

Pflanzenhormone

- Regulation durch Beeinflussung der Zellteilung:
 - Zell-Elongation
 - Zell-Differenzierung

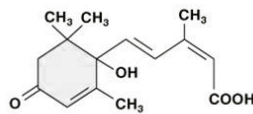
- Bereits geringe Mengen der Hormone sind ausreichend,
 - um die Signal-Transduktionskette auszulösen,
 - → womit das Wachstum reguliert wird

- Die 5 wichtigsten Hormone
 - Auxine
 - Cytokinine
 - Gibberelline
 - Ethylen (Ethen)
 - Abscisinsäure
- Andere Pflanzen-Wachstumsregulatoren
 - Brassinosteroide
 - Salicylsäure
 - Jasmonsäure
 - Systemin

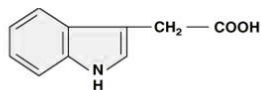
Pflanzenhormone



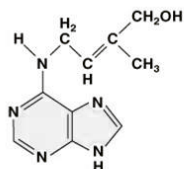
- Eth(y)len



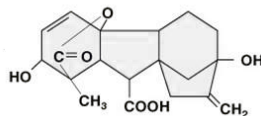
- Abscisinsäure



- Indolesigsäure (IES)



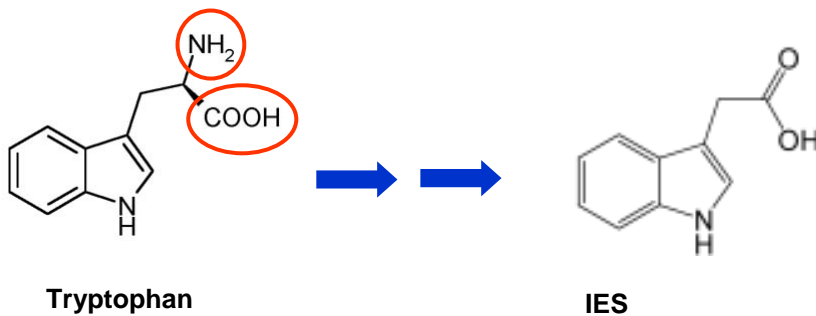
- Zeatin



- Gibberellin

Synthese eines Auxins

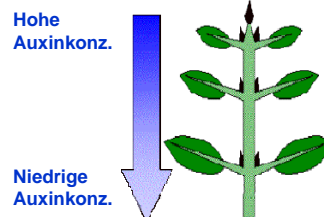
- Das erste entdeckte Pflanzenhormon:
 - Auxin (= "vergrößern, vermehren, fördern..")
 - Tryptophan → → IndolEssigSäure
 - chemisch verantwortlich für
 - Photo- und
 - Gravitropismus



Auxine

- Auxin (z.B.: IES) verantwortlich für
 - Zellstreckung und
 - Apikaldominanz
- Beim basipetalen Transport (d.h. von der Spross-Spitze abwärts) stimuliert Auxin das Streckungswachstum der Sprossachse (durch Zellstreckung).
- Wirkungsoptimum der Stimulation:
 - im Konz.-Bereich von 10^{-8} bis 10^{-3} mol/l (0,01 μ M - 1 mM).
- Bei höherer Konzentration wirkt Auxin *hemmend*
 - z.B. bei Überproduktion
 - (Versuch m. Koleoptilen)
 - → scheinbar paradoxe Wirkung.
 - → Auxin-Überproduzierer

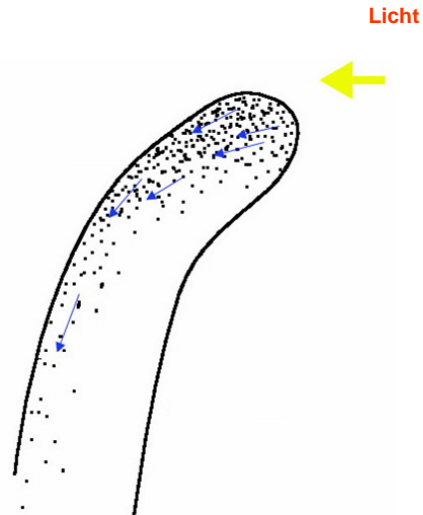
- Kontinuierl. Auxinproduktion im Sproß → Gradient:



