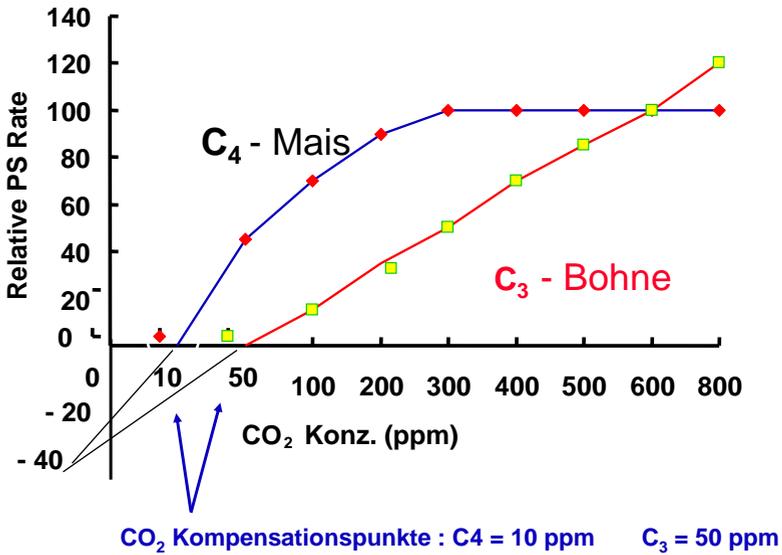
C4

- In C4 Pflanzen: die C Fixierung räumlich getrennt von den photochemischen Reaktionen.
- C Fixierung durch die RuBisCO in Bündelscheidenzellen
- O₂ Produktion bei PS in Mesophyllzellen, die viele Chloroplasten enthalten
- → Separation der Licht-Reaktion von der Dunkel-Reaktion
 - Der steigende O₂ –Druck stört hier die RuBisCO weniger
 - **Reduzierte Photorespiration und erhöhte Photosynthese-Rate**

Der C4 Weg



- **MESOPHYLL:**
- CO₂ → HCO₃⁻ Kondensation mit PEP → Oxaloacetat.
- Oxaloacetat + NADPH → Malat.
- Plasmodesmen → Bündelscheidenzellen:
- Malat-Decarboxylierung → Pyruvat + CO₂ →
- CO₂-Fixierung durch RuBisCO im C3 Weg.
- **BiLANZ:**
- 5 ATP für CO₂ Fixierung (vs. 3 in C3 Zyklus)
- und 2 NADPH (jene für die Reduktion des Oxal-Acetats werden bei der Decarboxylierung des Malats regeneriert).
- **VORTEILE** vs. Calvin Cyclus:
 - Erhöht Photosynthese und reduziert die Photorespiration
 - **NACHTEILE:**
 - Benötigt mehr Energie, (→ v.a. bei Tropenpflanzen)

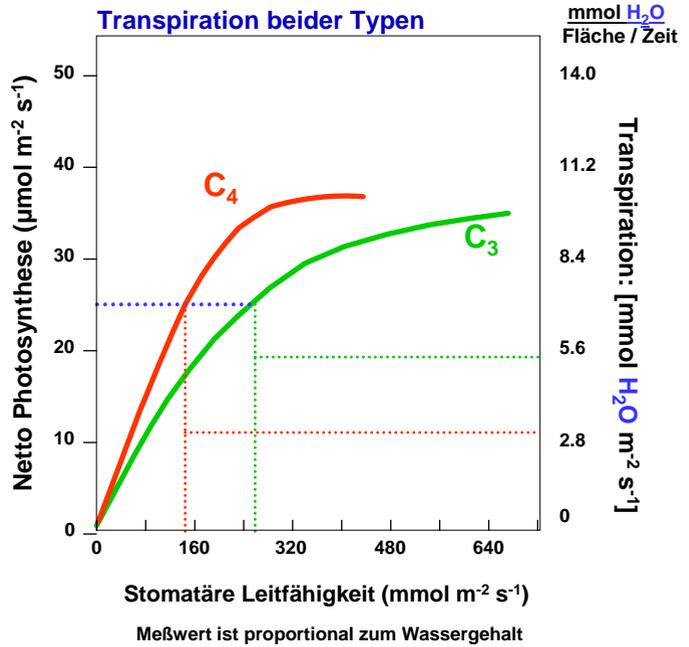
CO₂ Kompensationspunkte C3 vs. C4 Pflanzen

Vergleich C3 C4

Variable	C3	C4
Photorespiration	stark	minimal
Calvin Zyklus?	Ja	Ja
Primärer CO ₂ -Akzeptor	RuBP	PEP
CO ₂ -Fixierendes Enzym	RuBisCo	PEP Carboxylase
Erstes Produkt der CO ₂ Fix.	3PG	Oxalacetat
Affinität der Carboxylase zum CO ₂	mäßig	hoch
Photosynthet. Zellen	Mesophyll	Bündelscheiden+Mesophyll
Chloroplasten-Typen	1	2

