

Biochemie von Pflanzeninhaltsstoffen

für Studierende der Agrar-, Lebensmittel- und
Umweltnaturwissenschaften im 3.Semester

WS 2004/5

nikolaus.amrhein@ipw.biol.ethz.ch

Programm

- 12.01.2005: Sekundär- vs. Primärstoffwechsel. Die pflanzliche Zellwand: Cellulose, Lignin, Suberin, Cutin
- 19.01.2005: Shikimisäureweg, Phenylpropane, Flavonoide, Stilbene, Tannine
- 26.01.2005: Isoprenoide (Terpenoide)
- 02.02.2005: Alkaloide, cyanogene Glykoside, Glucosinolate;
„Über das Opium, das den Schmerz besiegt und die Sucht weckt“
- 22.12.2004: Ökologie, Physiologie und Biochemie von C₄ und CAM Pflanzen

1.Lektion

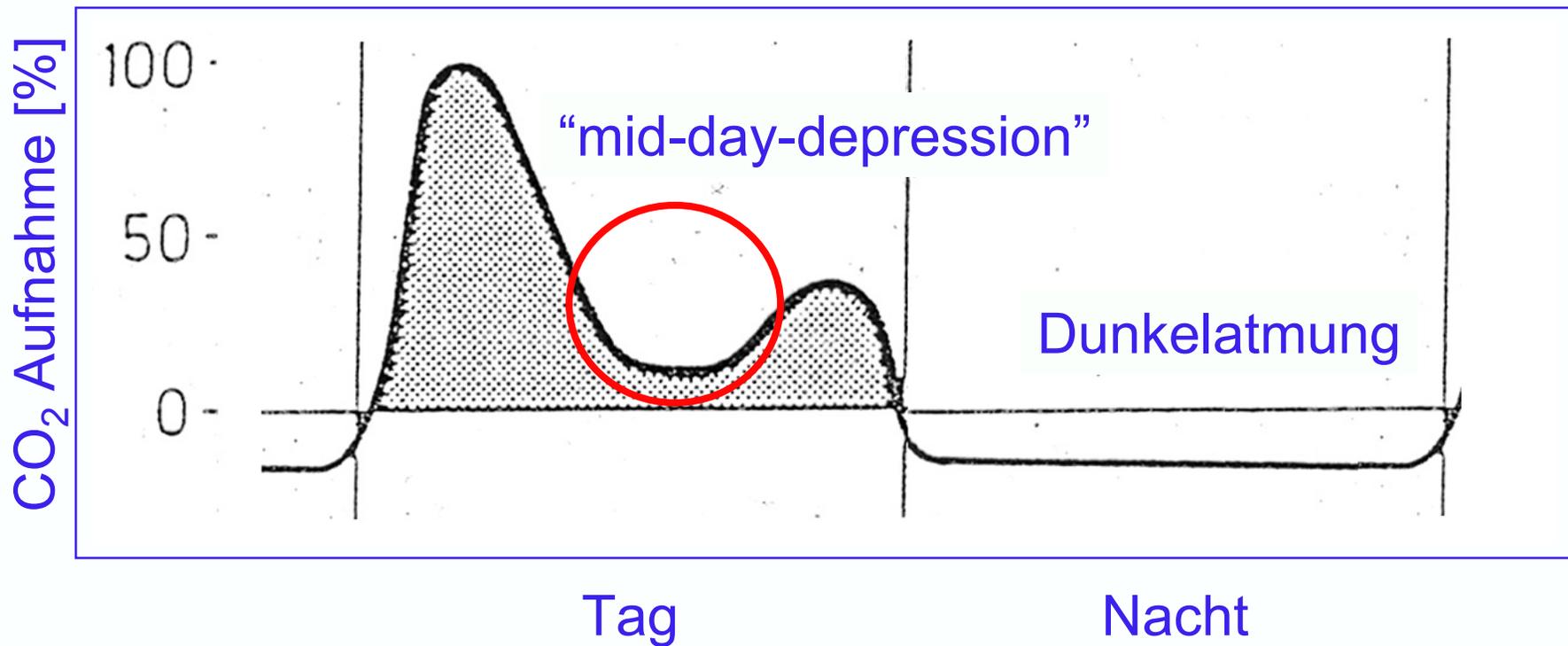
22.12.2004

- Eine vergleichende Betrachtung der Ökologie, Physiologie und Biochemie von C₄ und CAM Pflanzen
(Pflanzenbiochemie: S. 230 – 249)

(Ein Nachtrag zum 1. Semester)

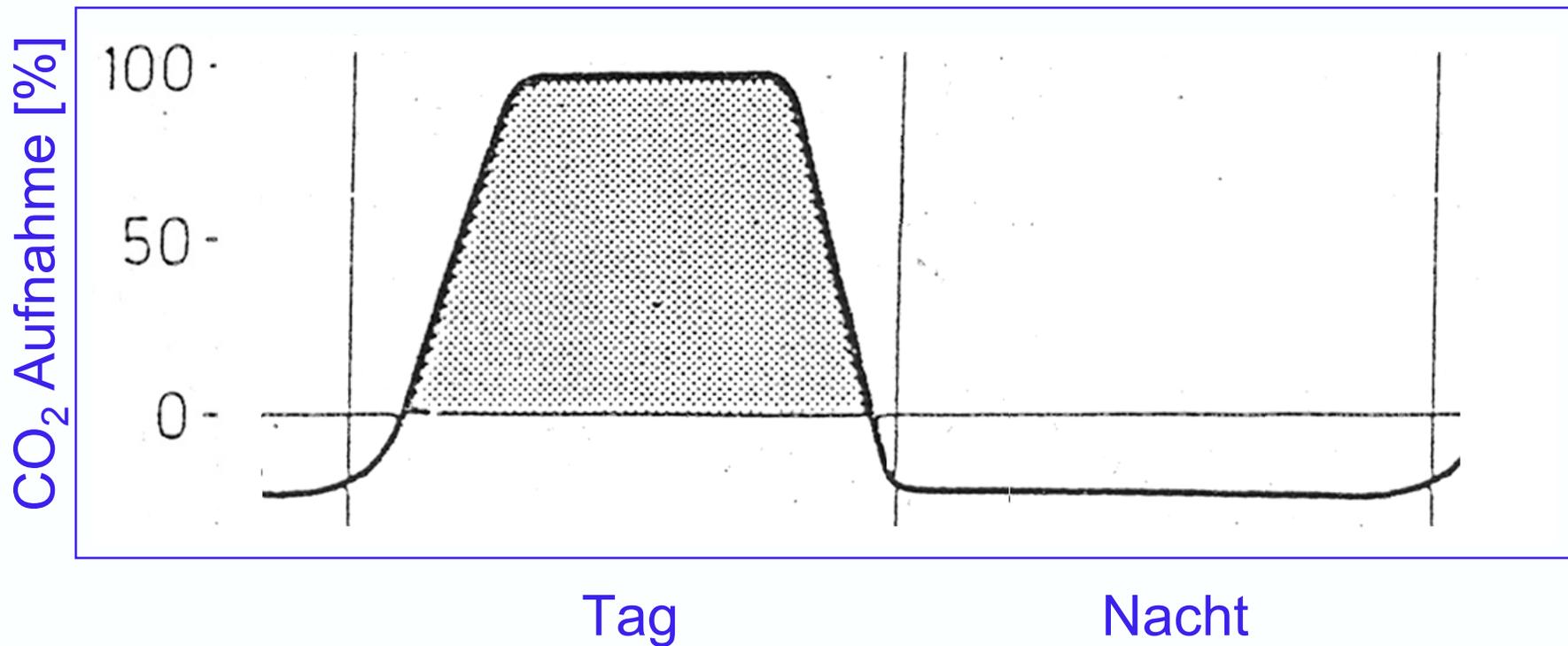
Photosyntheseaktivitäten im Vergleich

C_3 Pflanze in der Wüste Negev



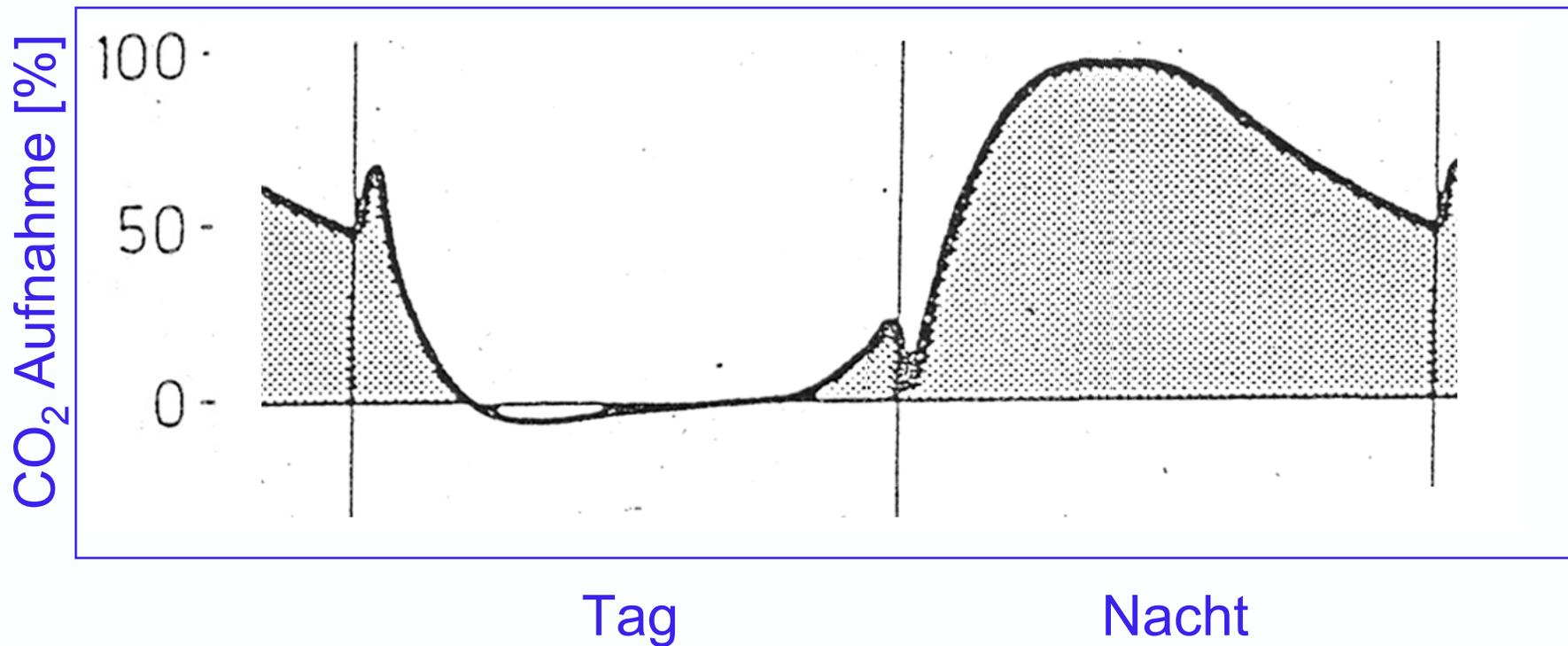
Photosyntheseaktivitäten im Vergleich

C₄ Pflanze in der Wüste Negev



Photosyntheseaktivitäten im Vergleich

CAM Pflanze in der Wüste Negev



Verändert aus: U. Lüttge, M. Kluge, G. Bauer (2002): Botanik, 4., verbesserte Auflage

Wasser-/Kohlenstoffökonomie

	C ₃	C ₄	CAM
Transpirationsquotient (g H ₂ O/ g gebundenes C)	hoch 450 - 950	niedrig 250 - 350	sehr niedrig 18 - 100
maximale Wachstumsrate (g Trockenmasse/ m ² Blattfläche und Tag)	mittel 50 - 200	hoch 400 - 500	sehr niedrig 1.5 - 1.8

Photosyntheseleistungen

	C ₃	C ₄	CAM
maximale Photosyntheserate (mg CO ₂ /m ² Blattfläche und sec)	niedrig 0.4 - 1.1	hoch 1.1 - 2.2	sehr tief 0.03 - 0.36
Lichtsättigung (W/m ²)	niedrig ≤ 200	hoch 400 - 600	
Photorespiration	ja (bis 30%)	nein	
Temperatur-optimum	10 - 25 °C	30 - 45 °C	

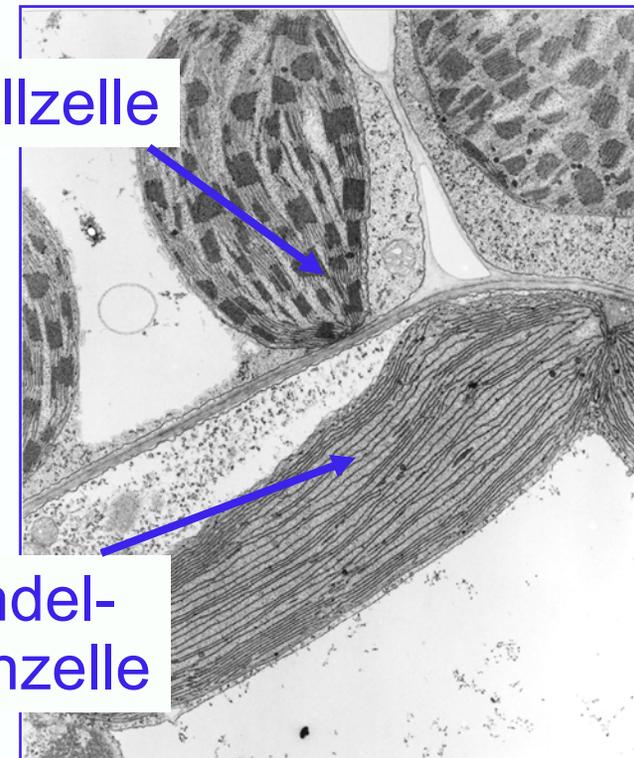
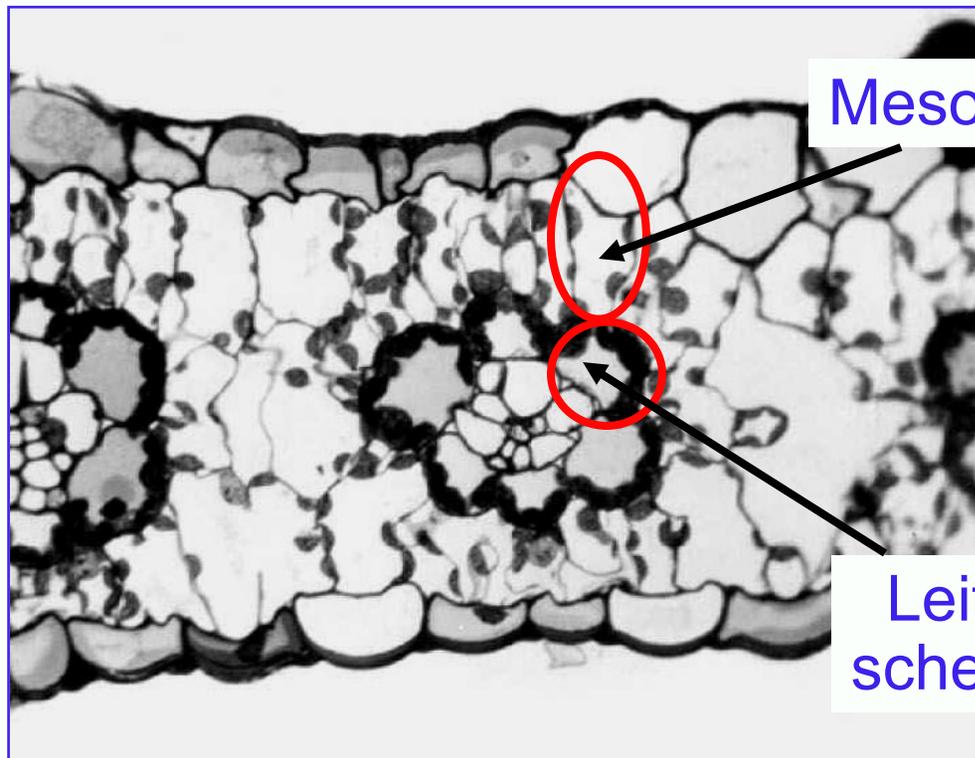
C₄ Syndrom

	C ₃	C ₄
erstes CO ₂ - Fixierungsprodukt	3-Phospho- glycerat	Oxalacetat, Malat, Aspartat
Blattanatomie	Schichtentyp	Kranztyp
Chloroplasten- dimorphismus	-	+

C₄ Metabolismus: Kranz Anatomie

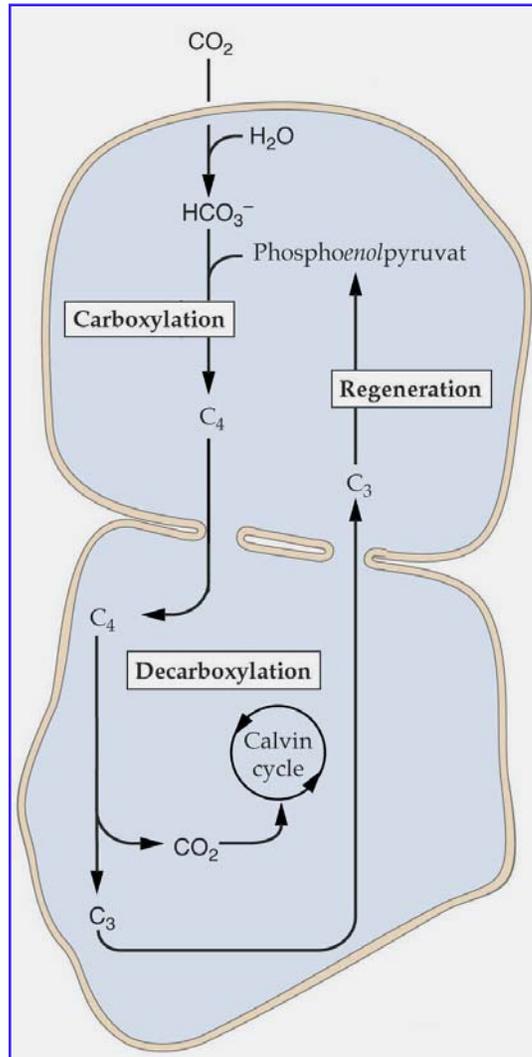
Querschnitt durch ein Maisblatt

elektronenmikroskopisches
Bild der Chloroplasten



aus Buchanan, Gruissem & Jones: „Biochemistry & Molecular Biology of Plants“

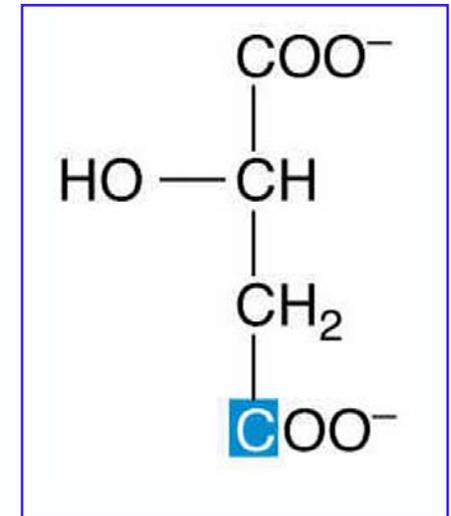
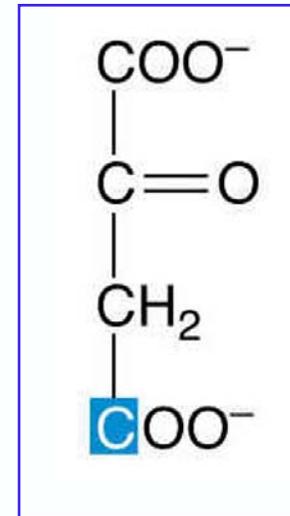
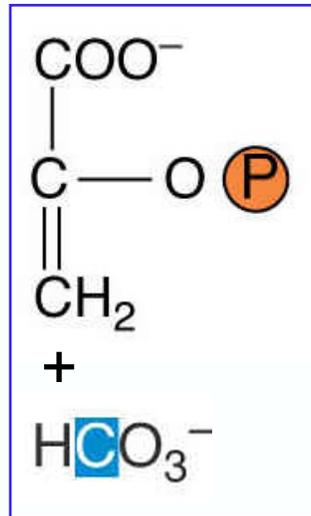
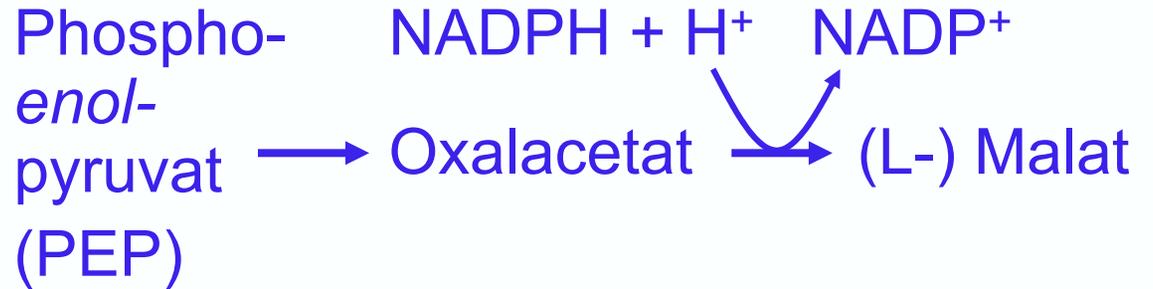
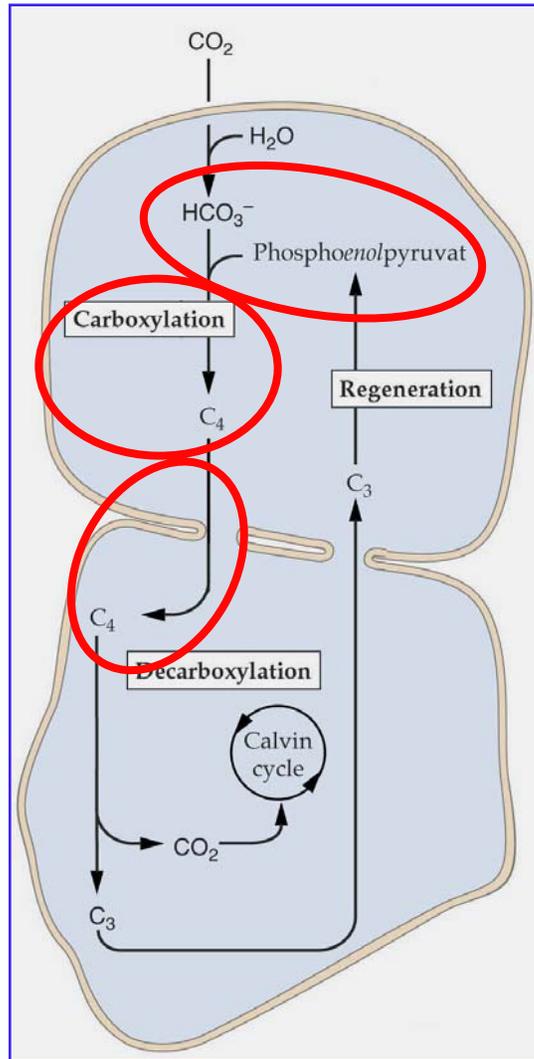
C₄ Metabolismus