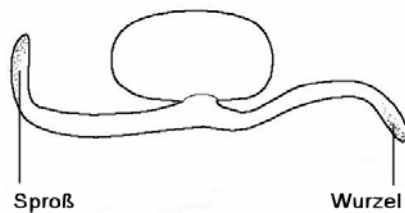
Einseitige Beleuchtung von Koleoptilen

- SOLLTE MAN WISSEN:
- → IES bewegt sich vom Licht weg
- IES wird von Licht **nicht deaktiviert!**
- IES wird später enzymatisch abgebaut

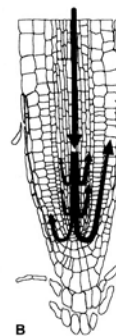
- Anreicherung von Auxinen an der Schattenseite stimuliert Zell-Elongation
- → Biegung – Positiver Phototropismus



Horizontal gelagerter Keimling

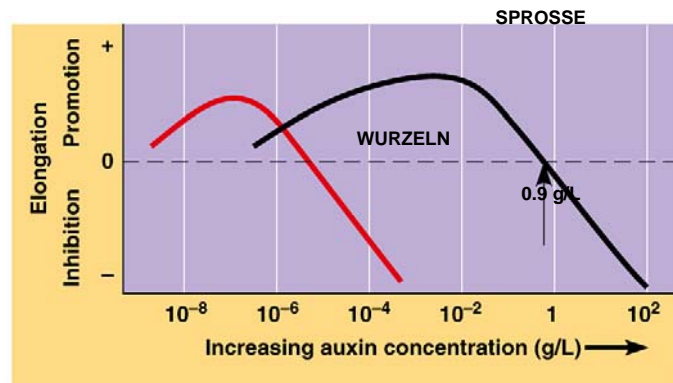


- **Auxin-Anreicherung:**
 - an der unteren Seite des Gewebes
- **Differenzierte Auxinwirkung:**
 - Anreicherung **im Sproß: Stimuliert** das Wachstum auf der Unterseite
 - → Sproß wächst nach oben (Zellen **schieben** von unten nach oben)
 - → 'negativer Geotropismus'
 - Anreicherung **in der Wurzel: hemmt** das Wachstum auf der Unterseite
 - → Wurzel wächst nach unten (Zellen **schieben** von oben nach unten)
 - → 'positiver Geotropismus'



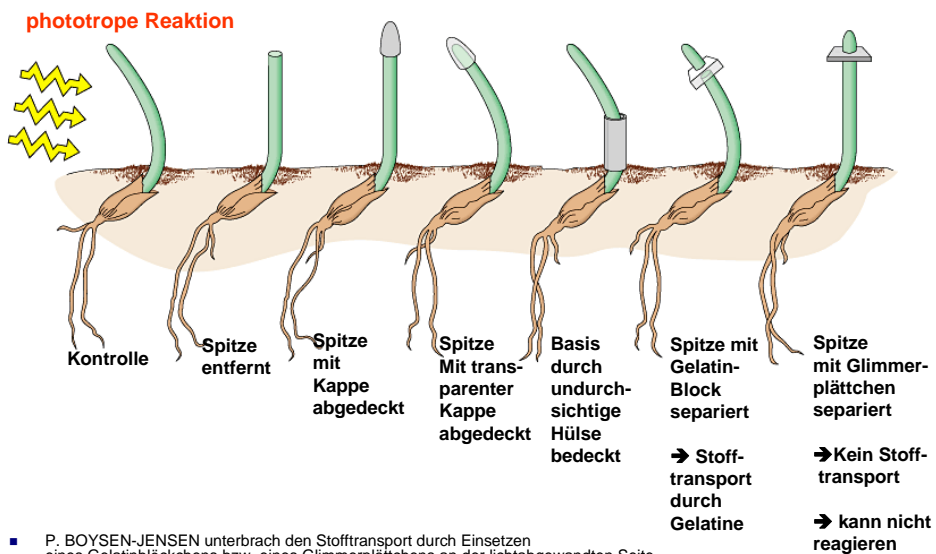
Auswirkung Konz-. u Gewebespezifisch

- Produktion des Auxins in den Apikal-Meristemen des Sprosses
 - In verschiedenen Konzentrationen:
 - stimuliert oder hemmt Auxin (IES) die Elongation von Sproß und Wurzeln