Hohe Transpirationsrate bei C3 Weg

- Für eine gegebene Wachstumsrate
- benötigen C₃ Arten nahezu doppelt soviel Wasser wie
- C₄ Species.
- → C₃: geringere Wassereffizienz

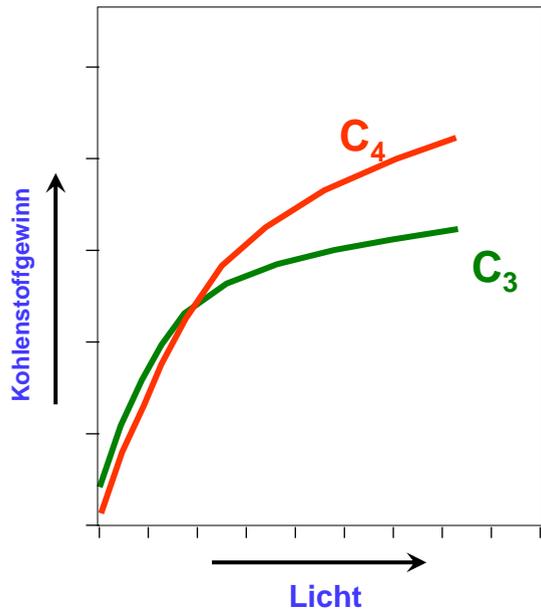


C4 und C3 –Licht Sättigung

Photolyse des H₂O → O₂
führt zu hohem O₂ Partialdruck

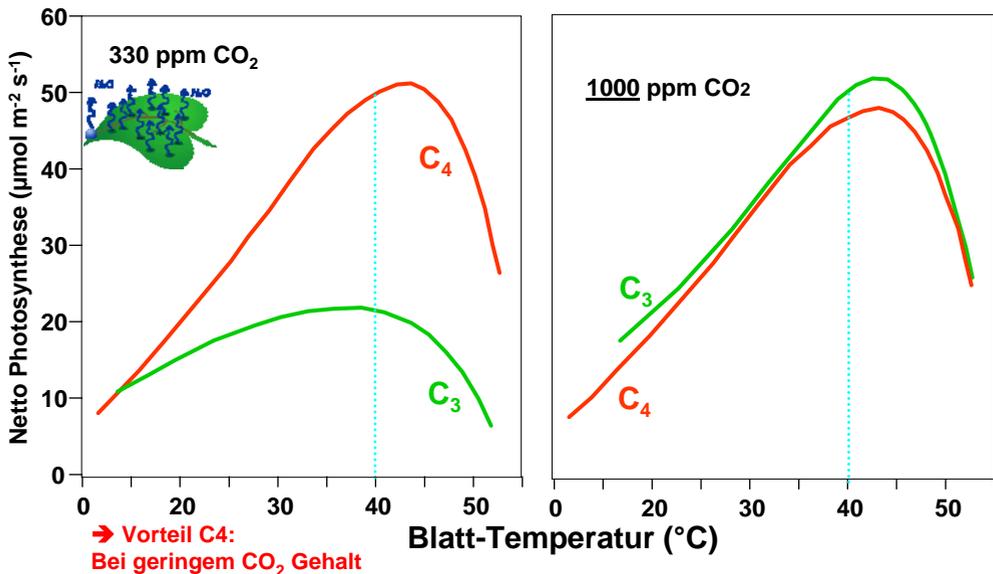
C₃-Species erreichen schneller den Licht-sättigungspunkt

→ Vorteil C₃
nur in **dunkler** Umgebung



C3 und C4 - Temperatur

- 1. Die Photorespiration ist sehr Temperatur-sensitiv: → Viel stärker bei hoher Temperatur
- 2. O_2 ist besser löslich als CO_2 bei hoher Temp.
- 3. Unterschied am Enzym: Kinetik O_2 ist weniger temp.-sensitiv als Kinetik für CO_2



CO_2 -Konzentration

- Das CO_2 -Angebot der freien Atmosphäre ist suboptimal und stellt bei großer Lichtintensität den begrenzenden Faktor dar.
 - Daher werden manche Pflanzen in Gewächshäusern mit CO_2 begast. Die CO_2 -Konzentration wird hier bis auf 0,1%-Vol. angehoben, einige Pflanzen sogar mit 1,0%-Vol.
 - Durch die gezielte Anreicherung der Luft im Gewächshaus mit CO_2 kann das Wachstum der Pflanzen um 40% gesteigert werden
 - Wird die CO_2 -Konzentration zu weit angehoben, so wirkt das CO_2 als Gift, die Pflanzen werden geschädigt.
- Am Boden ist die CO_2 -Konzentration höher als in der Luft
 - → Einfluss auf Vegation
- Konz. [CO_2] an K.Punkt: Photosyntheserate = 0
 - C_3 normalerweise: 50 - 100 ppm
 - C_4 : normalerweise: 5 - 15 ppm