Mesophyllzelle:
Lichtreaktionen

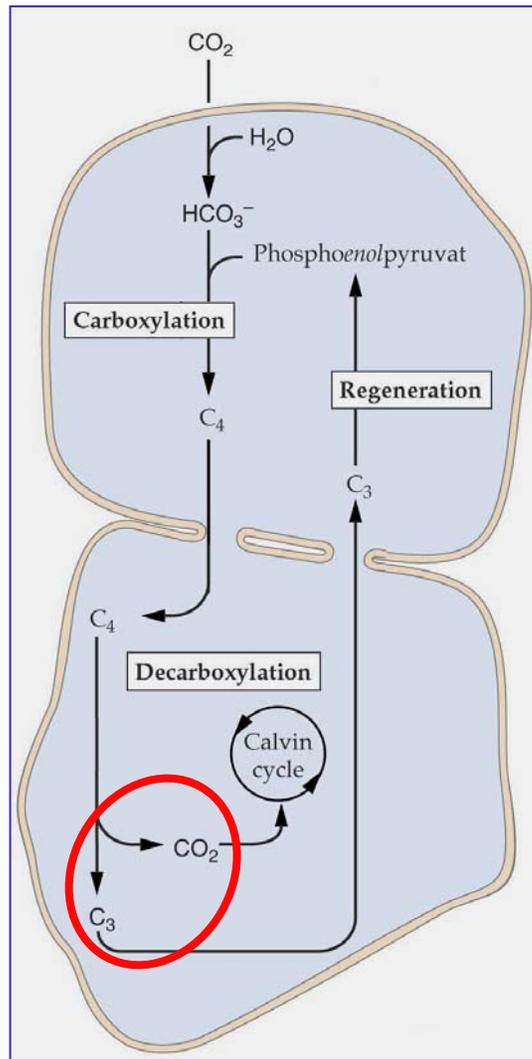
Leitbündelscheidenzelle:
Dunkelreaktionen

C₄ Metabolismus



Leitbündelscheidenzelle

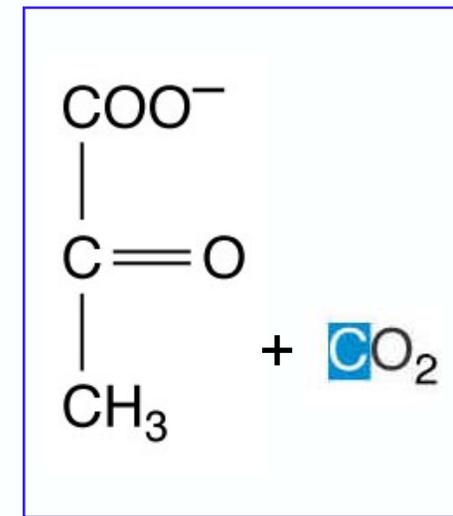
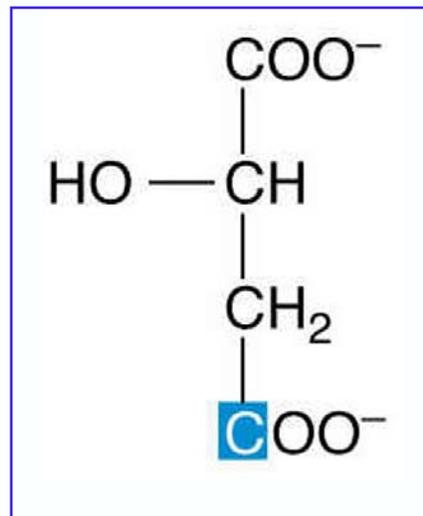
C₄ Metabolismus



Malat



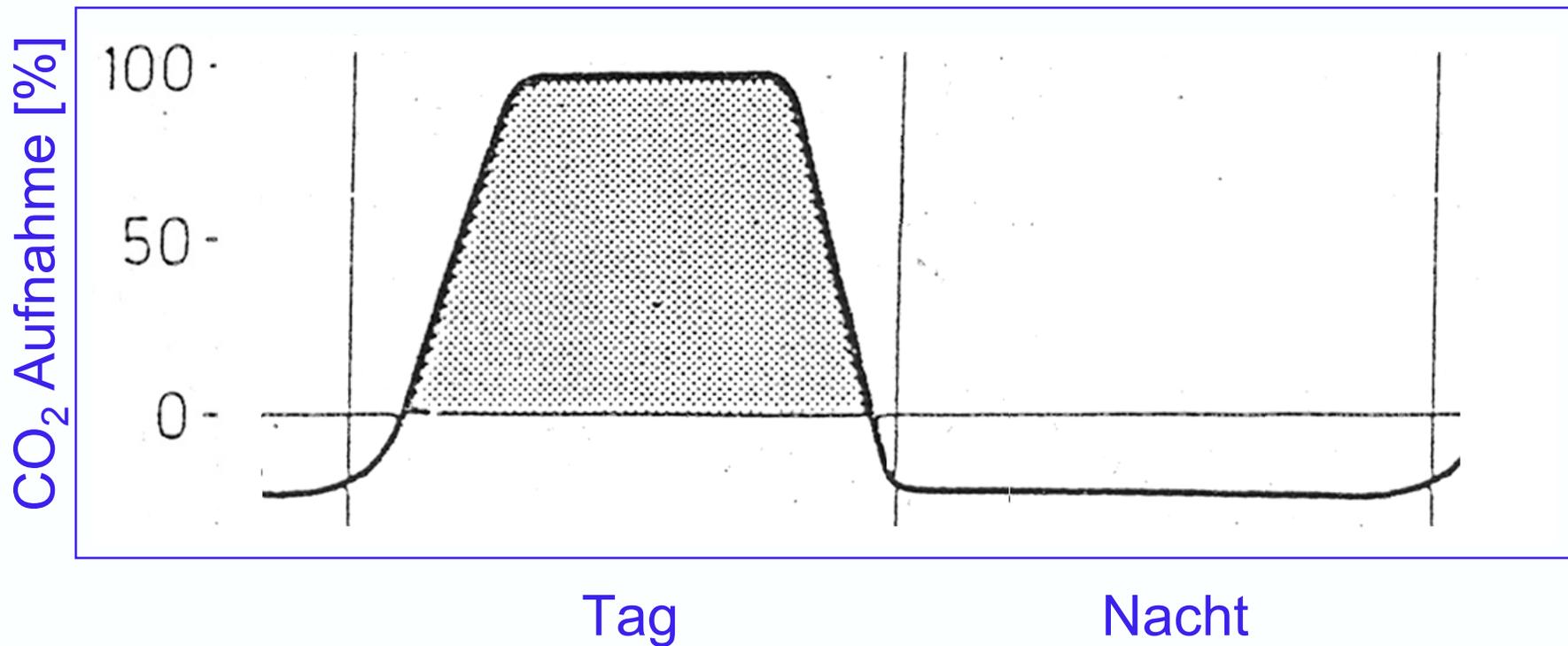
Pyruvat



aus Buchanan, Grissem & Jones:
„Biochemistry & Molecular Biology of Plants“

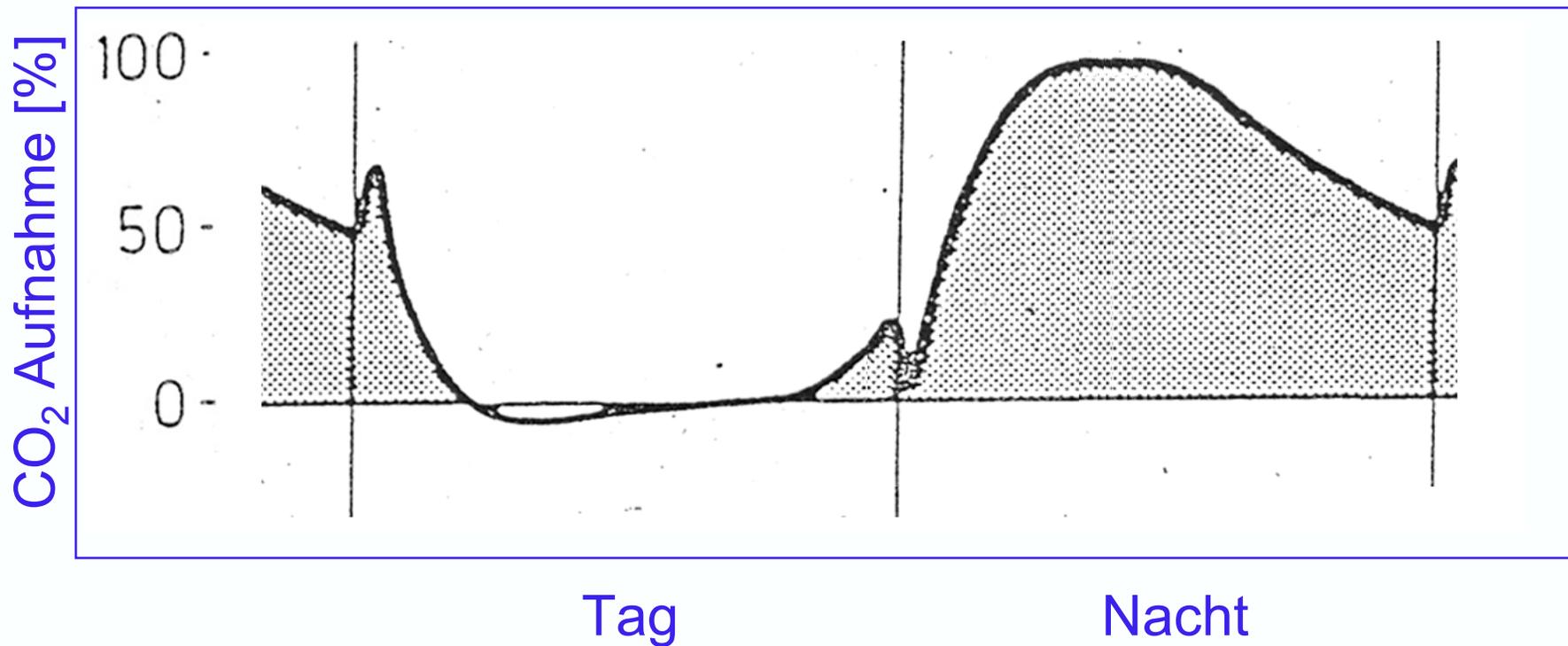
Photosyntheseaktivitäten im Vergleich

C₄ Pflanze in der Wüste Negev



Photosyntheseaktivitäten im Vergleich

CAM Pflanze in der Wüste Negev



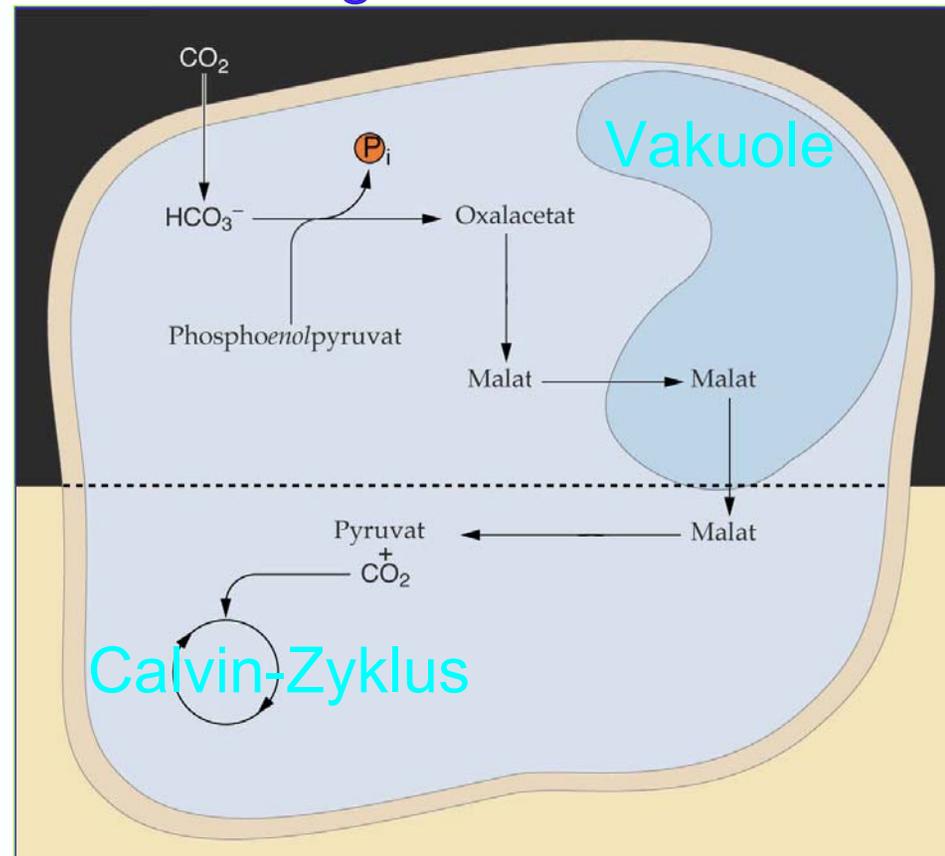
Verändert aus: U. Lüttge, M. Kluge, G. Bauer (2002): Botanik, 4., verbesserte Auflage

CAM (Crassulacean Acid Metabolism)

Ananas comosus



nachts: geöffnete Stomata



tags: Stomata geschlossen

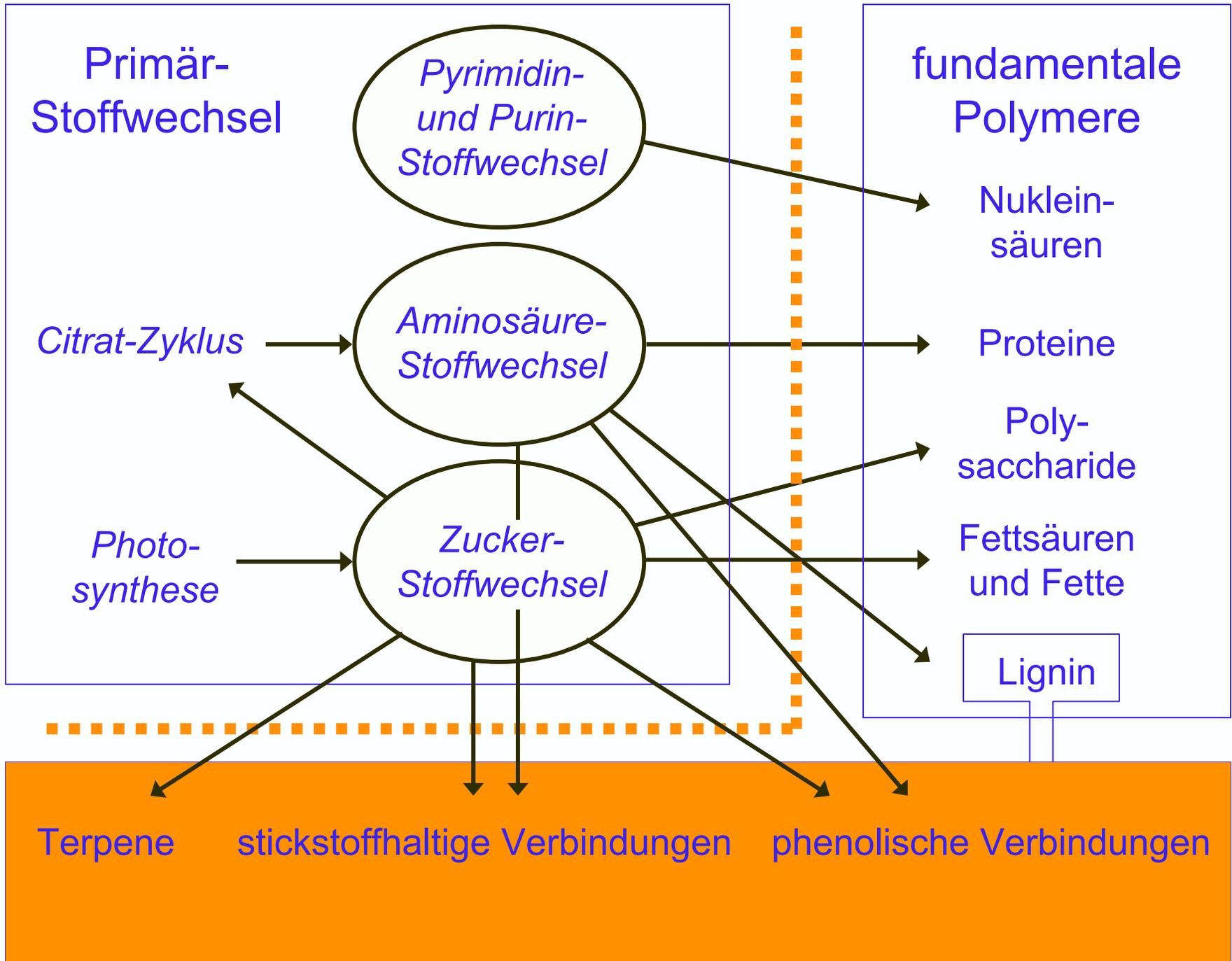
Wasser-/Kohlenstoffökonomie

	C ₃	C ₄	CAM
Transpirations- quotient (g H ₂ O/ g gebundenes C)	hoch 450 - 950	niedrig 250 - 350	sehr niedrig 18 - 100
maximale Wachstumsrate (g Trockenmasse/ m ² Blattfläche und Tag)	mittel 50 - 200	hoch 400 - 500	sehr niedrig 1.5 - 1.8