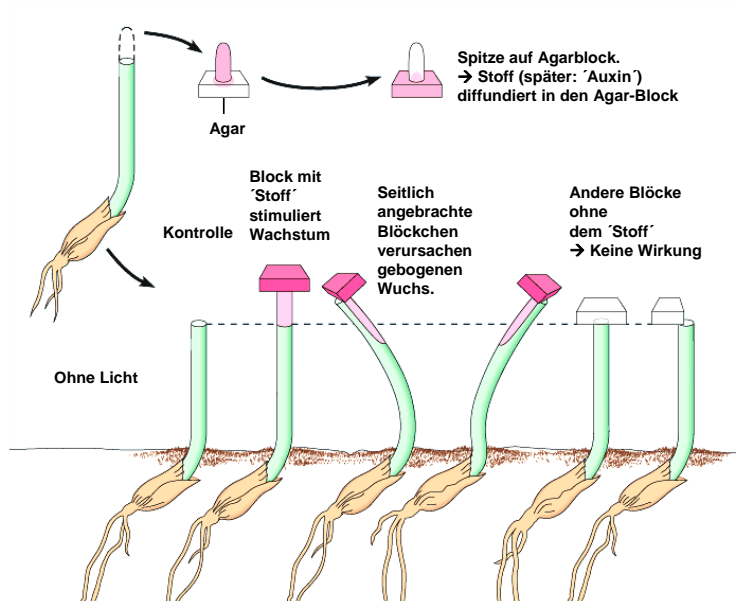
B. Cummings©

Phototropismus-Experimente an Koleoptilen



- P. BOYSEN-JENSEN unterbrach den Stofftransport durch Einsetzen eines Gelatinblockchens bzw. eines Glimmerplättchens an der lichtabgewandten Seite (aber nicht ganz durchtrennt)
- → Trennung zw. Koleoptilspitze und darunterliegendem Gewebe (1913)
- Das Ergebnis: Die phototrope Reaktion unterblieb
- → kein Transport eines Effektors "um die Ecke herum"