C4 und C3 Weg– Einfluss der CO₂ Konzentration

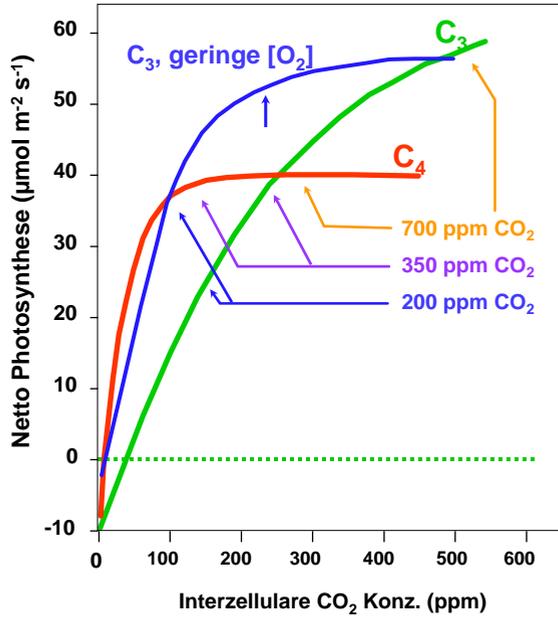
Wettbewerbsvorteile der C3 und C4-Pflanzen im CO₂ Gradienten

Geringer CO₂: Vorteil C4 - Nachteil C3: da Konkurrenz zw. CO₂ und O₂ an RuBisCO!

Durchschnittlicher CO₂: Netto Wachstum etwa gleich, aber C3: Hoher H₂O-Verbrauch

Hoher CO₂: Vorteil C3, da C4 geringen CO₂-Sättigungspunkt haben um damit die Lichtatmung reduzieren zu können (günstigeres CO₂ : O₂-Verhältnis)

Bei geringer O₂ Konz. können C3 Pflanzen aufholen



CAM Photorespiration



CAM Pflanzen

CAM=Crassulacean Acid Metabolism



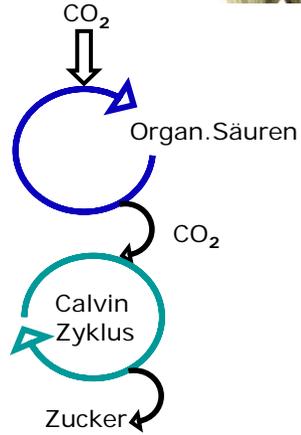
- Wüstenpflanzen: Kakteen, Succulenten, Ananas,...
- Schließen die Stomata tagsüber, um Wasserverlust zu minimieren. Stomata werden nachts geöffnet.



- **Nachts:**
CO₂ Einlagerung in organischen Säuren



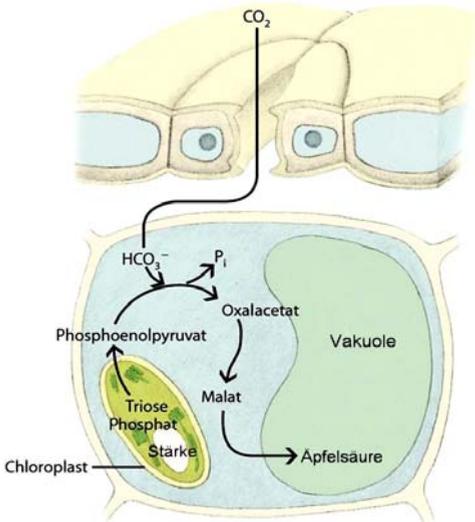
- **Tags:**
CO₂ Abgabe aus organischen Säuren und Verwendung im Calvin-Zyklus



CAM Weg



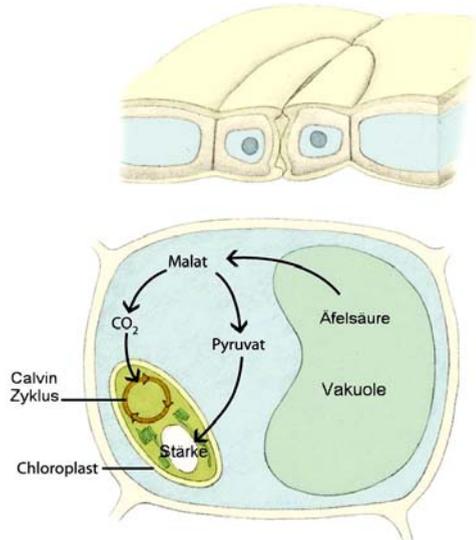
NACHTs



NACHTS: Stomata offen



TAGs



TAG: Stomata geschlossen