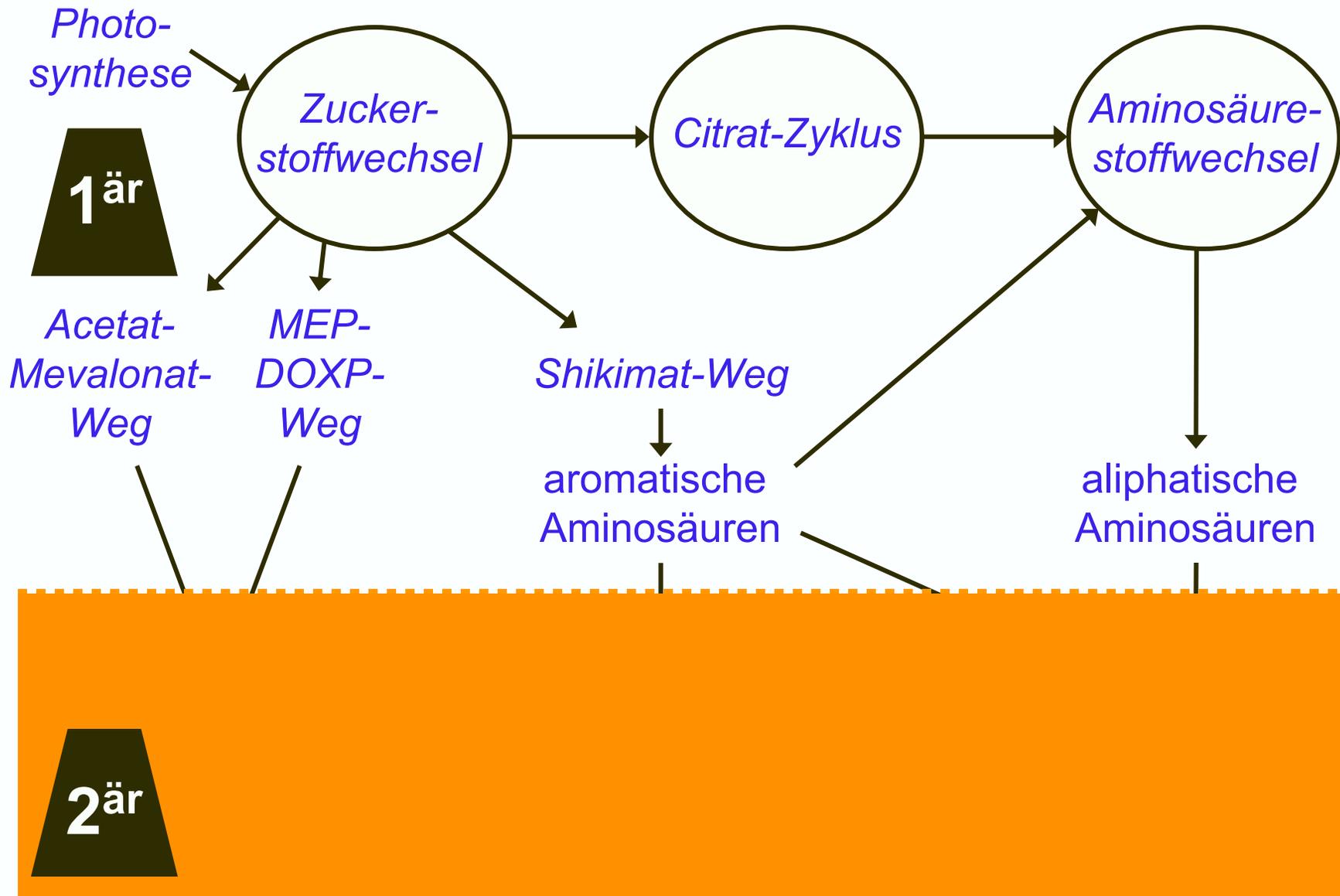
2.Lektion

12.01.2005

- Sekundär- vs. Primärstoffwechsel
(Pflanzenbiochemie: S. 413 – 416)
- Die pflanzliche Zellwand: Cellulose, Lignin, Suberin, Cutin (Pflanzenbiochemie: S. 280 – 282, 451 - 456)



Primär-/Sekundär-Stoffwechsel



Primär-/Sekundär- Stoffwechsel

1^{är} Stoffwechsel

- universal
- uniform
- konservativ
- unentbehrlich

2^{är} Stoffwechsel

- beschränkte Verbreitung
- divers
- adaptiv
- entbehrlich für Wachstum und Entwicklung, unentbehrlich für das Überleben im Ökosystem

Pflanzeninhaltsstoffe

(sekundäre Pflanzenstoffe, pflanzliche Naturstoffe)

Substanzklasse	~ Anzahl Verbindungen	charakteristische Eigenschaften
<i>phenolische Verbindungen</i>		
einfache Phenole	200	antimikrobiell
Flavonoide	4000	häufig farbig
Chinone	800	farbig

Pflanzeninhaltsstoffe

(sekundäre Pflanzenstoffe, pflanzliche Naturstoffe)

Substanzklasse	~ Anzahl Verbindungen	charakteristische Eigenschaften
<i>Terpene</i>		
Monoterpene	1000	angenehmer Geruch
Sesquiterpen-lactone	3000	bitter, einige toxisch, allergen
Diterpene	2000	einige toxisch
Carotinoide	600	farbig

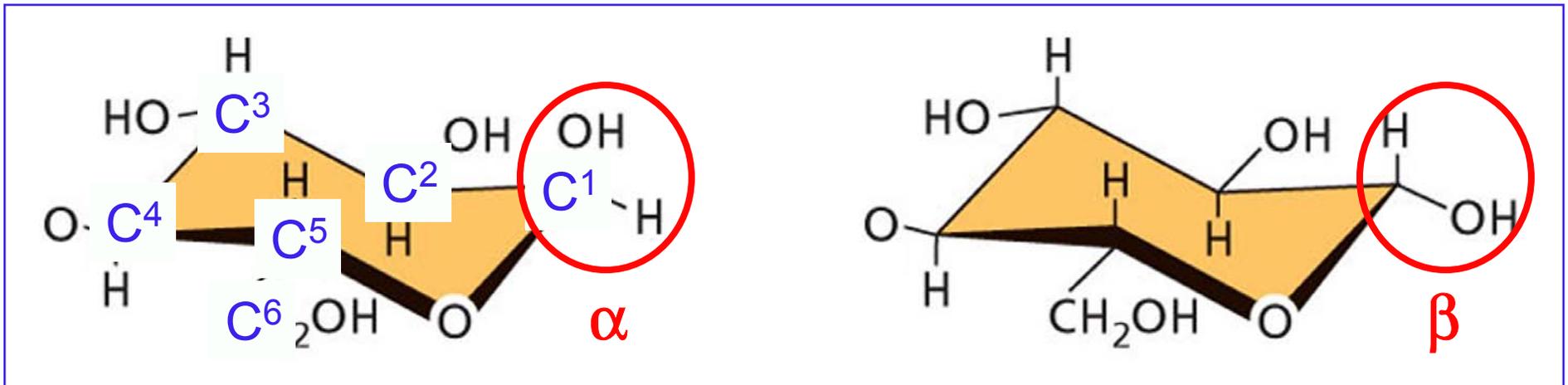
Pflanzeninhaltsstoffe

(sekundäre Pflanzenstoffe, pflanzliche Naturstoffe)

Substanzklasse	~ Anzahl Verbindungen	charakteristische Eigenschaften
<i>stickstoffhaltige Verbindungen</i>		
Alkaloide	10'000	toxisch, bitter
Amine	100	unangenehmer Geruch
(nicht proteinogene) Aminosäuren	400	häufig toxisch

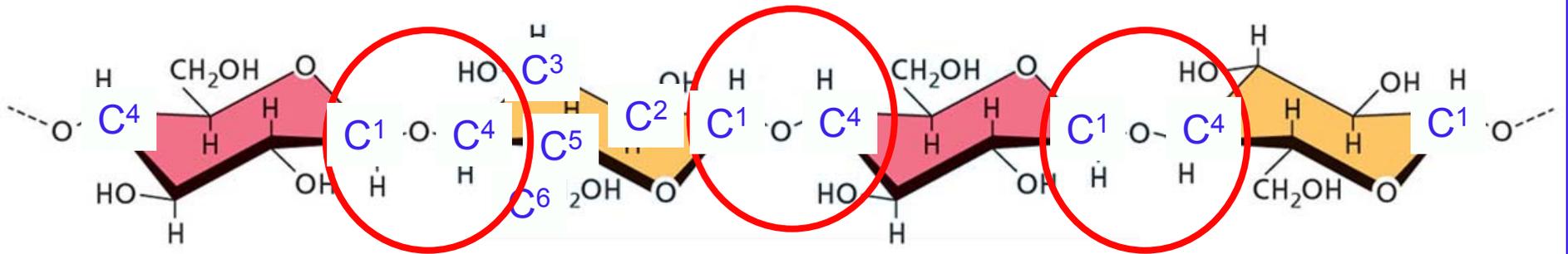
J. B. Harborne (1993): Introduction to Ecological Biochemistry, 4th edition

Glucose: α und β Konfiguration



Cellulose: 1→4 β-D-Glucan

1→4 glykosidische Bindungen

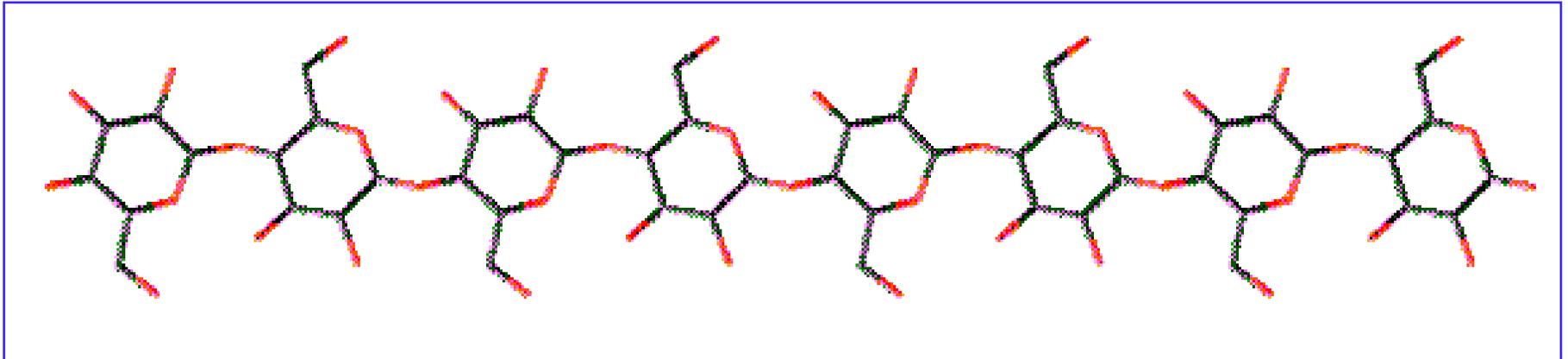


Stärke: 1→4 α-D-Glucan

Callose: 1→3 β-D-Glucan

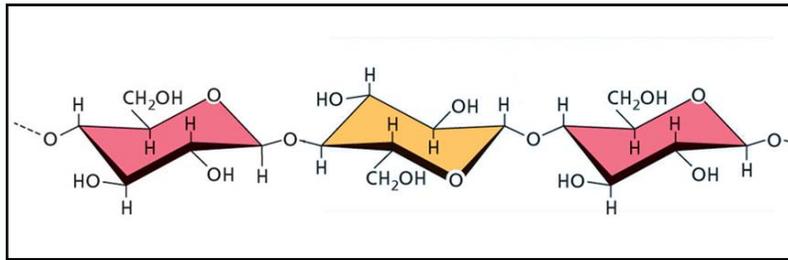
Verändert aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

Cellulose

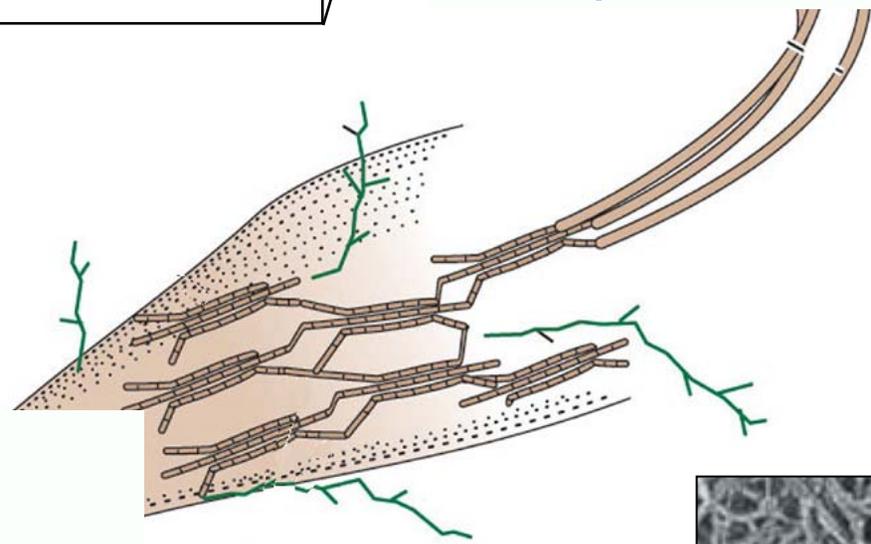


http://www.cermav.cnrs.fr/posters_virtuels/milou/poster1/

1→4 β verbundene D-Glukose-Einheiten sind jeweils um 180 °C gegeneinander verdreht

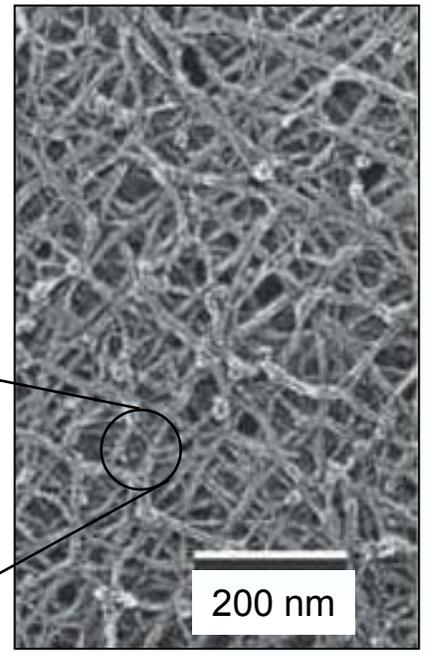
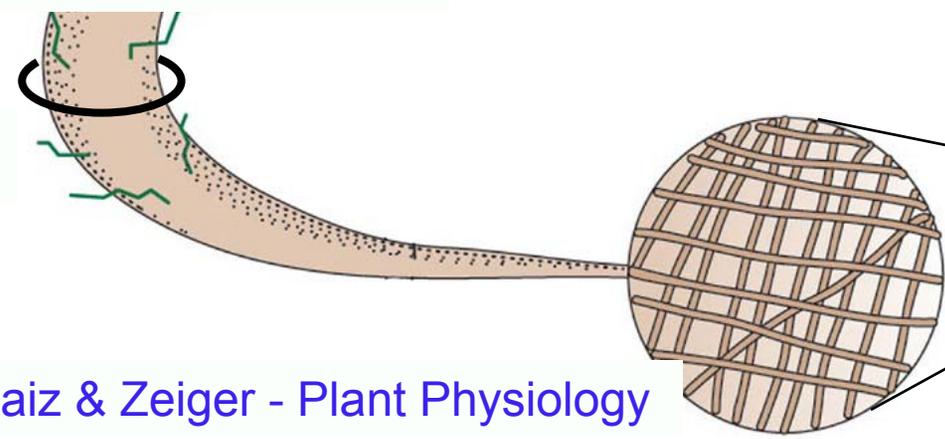


1→4 β-D-Glucanketten

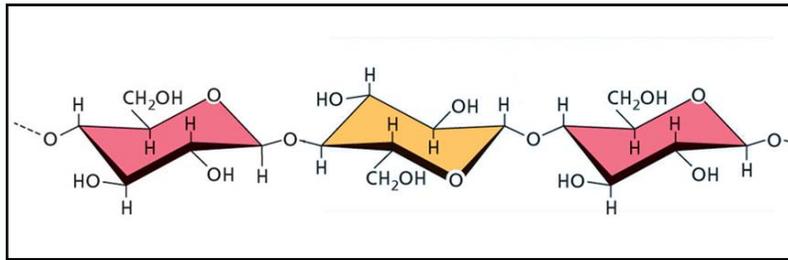


Cellulose- mikrofibrille

Ø: ca. 4 nm

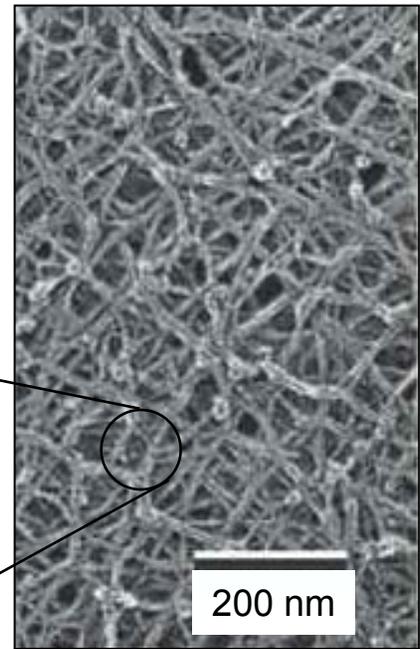
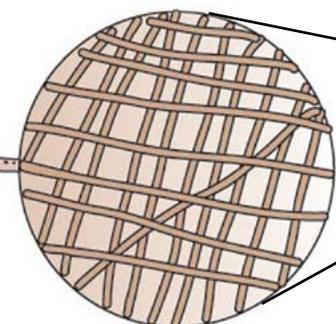
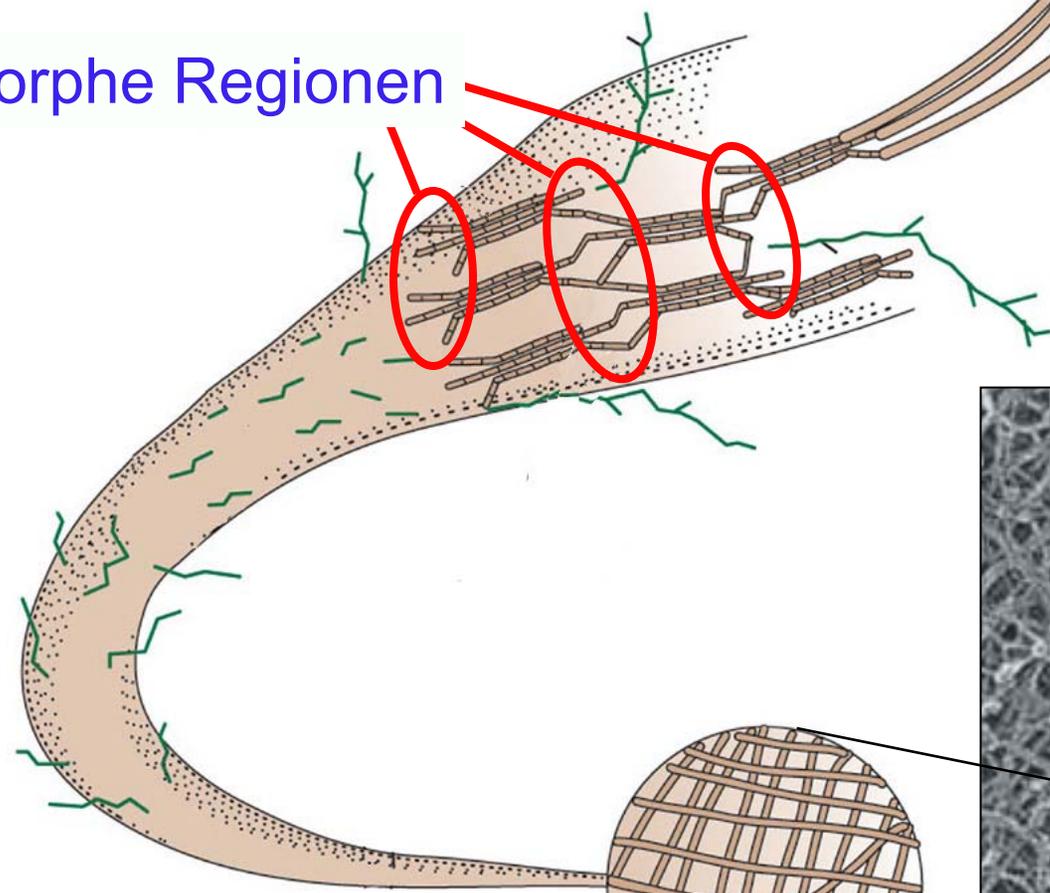


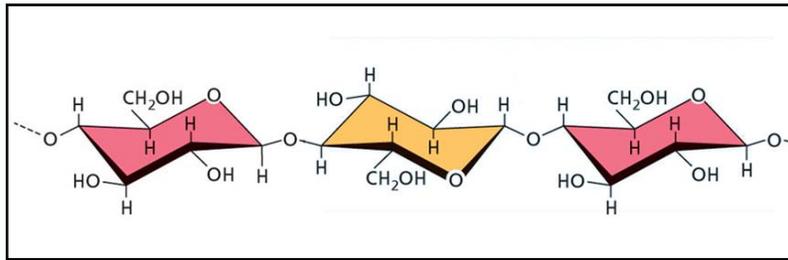
Verändert aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology



1→4 β-D-Glucanketten

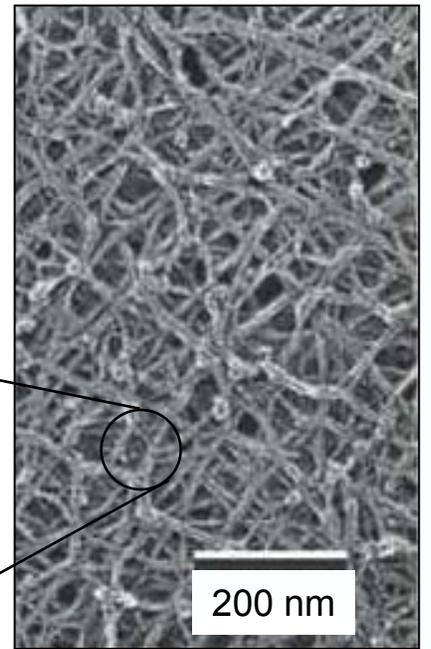
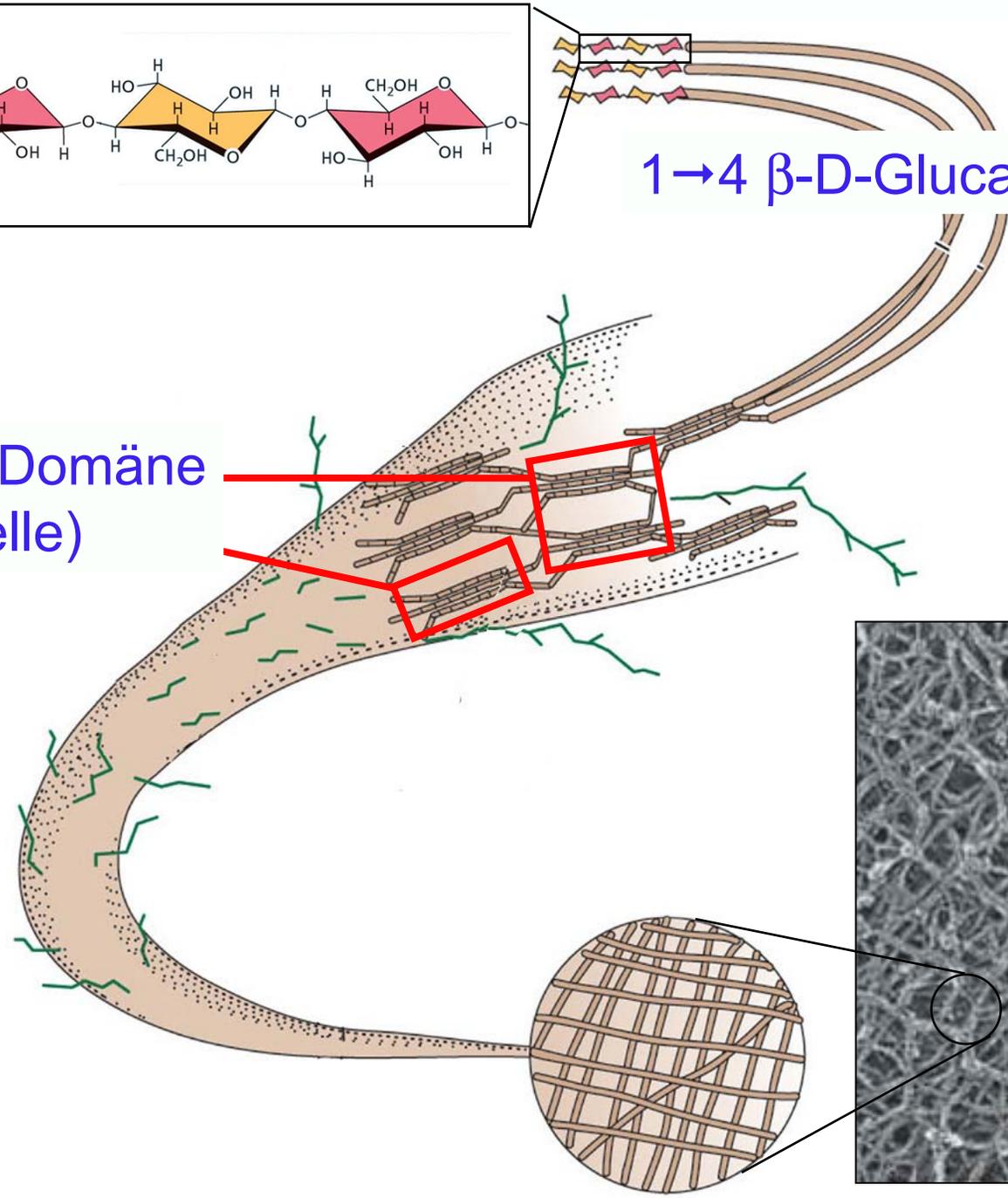
amorphe Regionen



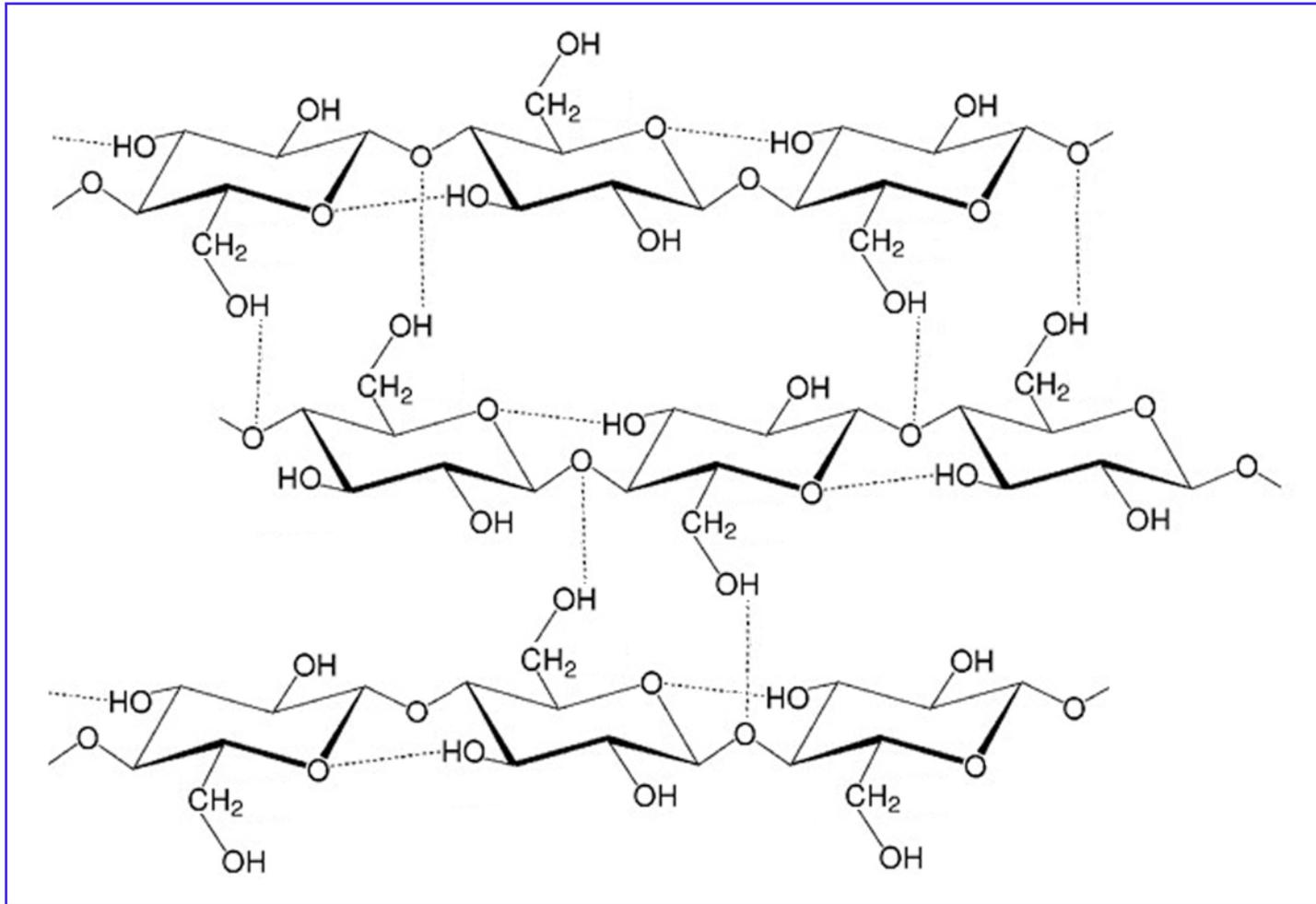


1→4 β-D-Glucanketten

kristalline Domäne
(Micelle)

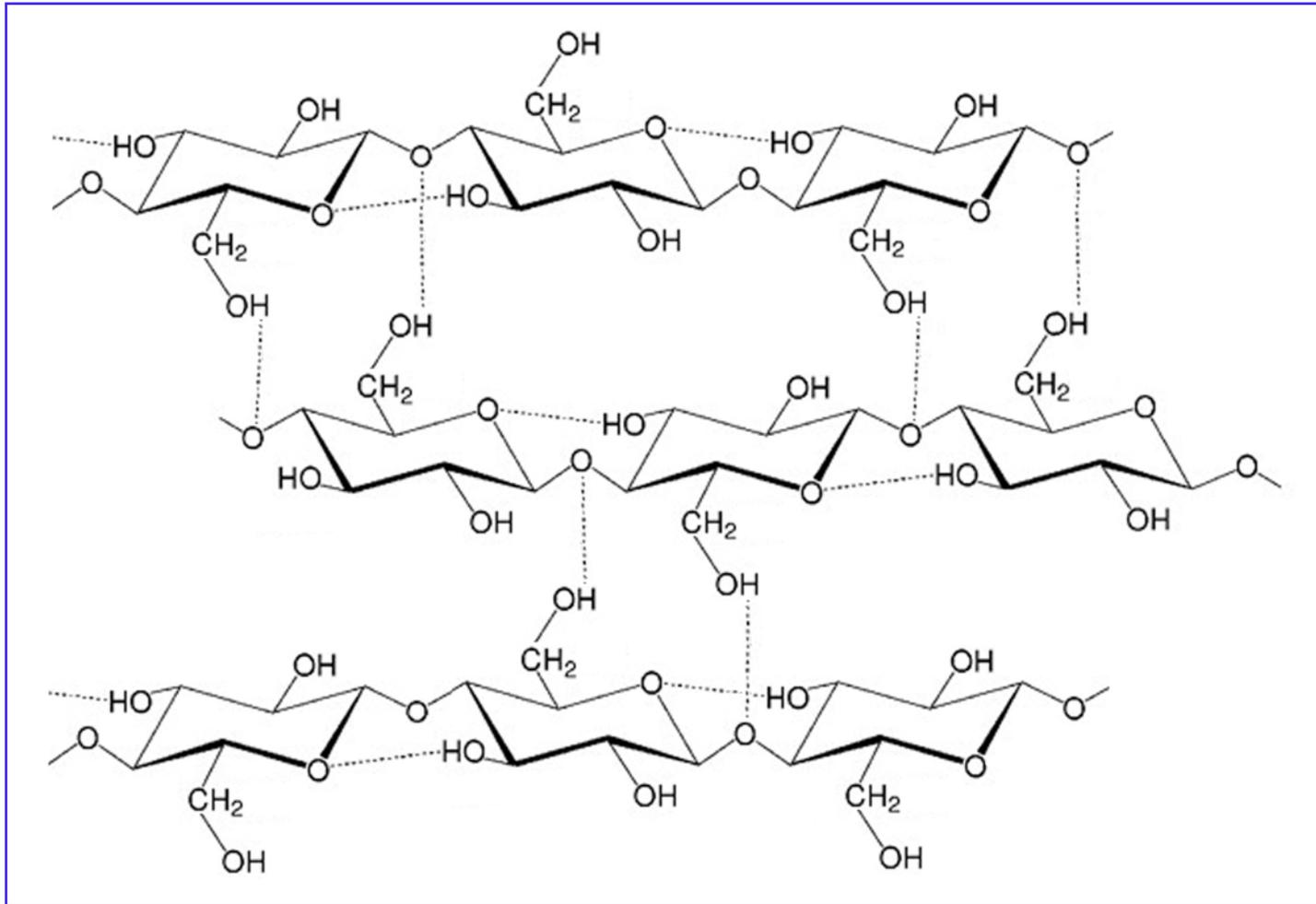


Micelle



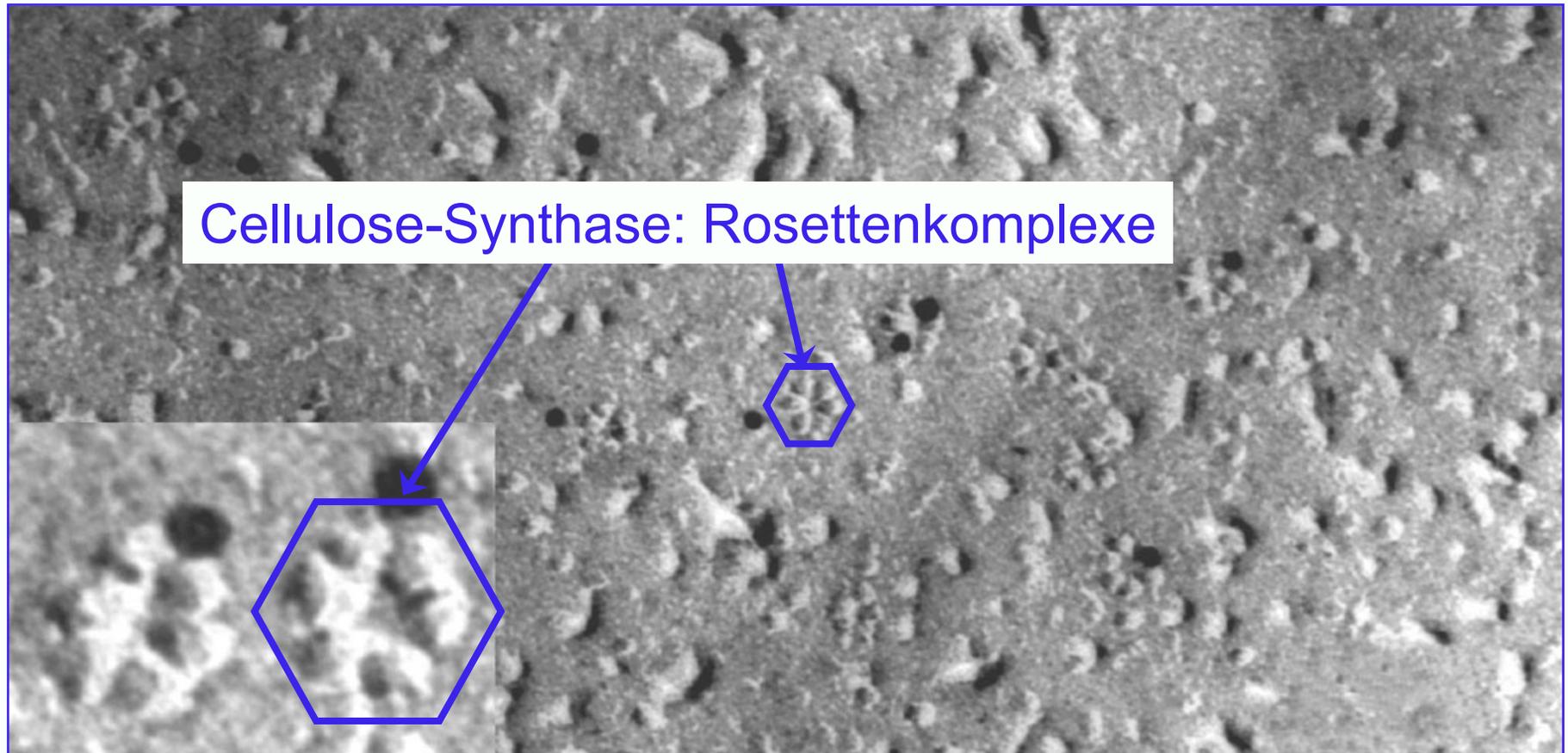
intramolekulare Wasserstoffbrücken
stabilisieren die linearen 1 \rightarrow 4 β -D-Glucan Ketten

Micelle



intermolekulare Wasserstoffbrücken
bilden dreidimensionale Kristallstruktur

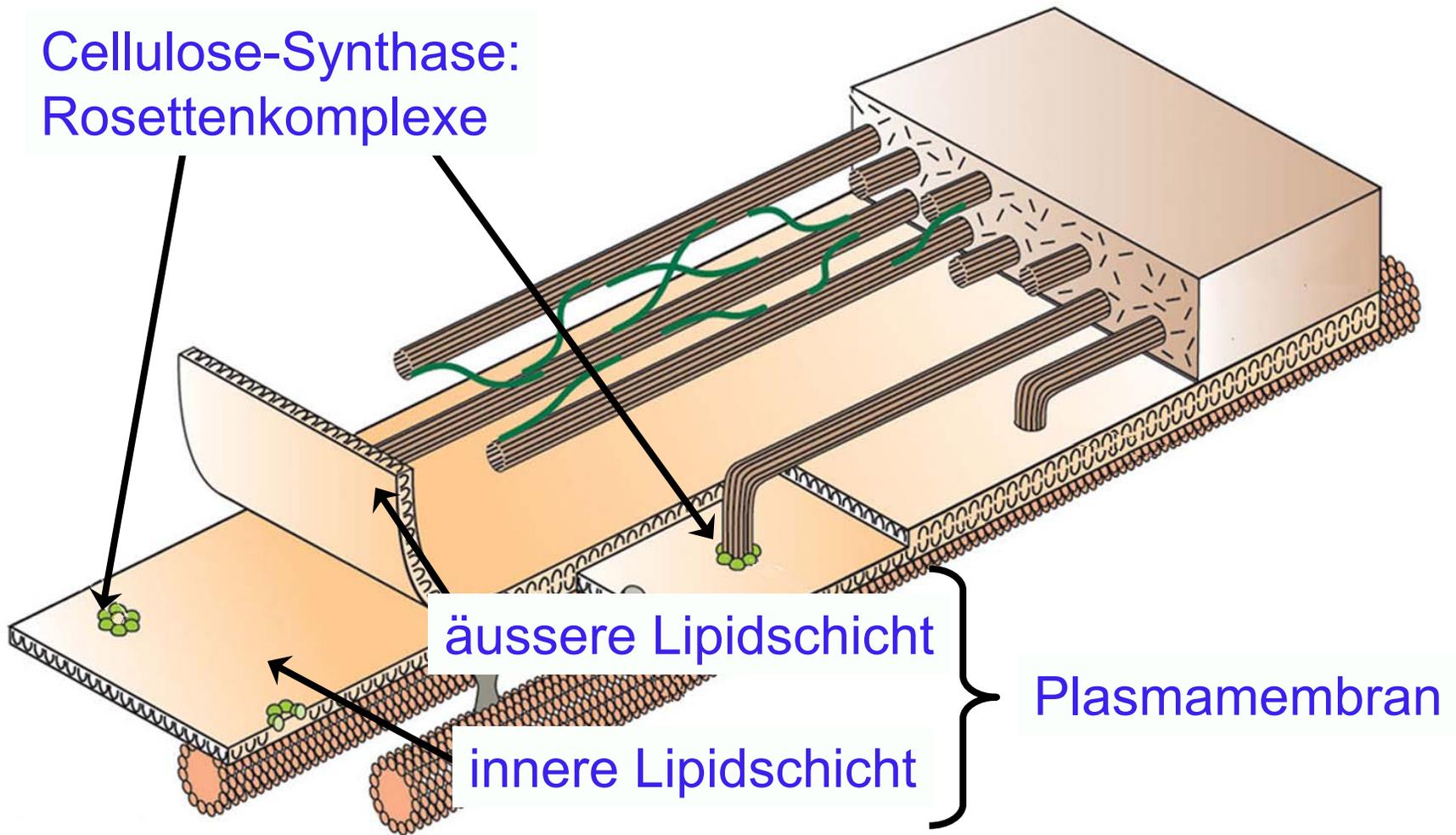
Biosynthese von Cellulose



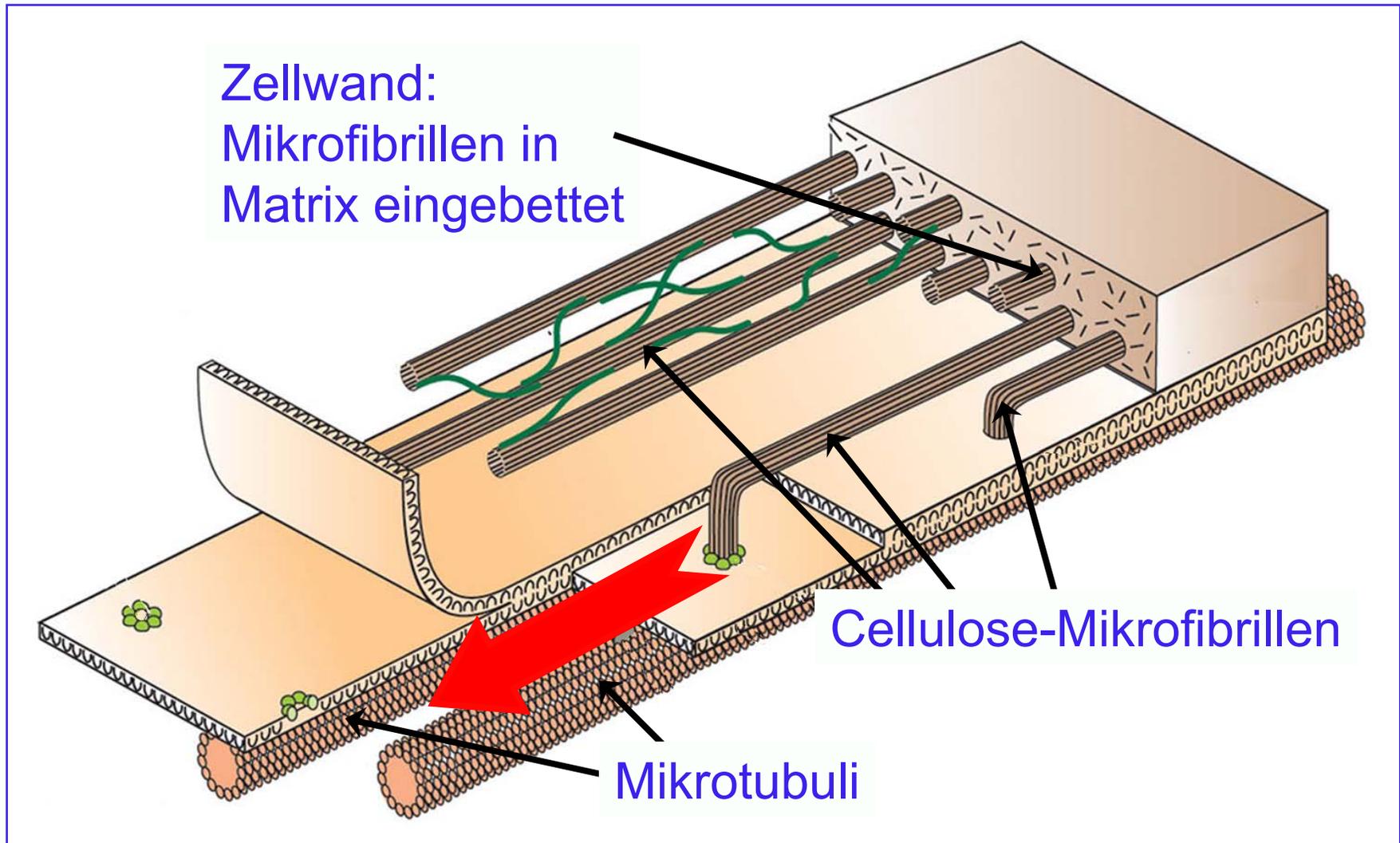
Aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