Frits Went's Experimente

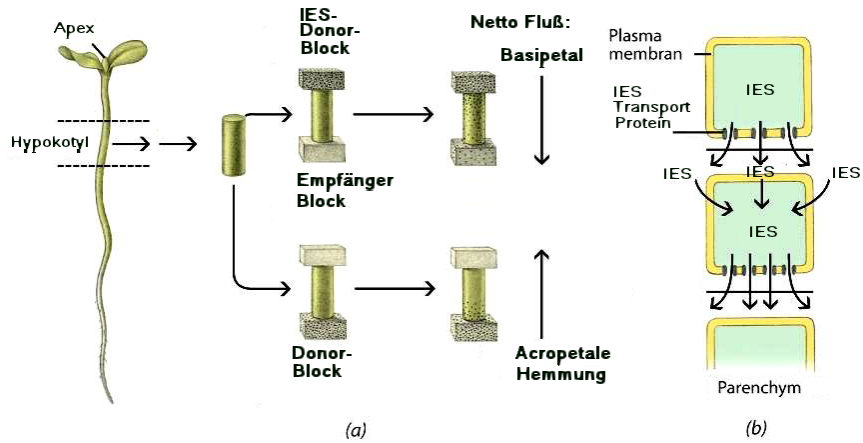


■ Frits WENT

Auxine (IES = IAA) und Derivate

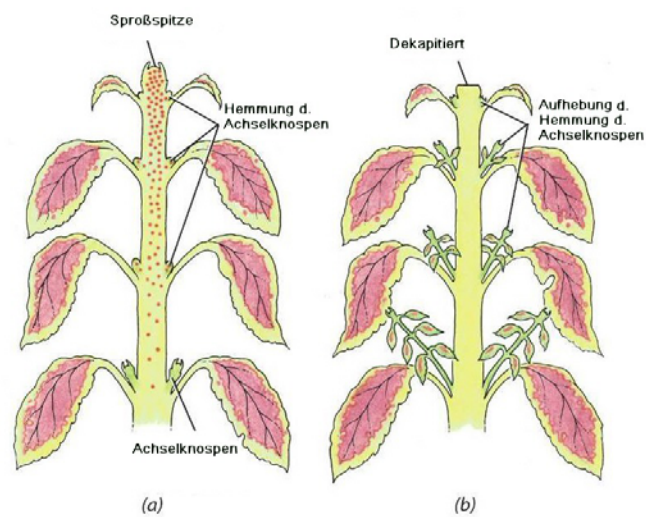
- Bildung
 - im Sprossvegetationspunkt und
 - in der Basis von Blättern
- Photo und Gravitropismus
- Streckungswachstum von:
 - Koleoptilen,
 - Sproßachsen und
 - Wurzel
- In *hohen* Konzentrationen:
 - Förderung der Ethen-Produktion
 - → Hemmung
- Steigern Zell-Teilungsrate im Kambium
 - → Stimulieren sekundäres Dickenwachstum
- Differenzierung von Leitbündeln
- Stoppt den Blattfall
- Fördert Aufbrechen von Baumknospen
- Fördert Plasma-Strömung

Auxin: polarer Transport



- **Experiment** zum Nachweis des polaren Auxin-Transports ... →
 - Innerhalb einer Pflanze existiert ein Auxin-Gradient
 - Polarer Transport in Parenchymsträngen abwärts
 - [Tracing: mittels radioaktiver Markierung des IES]

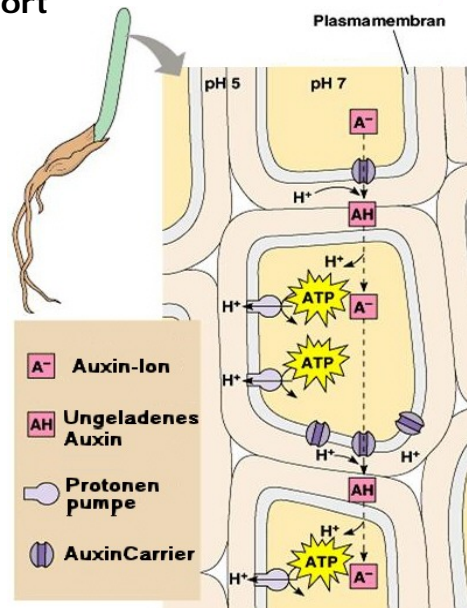
Apikal-Dominanz



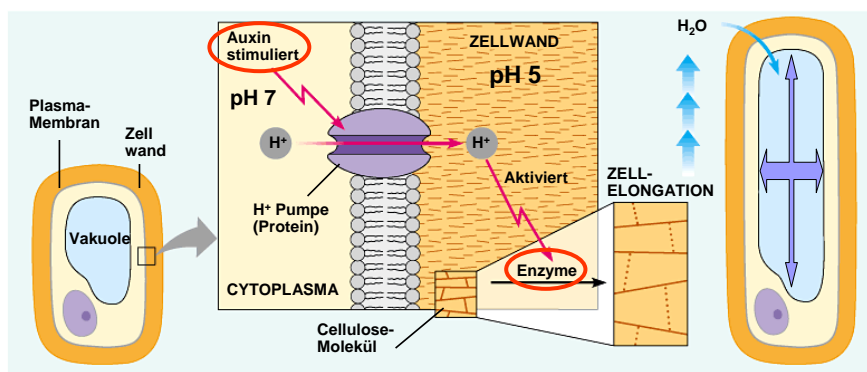
- **Auxin** wird aus der Spross-Spitze nach unten transportiert und *unterdrückt* die Seitensprossbildung.
- **Cytokinin** wird aus der Wurzel nach oben transportiert und *stimuliert* die Seitensprossbildung.

Gerichteter aktiver Transport

- Zell-zu-Zell-Transport
 - In Zelle: Auxin deprotoniert
 - Zellwand: Auxin protoniert
 - (1 cm pro Std.)
- pH-Gradient
 - pH 7 im Cytosol
 - pH 5 in der Zellwand
 - „influx carrier“ transportieren selektiv protonierte
 - und
 - „efflux carrier“ deprotonierte Auxin-Moleküle.
 - → Gravitrope Orientierung:
- Aktive Auxin-Beladung: erfolgt entgegen dem Konz.-Gefälle im Apikalmeristem
- → Gerichteter Transport von Auxin durch polar angeordnete Transport-Proteine



Wie stimuliert Auxin das Zell-Wachstum ?



- Auxin kann durch Ansäuerung die Zellwand aufweichen
 - → Saure Hydrolyse
 - → Cellulose lockert sich
 - → Zelle kann elongieren

Auxine → Gen-Transkription → Expression

- Auxin → schnelle Transkription div. Gene:
- v.a. SAUR-Gene (engl. *small auxin-up-regulated RNA-genes*)

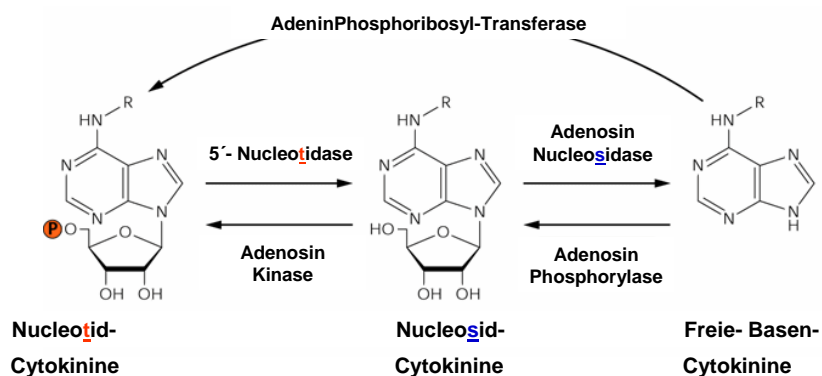
- Promotor für das SAUR15A-Gen der Sojabohne enthält 2 Sequenzen, die auf Auxin reagieren: TGTCTC und GGTCCCAT
 - [Y. Li et al. *Plant Physiol.* 106 (1994) 37-43].

- Proteine, deren Gene auf Auxin reagierende Elemente enthalten:
 - Aktivatoren oder Repressoren von Genen
 - → → Reaktionskaskade
 - z.B. Proteine PSIAA6 und PSIAA4 (bei Erbse).

- → extrem schnelle Transcription nach Auxin-Induktion
- kurze Halbwertszeit (7 min)
- beide tragen vermutlich ein DNA-bindendes Strukturmotiv
 - [S. Abel et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91 (1994) 326-330].

Cytokinine

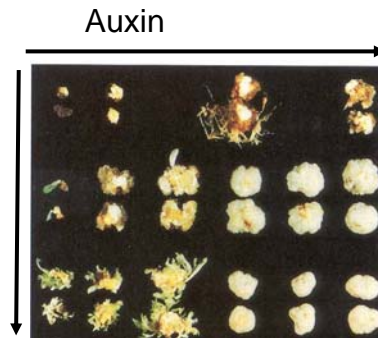
- Cytokinine – Die Wurzelhormone
- Entdeckt durch Folke Skoog im Labor ..
- Cytokinin-Biosynthese: → Mehrere Wege [Siehe auch Kapitel PURINE](#)



Cytokinine stimulieren die Zellteilung

- Cytokinine werden *hergestellt*
 - in Wurzeln
 - Embryos und
 - Früchten
- Der **Antagonismus von Auxin und Cytokinin** ist EIN Weg, mit dem die Pflanze das
 - Wachstum und die
 - Entwicklung

Cytokinin

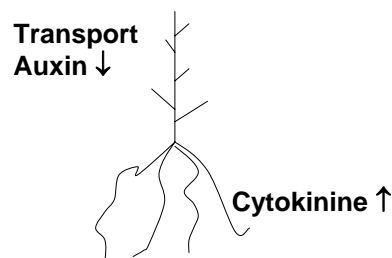


von Wurzel und Sproß-Systemen koordiniert

- Cytokinine – ermöglichen das Wachstum von Kalluskulturen
- Die Mischung von Auxin und Cytokinin bestimmt, ob sich
 - → "Wurzel"
 - → "Sproß, oder
 - → Kallus
 .. entwickeln