Biosynthese von Cellulose

Cellulose-Synthase:
Rosettenkomplexe



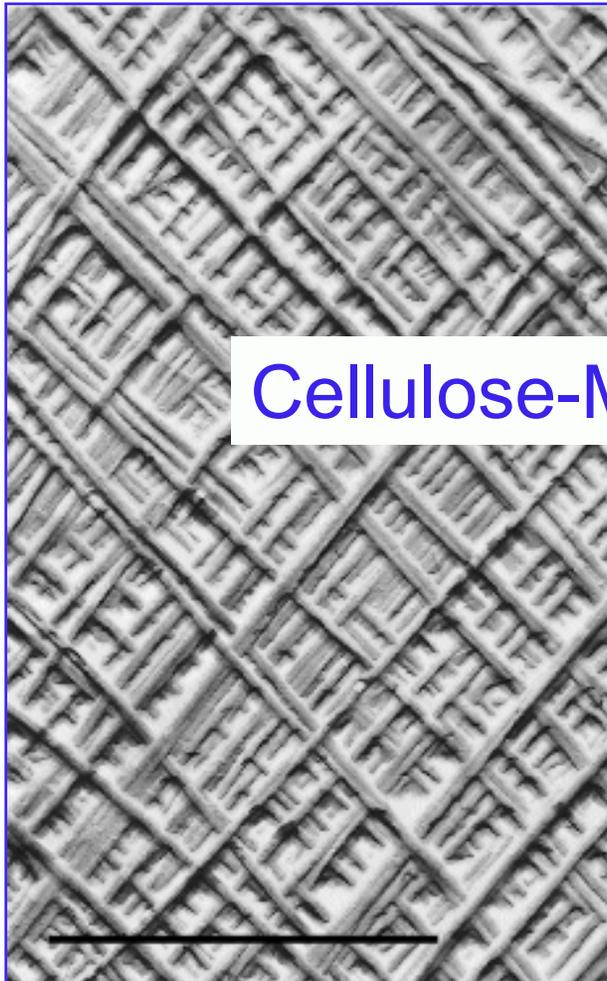
Biosynthese von Cellulose



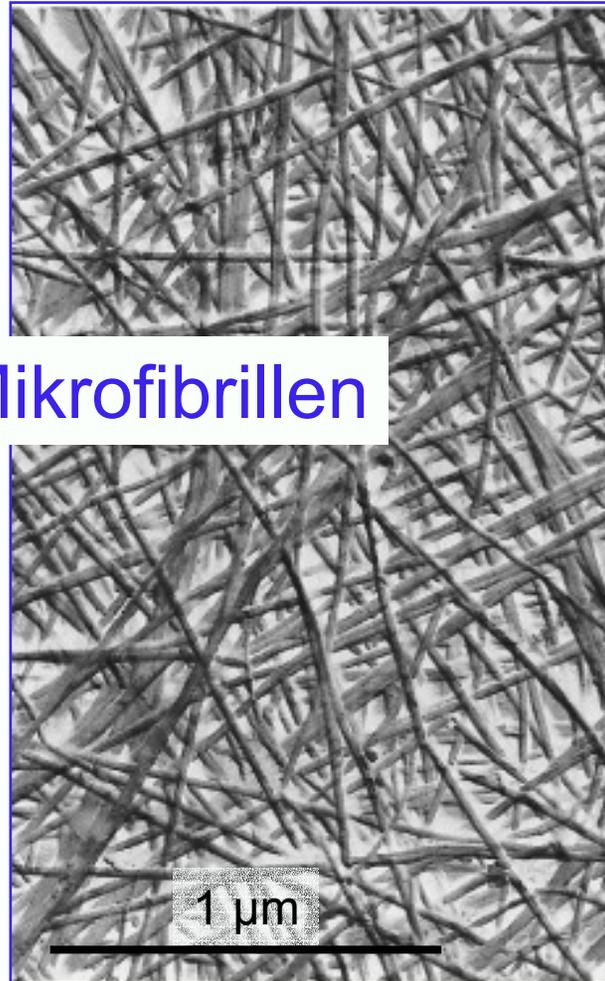
Aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

Anordnung der Mikrofibrillen

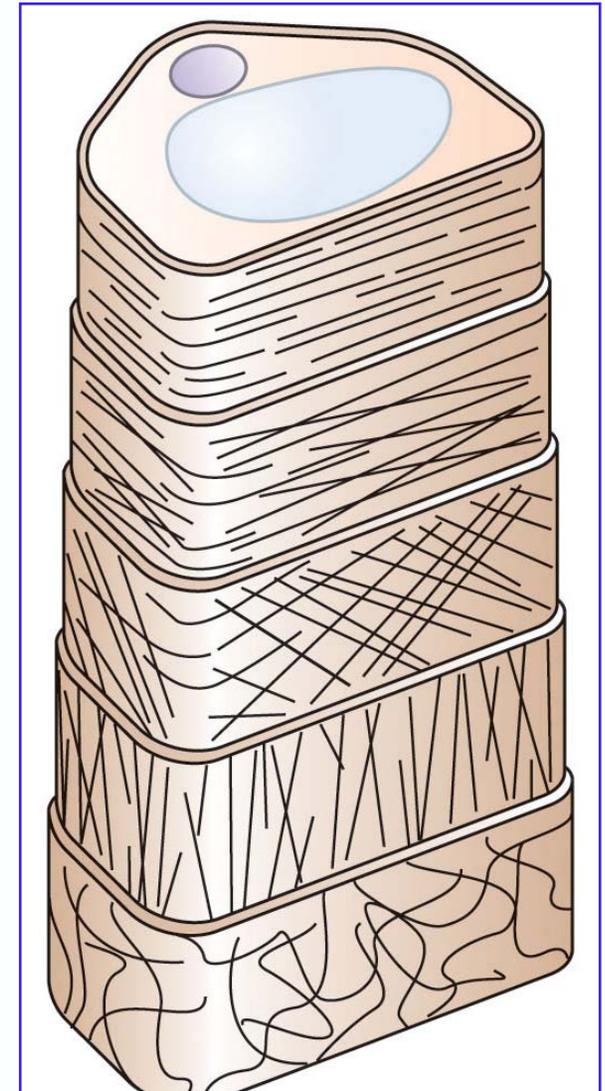
Paralleltextrur



Streutextrur

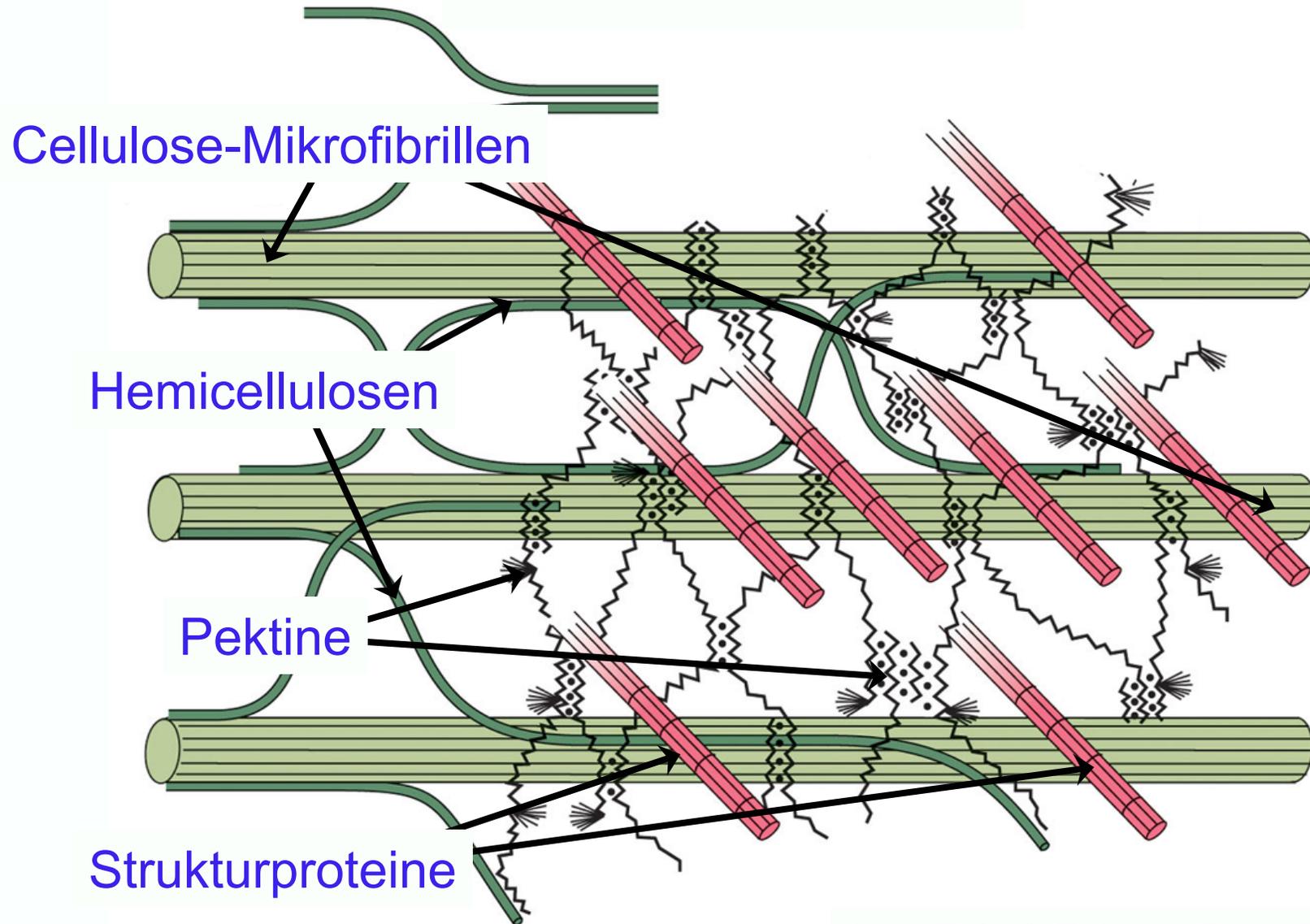


Cellulose-Mikrofibrillen



Aus: Strasburger Lehrbuch der Botanik und Taiz & Zeiger - Plant Physiology

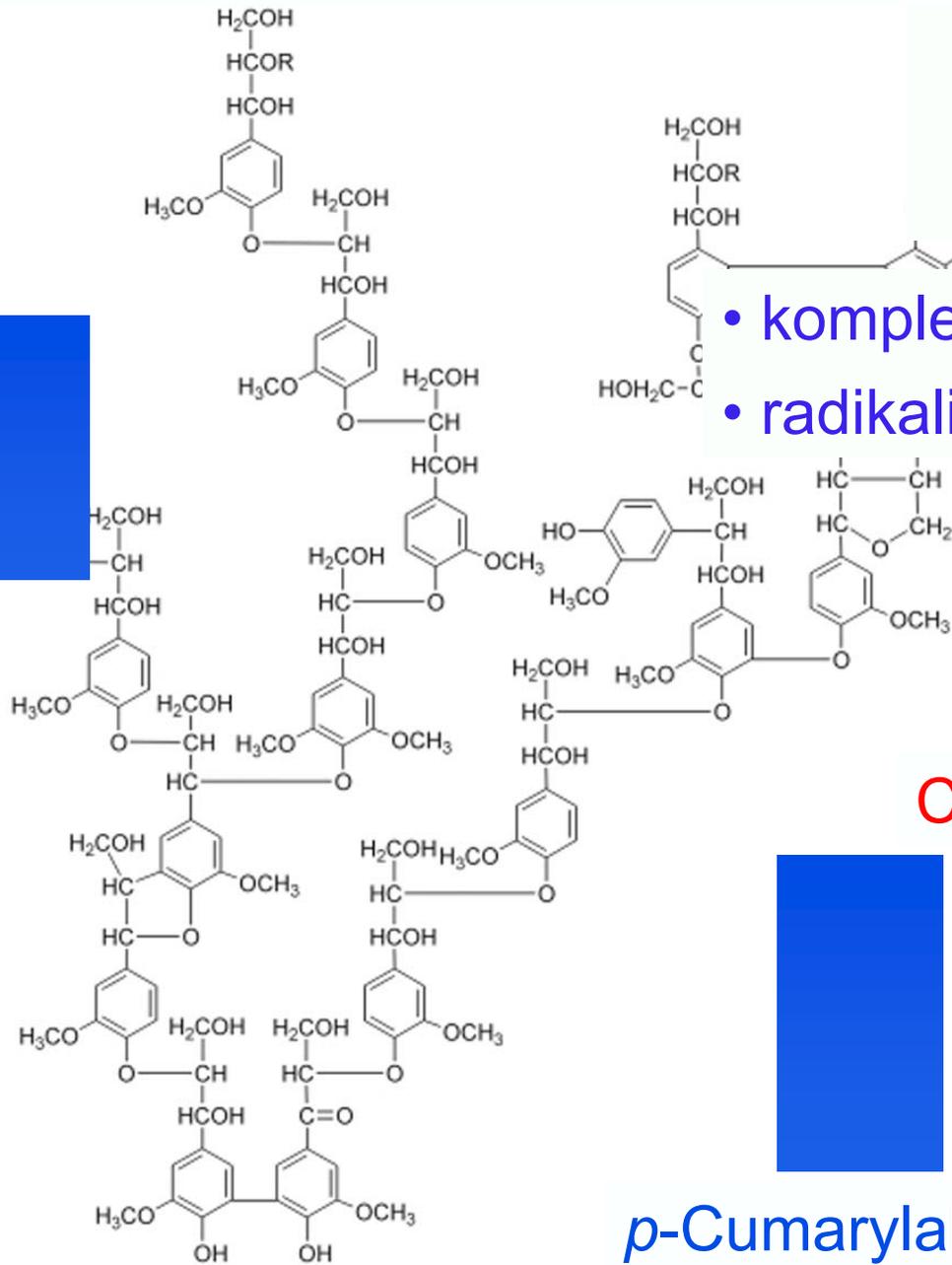
Zellwand



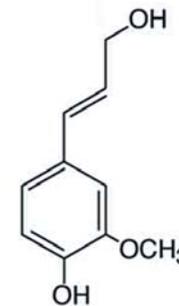
Aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

Lignin

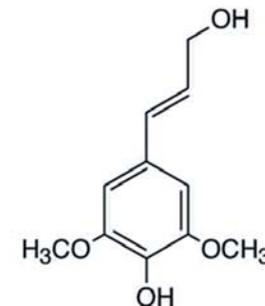
- komplexes phenolisches Polymer
- radikalische Polymerisation von:



Coniferylalkohol

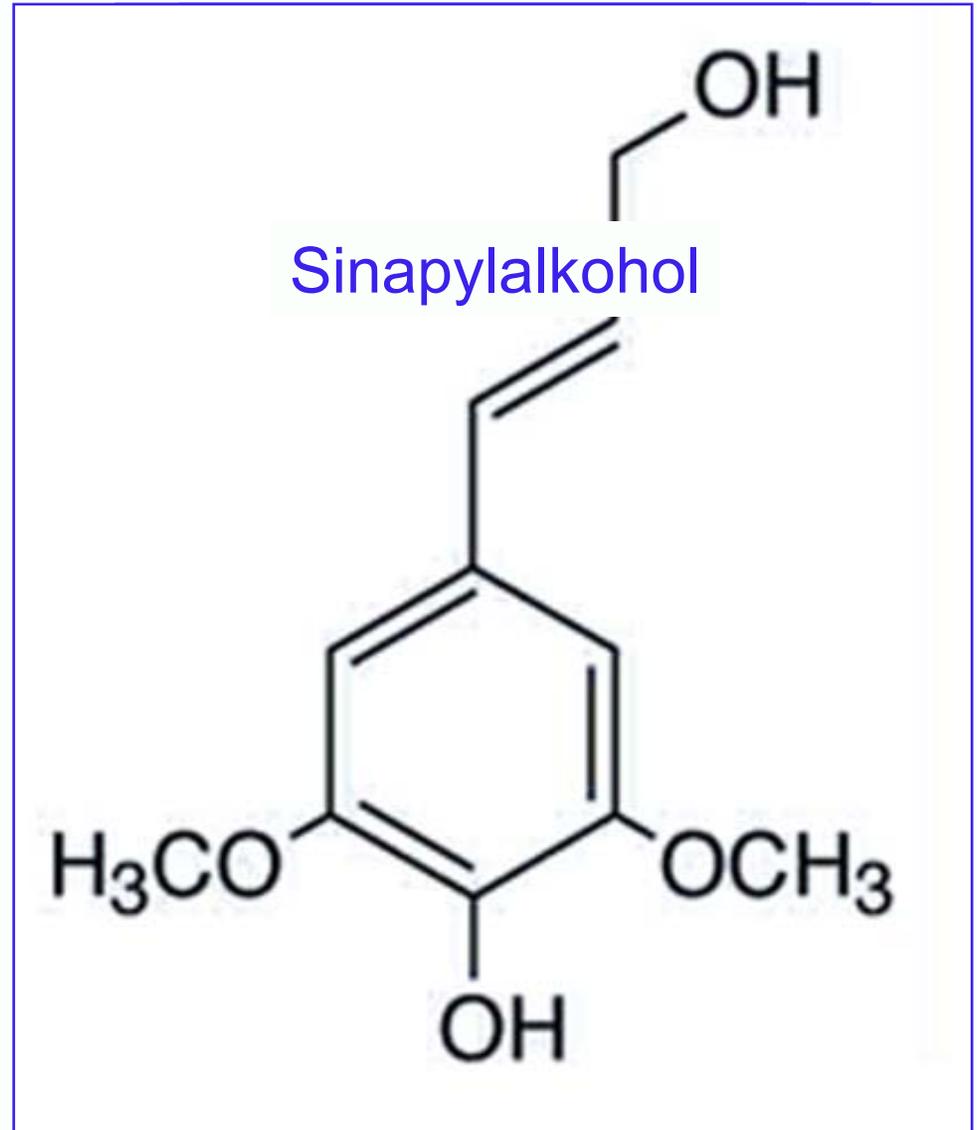
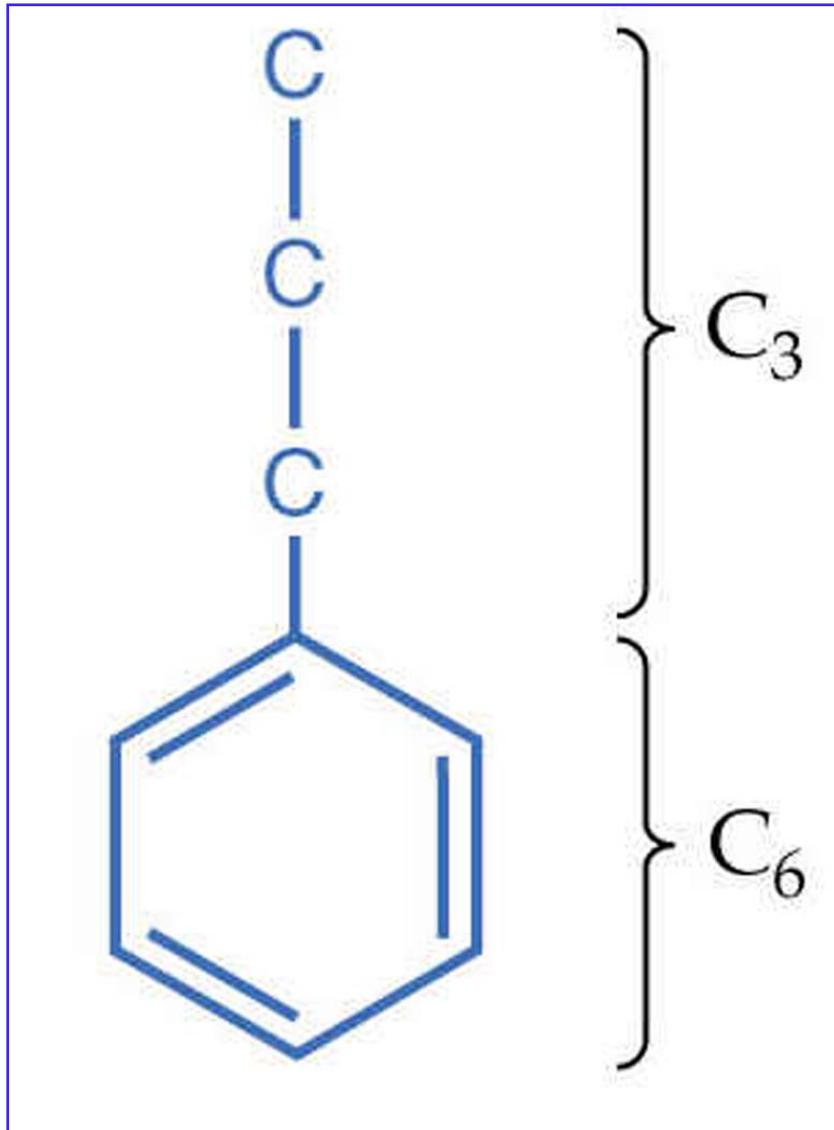


p-Cumarylalkohol



Sinapylalkohol

Phenylpropanoide: Grundgerüst



3. Lektion

19.01.2005

- Shikimisäureweg, Phenylpropane, Flavonoide, Stilbene, Tannine
(Pflanzenbiochemie: S. 445 – 450; 456 – 464)

Shikimisäureweg

Phosphoenolpyruvat + Erythrose 4-phosphat

Shikimat

Pflanzen, Pilze und Bakterien (≠ Tiere):
Herstellung von aromatischen Aminosäuren

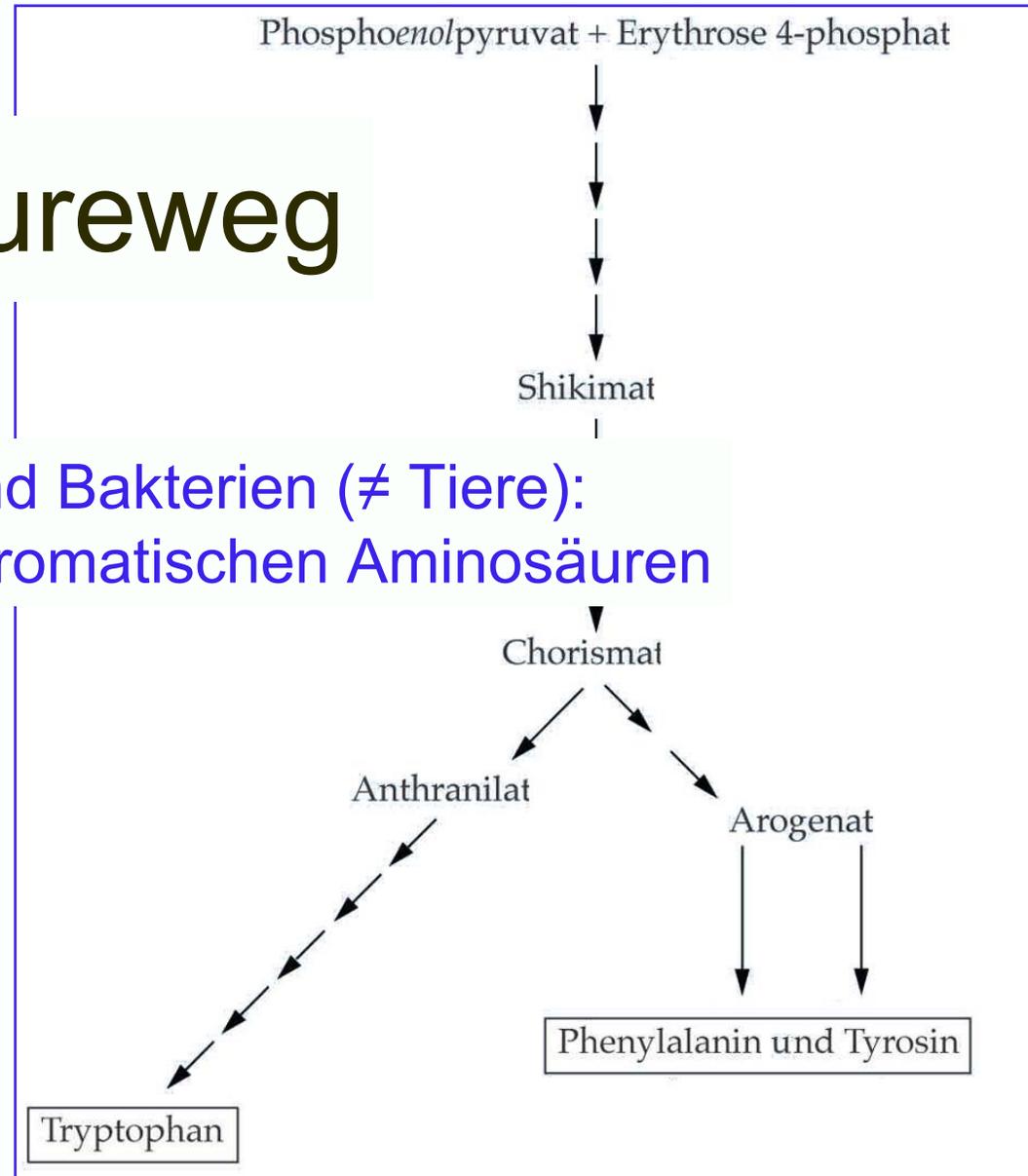
Chorismat

Anthranilat

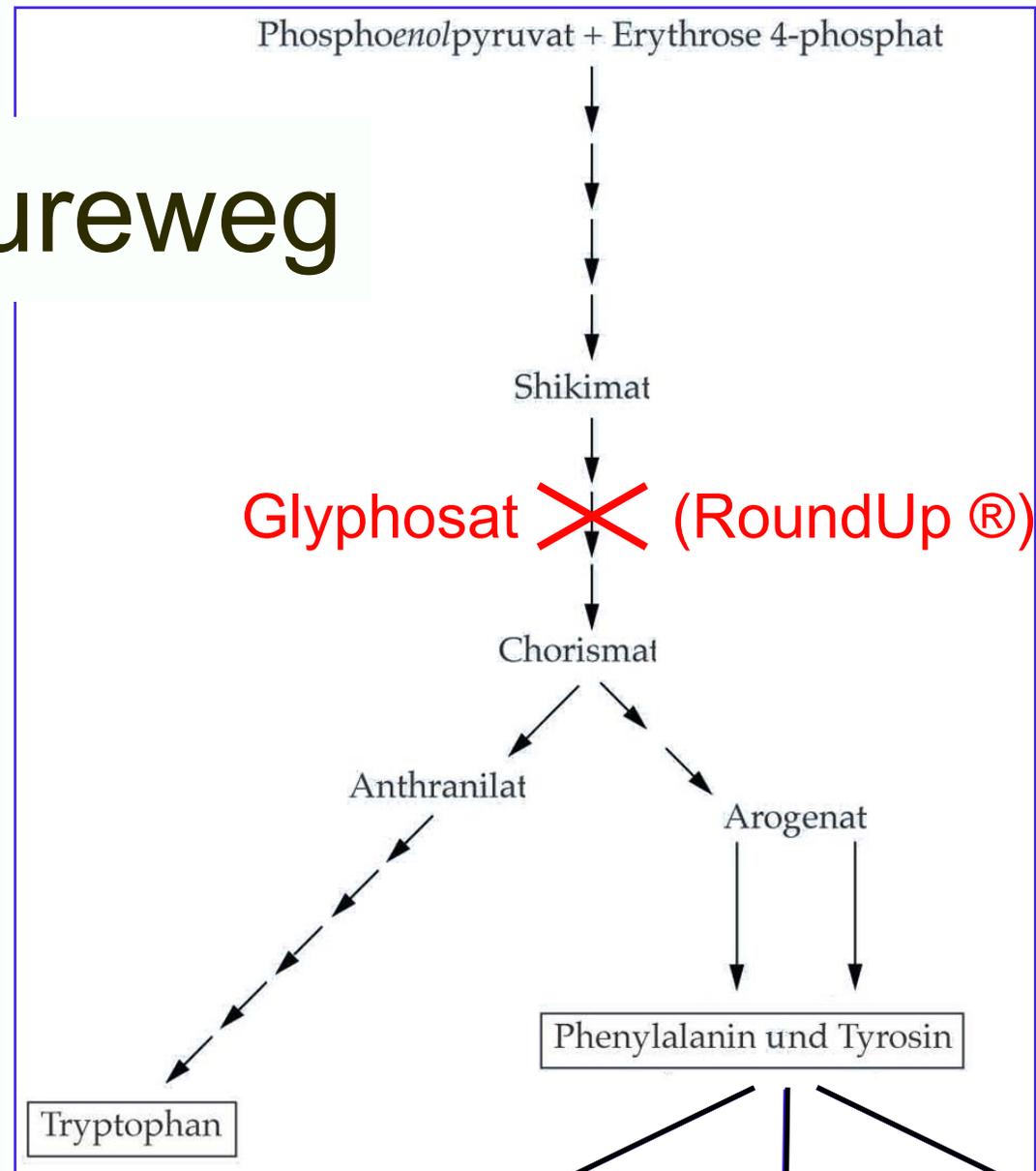
Arogenat

Tryptophan

Phenylalanin und Tyrosin



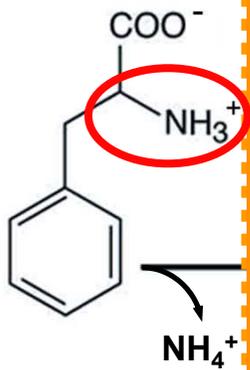
Shikimisäureweg



Phenylpropan-Biosynthese

Phenylalanin

Zimtsäure



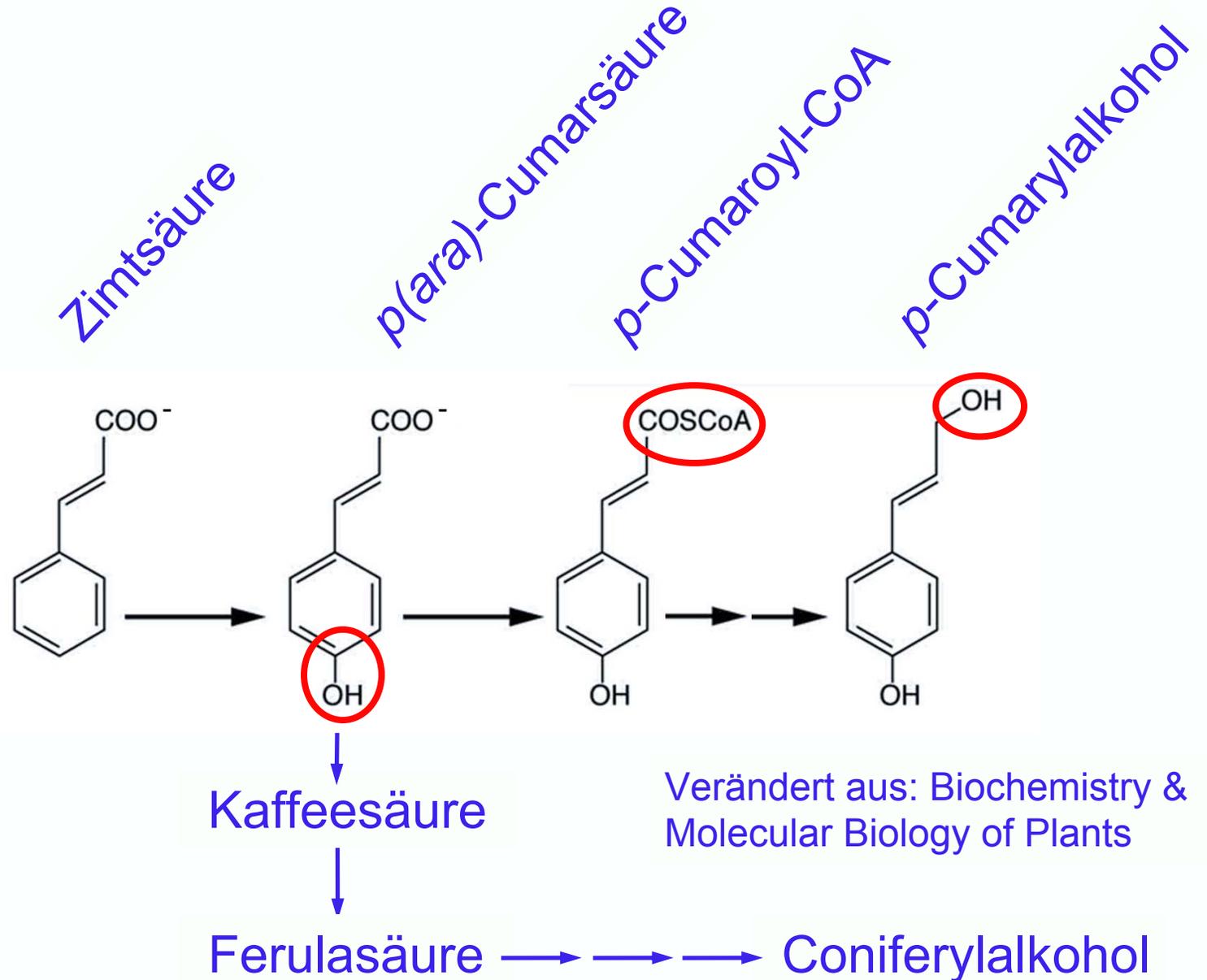
Phenylalanin-Ammonium-Lyase (PAL)

1är

2är

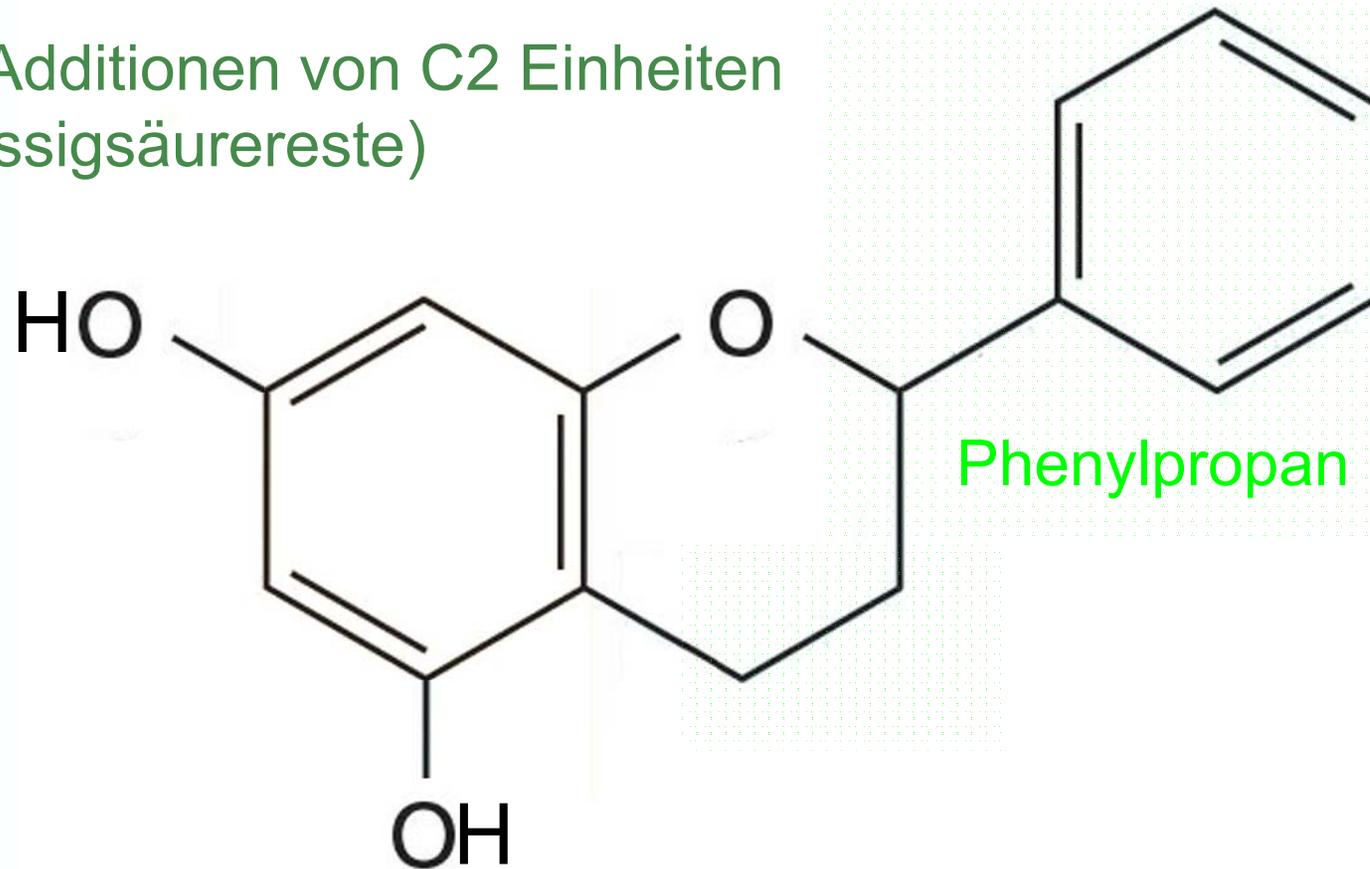
Stoffwechsel

Phenylpropan-Biosynthese

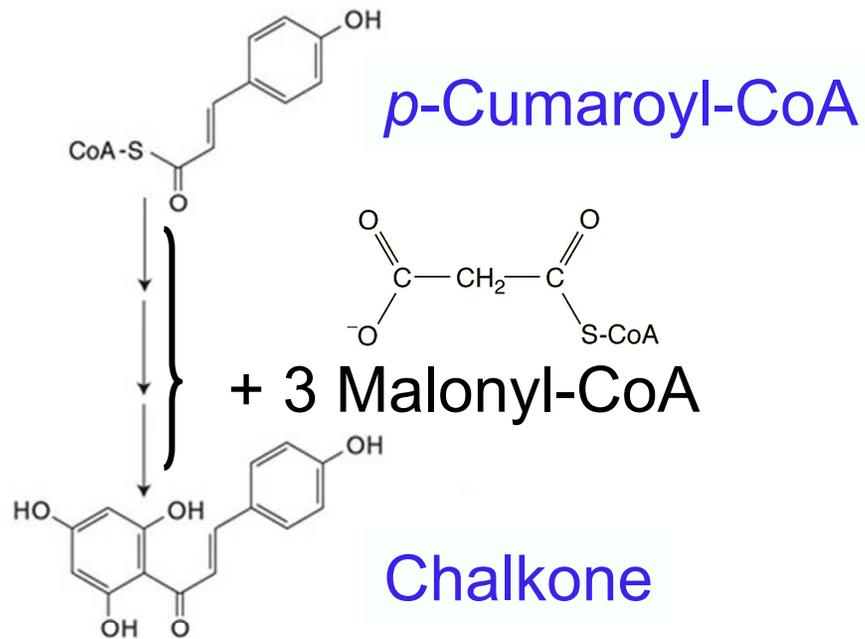


Flavonoide: Grundgerüst

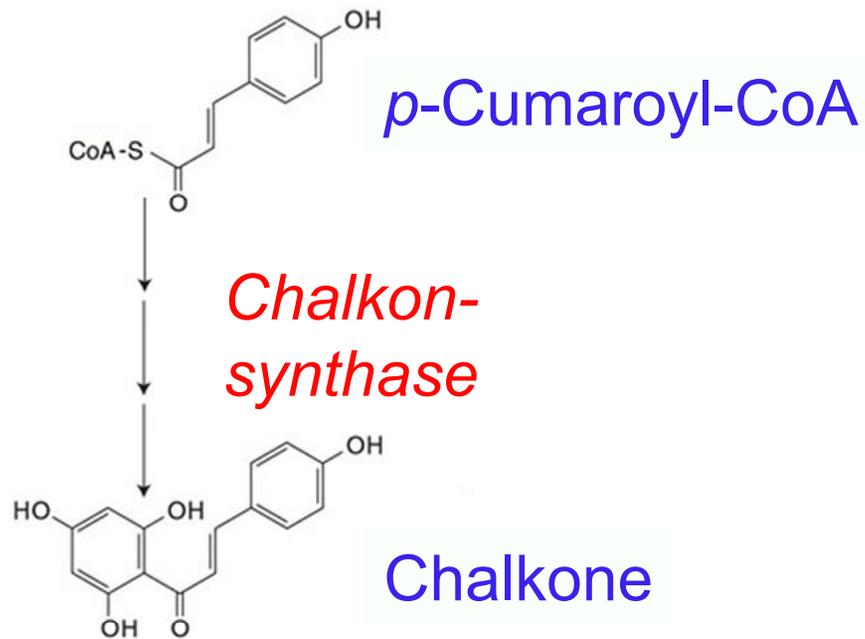
3 Additionen von C2 Einheiten
(Essigsäurereste)



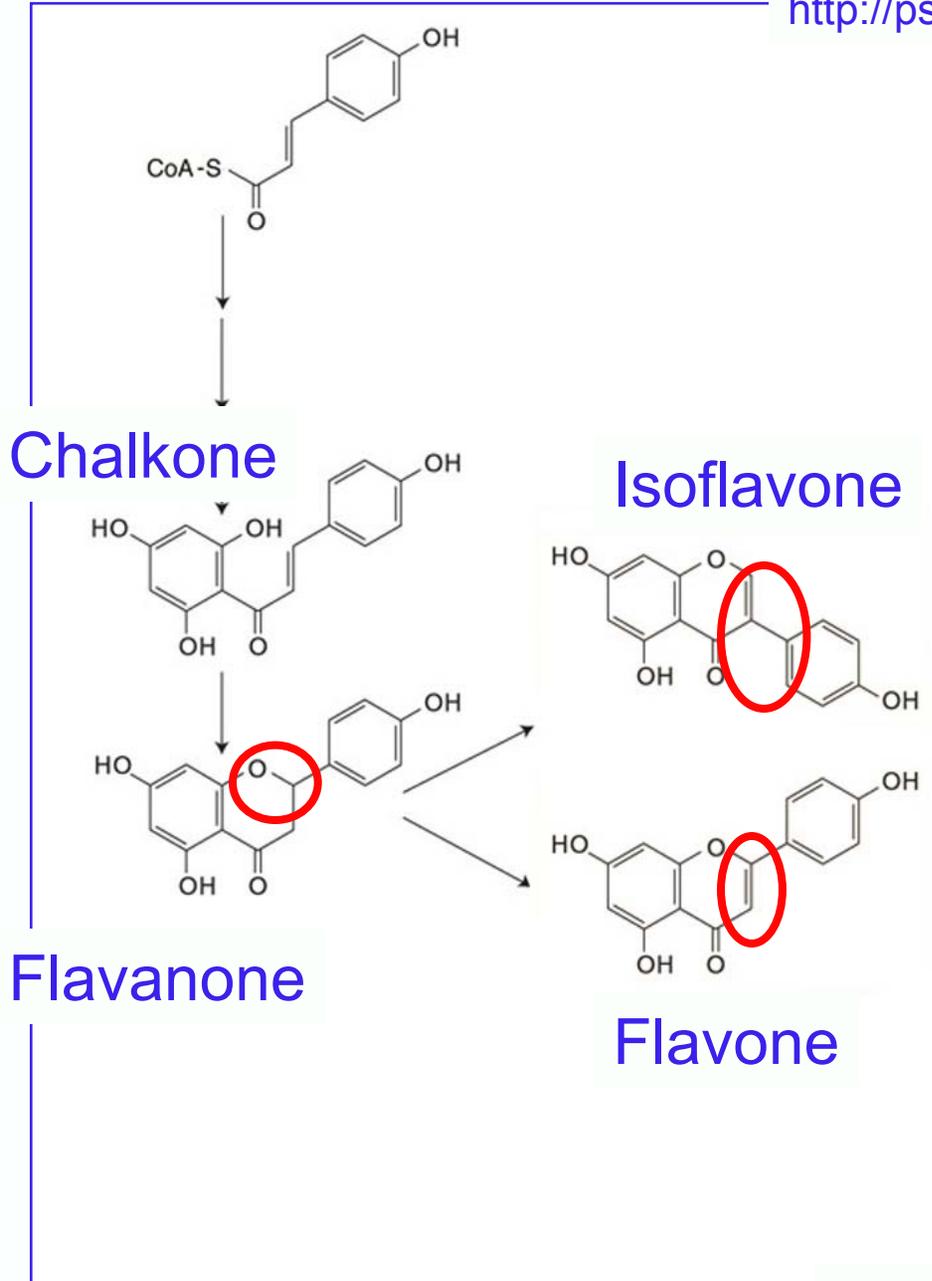
Verändert aus: Taiz & Zeiger -Plant Physiology



Flavonoid-Synthese



Flavonoid-Synthesis

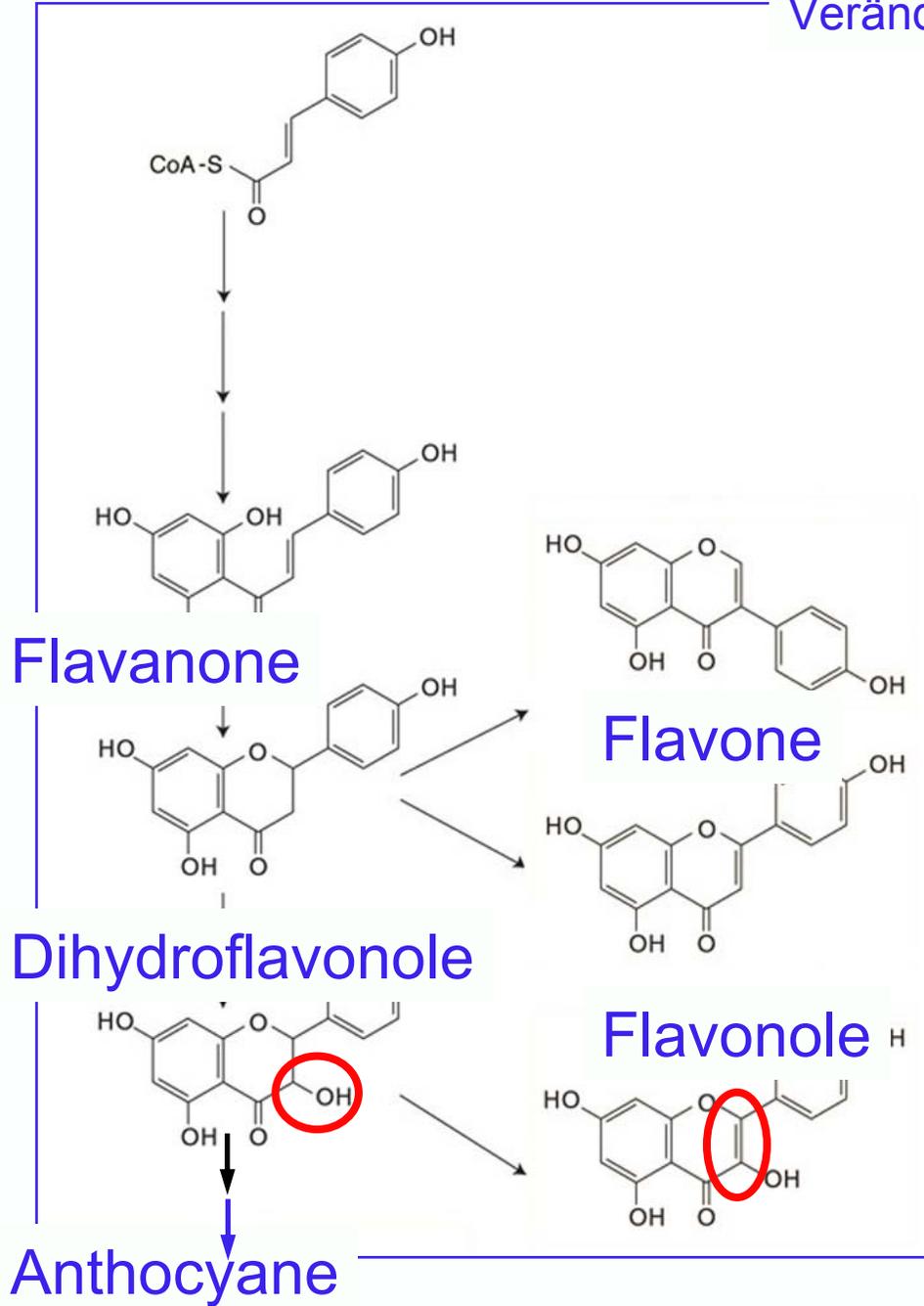


durch Infektionen
induzierte Abwehrstoffe
(Phytoalexine)

Signalmoleküle
bei Nodulation



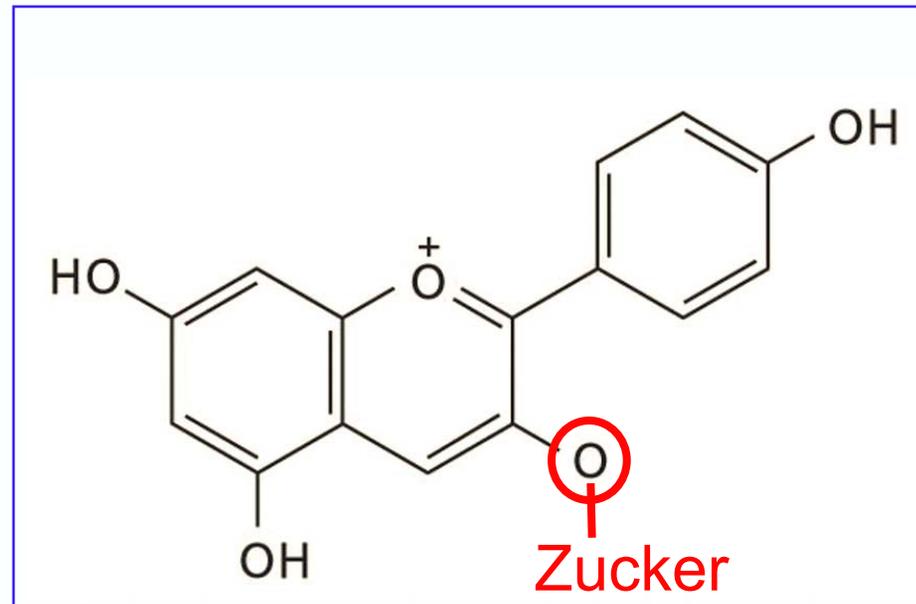
Verändert aus: Taiz & Zeiger -Plant Physiology



Signal molecule
UV-pigment
UV-protection

Anthocyane

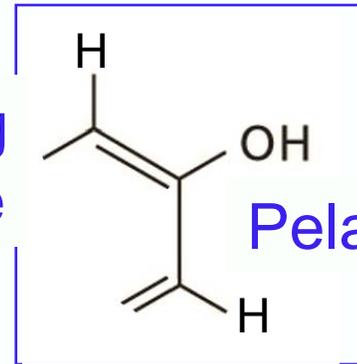
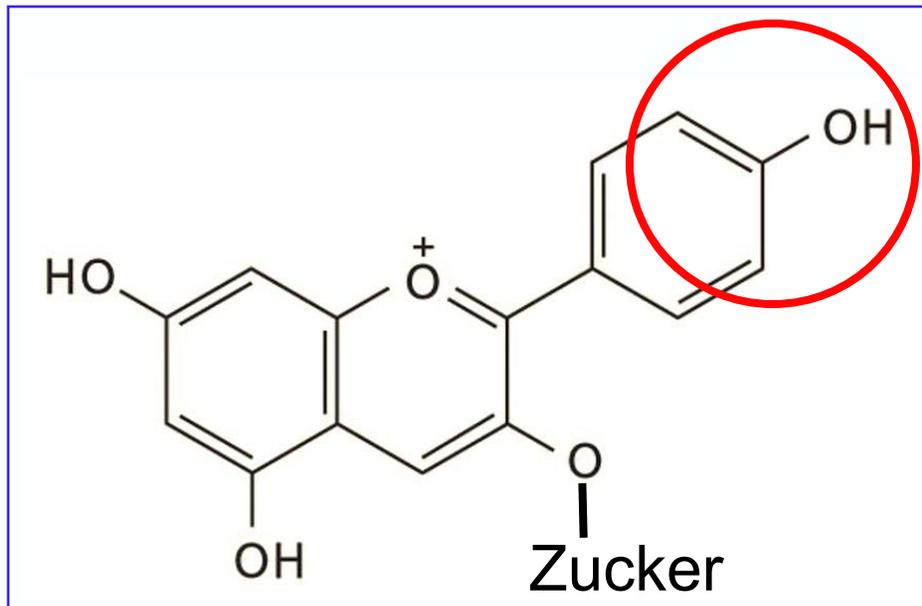
Anthocyanidin: Grundgerüst ohne Zuckergruppe



Anthocyane: wasserlösliche Glykoside

Verändert aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

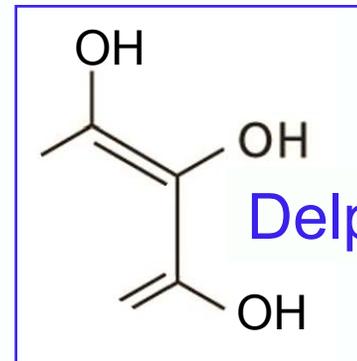
Substituenten am aromatischen Ring beeinflussen die Farbe der Pigmente



Pelargonium



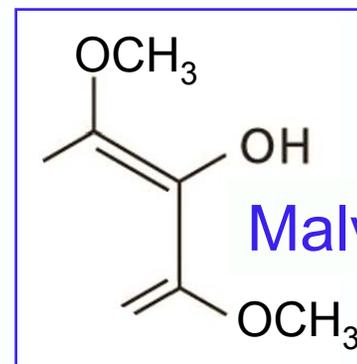
Pelargonidin



Delphinium



Delphinidin



Malva



Malvidin

<http://www.depropagators.com/MoonlightOrange.jpg>
<http://www.johnsgardenrailway.com/images/BevsFlowers/2001/Delphinium.jpg>
<http://www.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/bluetenfarbstoff/bluetenfarbstoff.htm>

Biotechnologie: Blaue Rosen



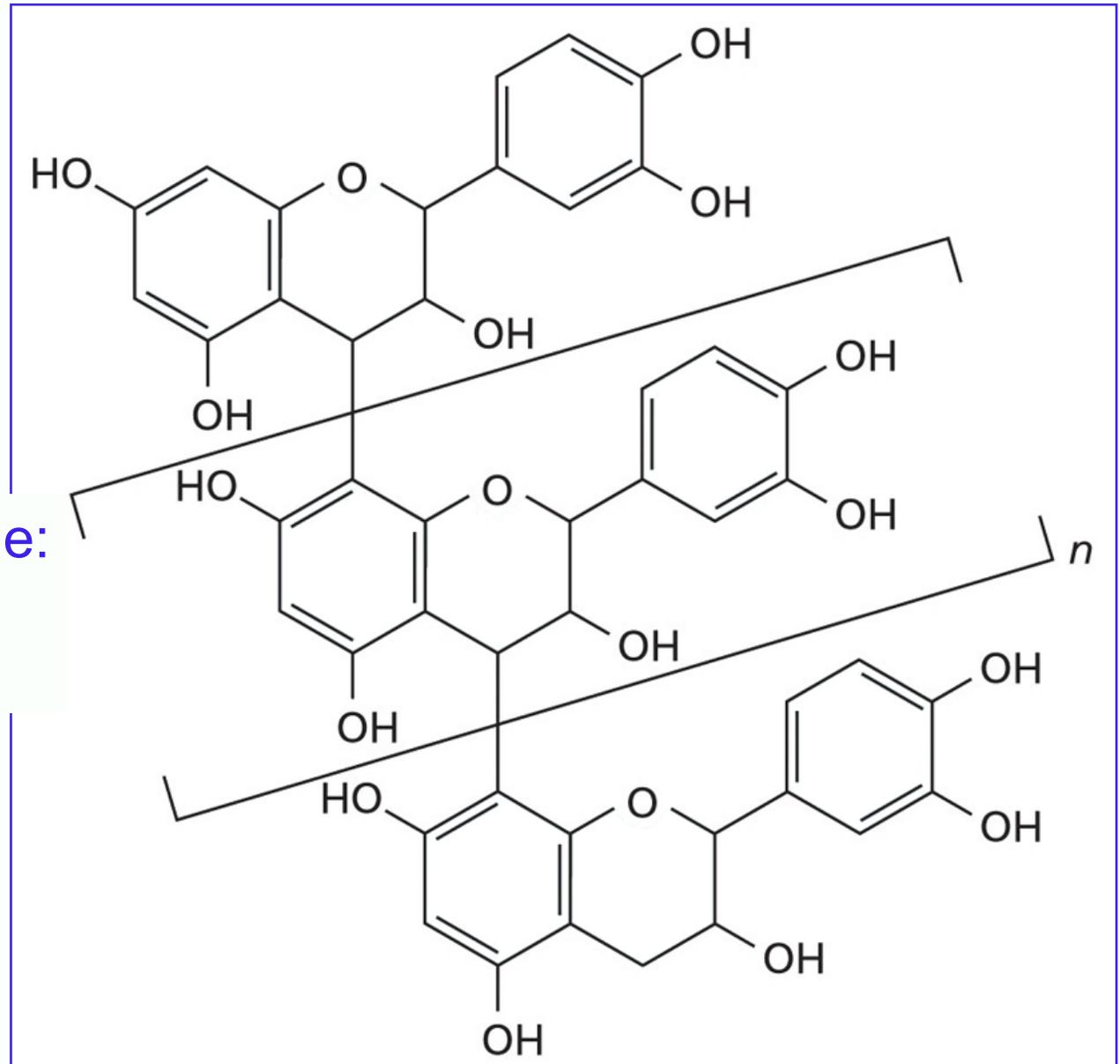
Rosen transformiert mit
Genen für
Delphinidin-Biosynthese

<http://www.suntory.com/esuntory/biotechnology/flower.html>
AP Photo/Shizuo Kambayashi

Tannine (Gerbstoffe)

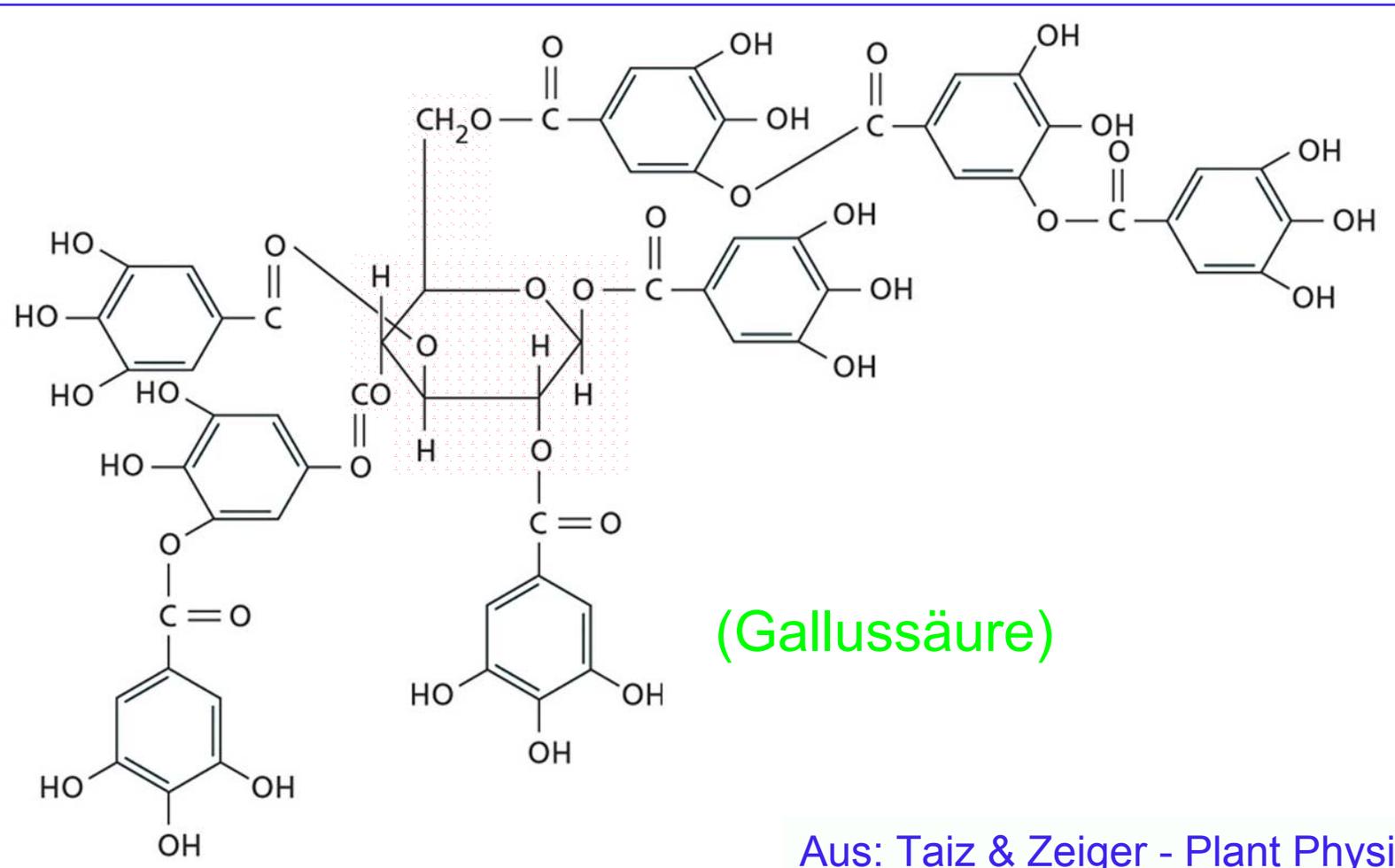
A)

kondensierte Tannine:
Flavonoid-Polymere
(Proanthocyanidine)



Tannine

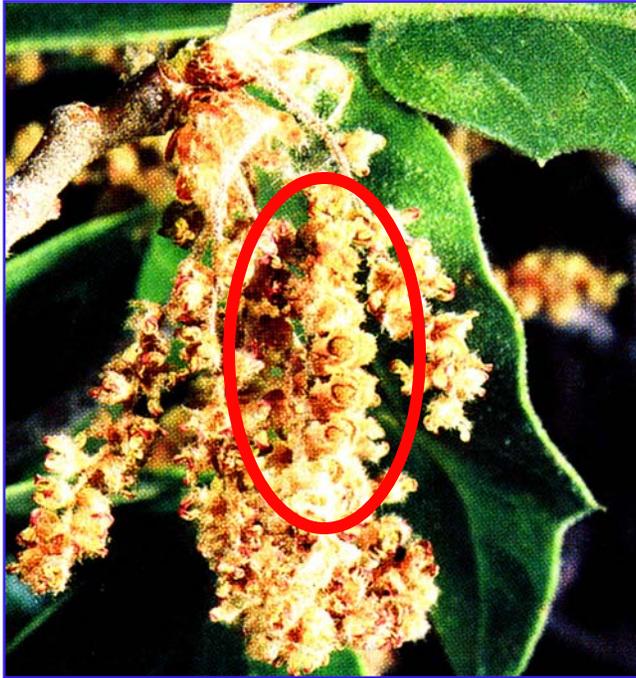
B) hydrolysierbare Tannine: heterogene Polymere aus einfachem Zucker und phenolischen Säuren



Aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

Tannine:

“Die Raupe ist, was sie isst”



Frühling:

Raupe (*Nemoria arizonia*)
ernährt sich von Eichenblüten
mit tiefem Tanningehalt



Tannine:

“Die Raupe ist, was sie isst”



Sommer:

Raupe (*Nemoria arizonia*)
ernährt sich von Eichenblättern
mit hohem Tanningehalt



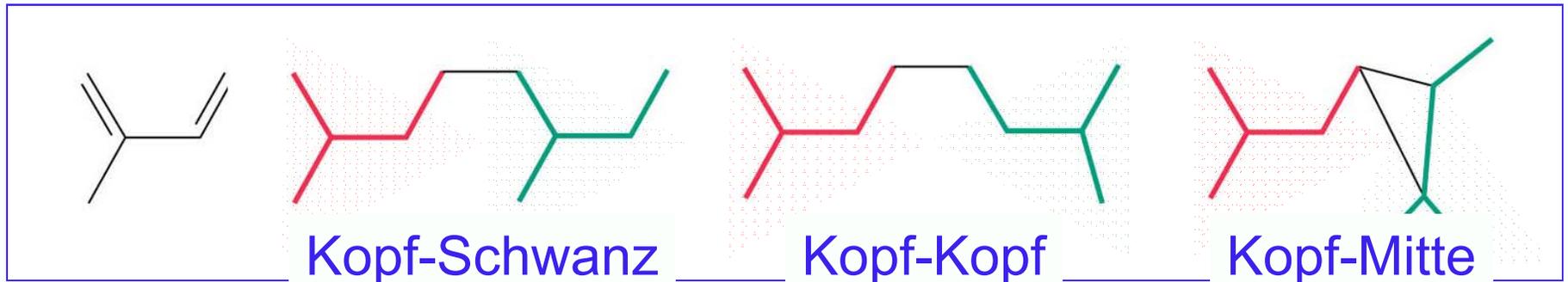
4. Lektion

26.01.2005

- Isoprenoide (Terpenoide)
(Pflanzenbiochemie: S. 423 – 444)

Terpene (Isoprenoide)

grundlegendes Strukturelement: Isopren C₅



verschiedene Verbindungsarten

Verändert aus: Biochemistry & Molecular Biology of Plants

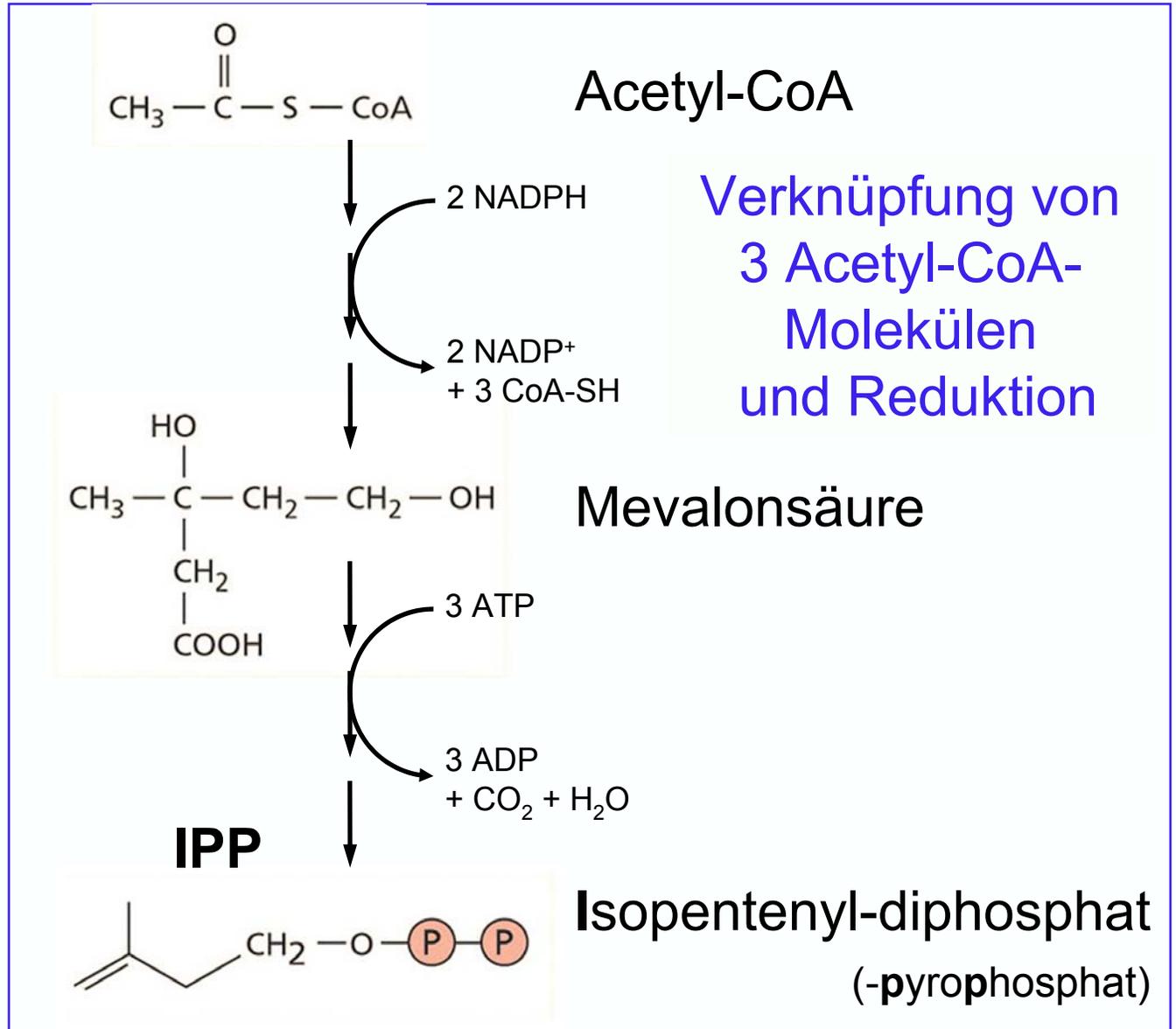
Terpene

C_{10} : 2 x (C_5)	Mono-terpene	in ätherischen Ölen (Menthol) und Harz (Pinen)
C_{15} : 3 x (C_5)	Sesqui-terpene	Frassabwehrstoffe (Gossypol: Sesquiterpen-Dimer)
C_{20} : 4 x (C_5)	Di-terpene	Pflanzenhormone (Gibberelline) Gifte (Phorbol, Taxol)
C_{30} : 6 x (C_5)	Tri-terpene	Sterole (in Zellmembran, Phytoecdysone etc.) und Limonoide (Azadirachtin)
C_{40} : 8 x (C_5)	Tetra-terpene	Pigmente (Carotinoide)
n x Isopren (C_5)	Poly-terpene	Kautschuk

Biosynthese der Terpene

A)

**Acetat-
Mevalonat-
Weg**
(“klassisch”;
cytoplasmatisch)

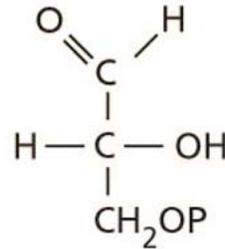


Biosynthese der Terpene

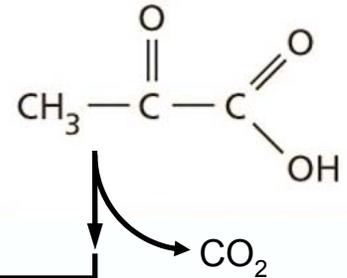
B)

**MEP-
(DOXP)-
Weg**
("alternativ";
plastidiär)

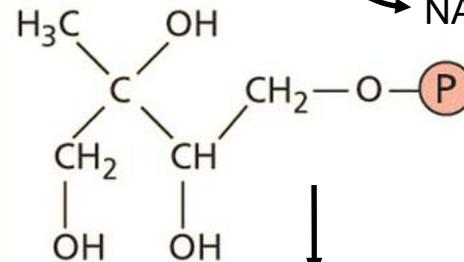
Glycerinaldehyd
3-Phosphat



Pyruvat



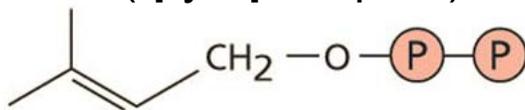
Methylerythritol-
phosphat (MEP)



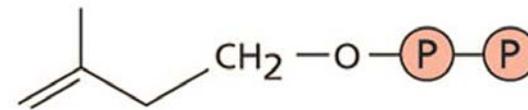
NADPH

NADP⁺

Dimethylallyl-
diphosphat
(-pyrophosphat)



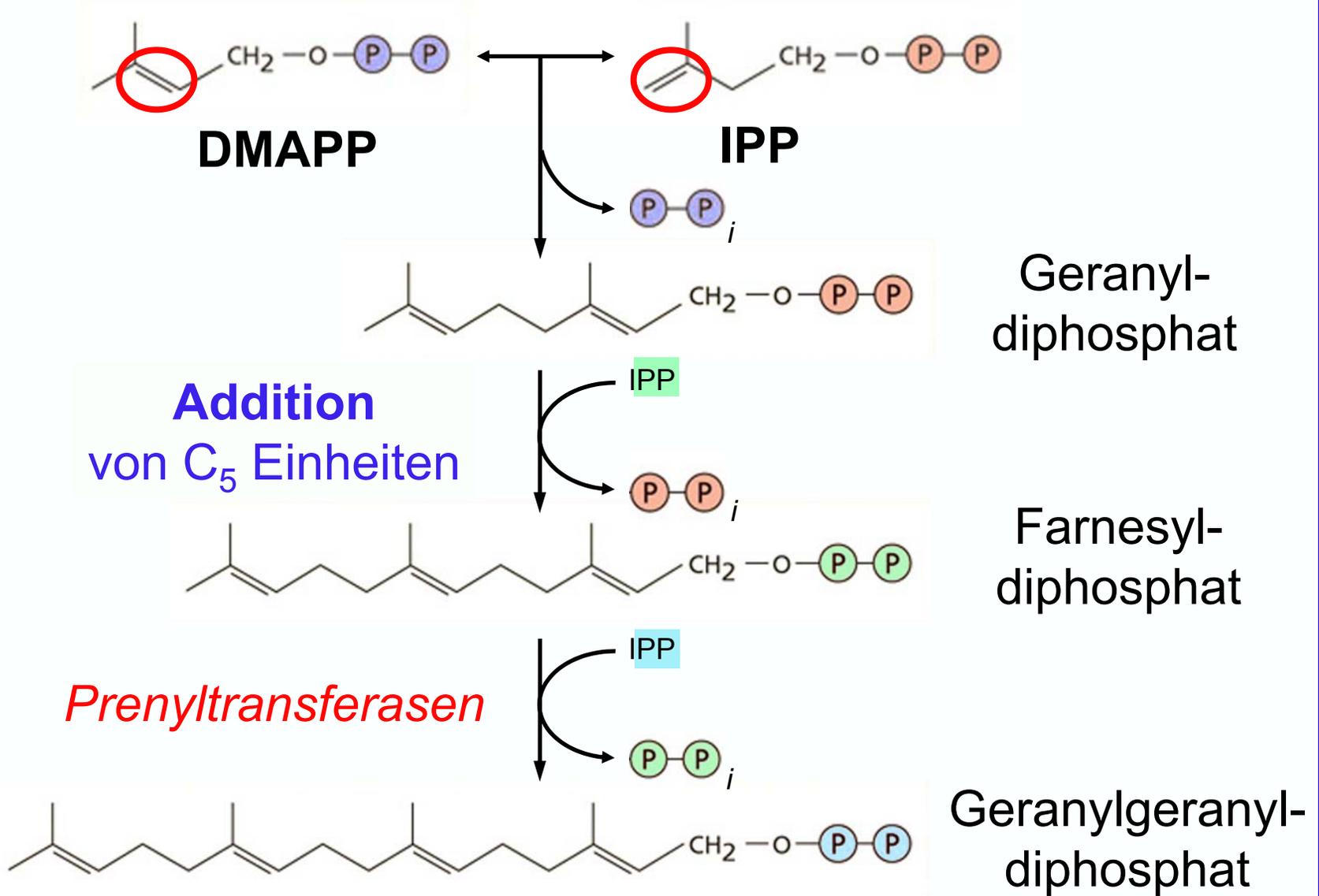
DMAPP



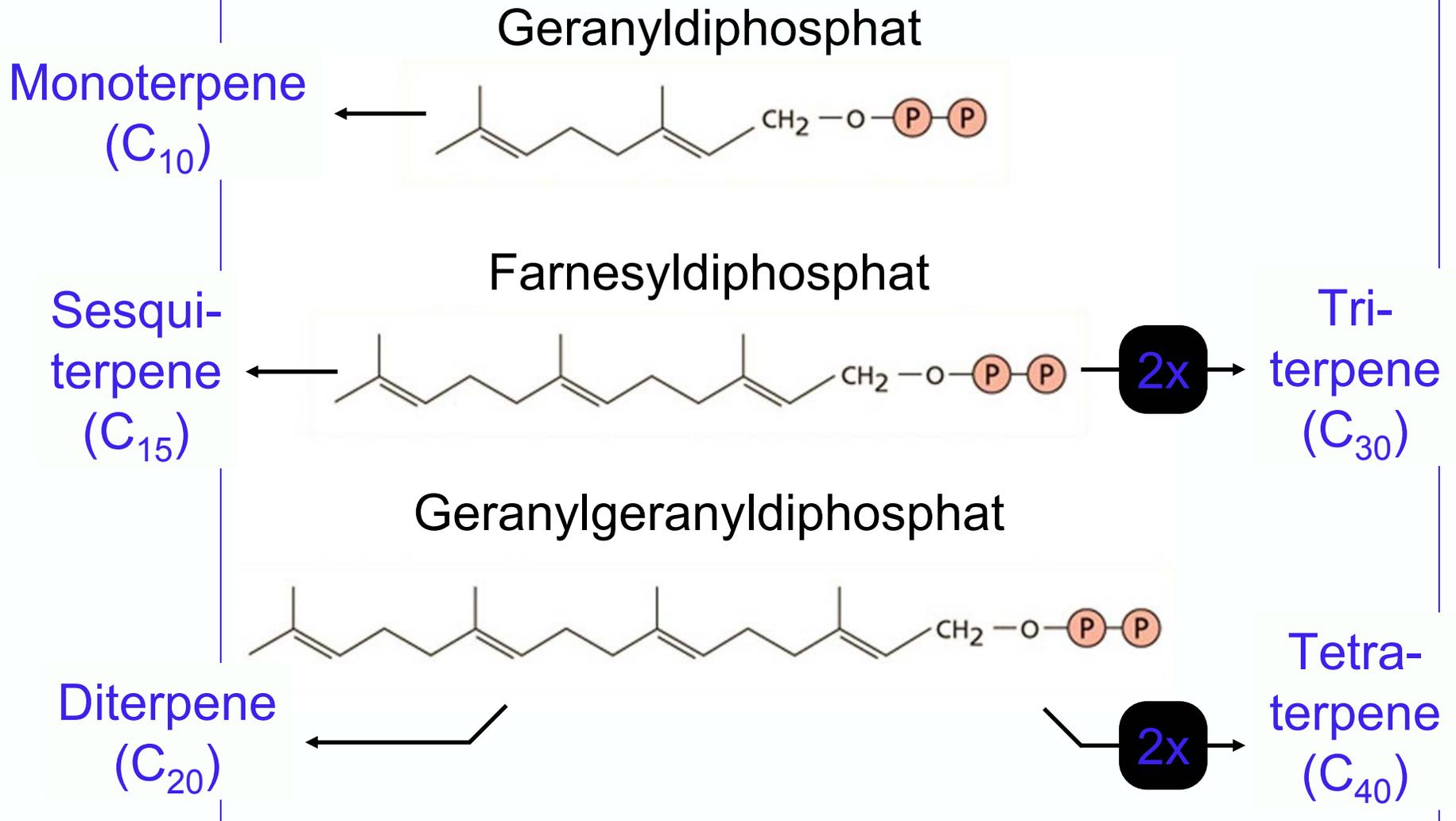
IPP



Biosynthese der Terpene



Biosynthese der Terpene



Verändert aus: Taiz & Zeiger - Plant Physiology

5. Lektion

02.02.2005

- Alkaloide, cyanogene Glykoside, Glucosinolate (Pflanzenbiochemie: S. 416 – 422)
- „Über das Opium, das den Schmerz besiegt und die Sucht weckt“

Alkaloide

basische Pflanzenstoffe mit vorwiegend heterozyklisch eingebautem Stickstoff und potentiell starken Wirkungen auf Nervensystembereiche

Beispiele für nicht-pflanzliche Alkaloide

Mutterkorn (*Claviceps purpurea*)
synthetisiert Lysergsäure
und andere Mutterkornalkaloide



http://botit.botany.wisc.edu/toms_fungi/oct99.html

Beispiele für nicht-pflanzliche Alkaloide

Kugelfisch (*Fugu sp.*) ...



<http://www.pacificislandscuba.com/nikki/002/2001/fugu.jpg>

<http://www3.ocn.ne.jp/~baika/top.html>

Beispiele für nicht-pflanzliche Alkaloide

... enthält Nervengift Tetrodotoxin



<http://www.wschool.net/wisdom/restaurant/images/15foodyamaguchi7.jpg>



http://www.stugna.kiev.ua/stories/morskaya_smes/fugu.gif

Schlafmohn - *Papaver somniferum*

[http://www.uib.es/depart/dba/botanica/herbari/generes/Papaver/somniferum%20subsp.%20somniferum/Papaversomniferum\(fl\)_d_s.jpg](http://www.uib.es/depart/dba/botanica/herbari/generes/Papaver/somniferum%20subsp.%20somniferum/Papaversomniferum(fl)_d_s.jpg)



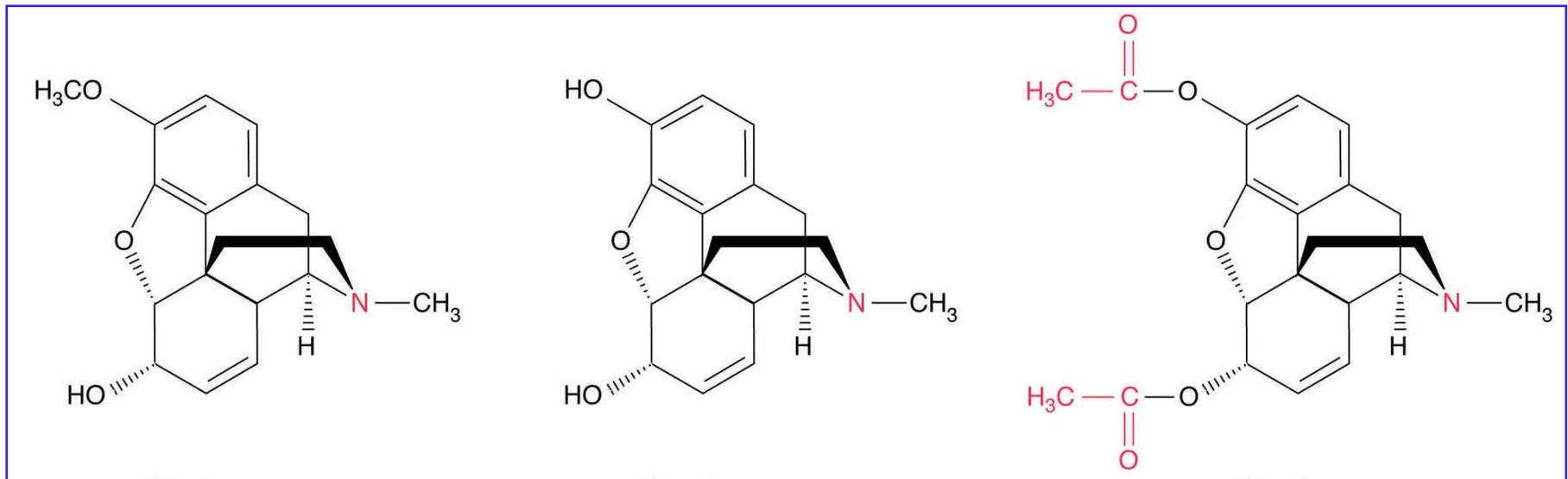
<http://www.suchtzentrum.de/drugscouts/dsv3/stoff/heroinherst.html>

Schlafmohn - *Papaver somniferum*

Codein

Morphin

Heroin



im Latex der Samenkapsel
enthaltene Alkaloide

synthetisches Derivat
von Morphin
(Acetylierung)

*

„Über das Opium, das den
Schmerz besiegt und die Sucht
weckt“

*