Cytokinine können Effekte des Auxins ausgleichen

- **Cytokinine**
 - verzögern die Seneszenz
 - können die Seneszenz sogar umkehren!
 - können die Apikal-Dominanz brechen
- **Z. Beispiel Basilikum:**
- **Endknospen entfernt**
- **Hemmender Effekt von Auxin**
- **Cytokinine aus Wurzel:**
aktivieren Seitenknospen
- ➔ **Verzweigung**



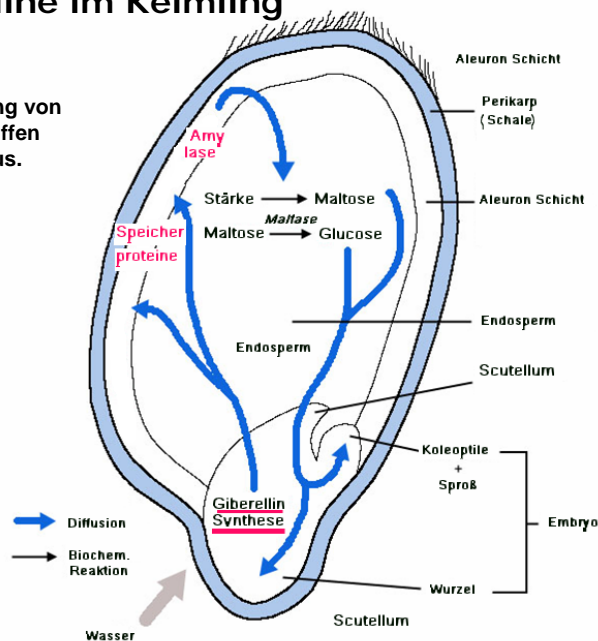
Gibberelline

- = große Familie von Verbindungen mit wenigen biologisch aktiven Angehörigen
 - 'Gibberellic Acids' = GA
- gefunden als Toxin, produziert von *Giberella fujikuroi*
 - → starkes Etiolieren der Pflanzen
 - → "Getreide-Lagern"
- Notwendig für die Sproß-Elongation
- Zwerg-Mutanten exprimieren oft keine Gibberelline
- **Gibberelline stimulieren**
 - die Zell-Elongation und
 - Zell-Teilung in
 - Sproß und
 - Wurzeln
 - Keimung
 - Entwicklung von Blüten



Gibberelline im Keimling

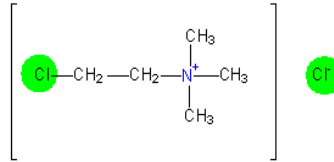
- lösen die Mobilisierung von Speicherstoffen in Samen aus.



Antagonist zu Gibberellinen (GA): CCC

CHLOR-CHOLIN-CHLORID
2-Chlorethyltrimethylammonium (quartäres Ammoniumsalz)
Chlormequat

= Cycocel



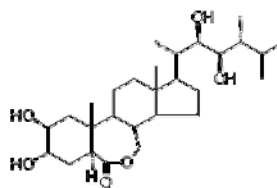
Wirkung

- **Antagonist zu Gibberellin** → Nodienverkürzung
- Zellwachstum ↓
- Wurzelwachstum ↓
- Spitzenmeristem wird gehemmt
 - → Stauchung
 - → Pflanze wirkt kompakter
- Lagerung von Getreide ↓ („Kurzspritzen“)
- Blüte früher → vorzeitiges Beenden der vegetativen Phase
- (Azaleen, Rhododendren, Erica-Arten, Obstbäume)

Weitere systemisch wirkende Botenstoffe

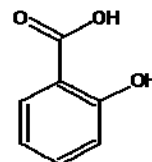
□ Brassinosteroide:

- Wachstum und Entwicklung
- Sproß-Elongation
- Hemmt Seneszenz



□ Salicylsäure:

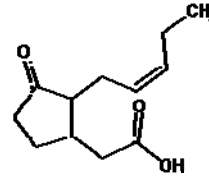
- SAR: „Systemically acquired resistance“
- produziert nach Wasserstress
- Antagonist zu ABA
- Verzögert Seneszenz
- S. reguliert durch Ethylen-Biosynthese
- Induziert Blüte
- Hemmt Keimung



Neu entdeckte Phytohormone

■ Jasmonsäure:

- entsteht aus Fettsäure: Linolensäure
- vermittelt „Wundreaktionen“ und Abwehr
- systemische Abwehr von Fraßfeinden



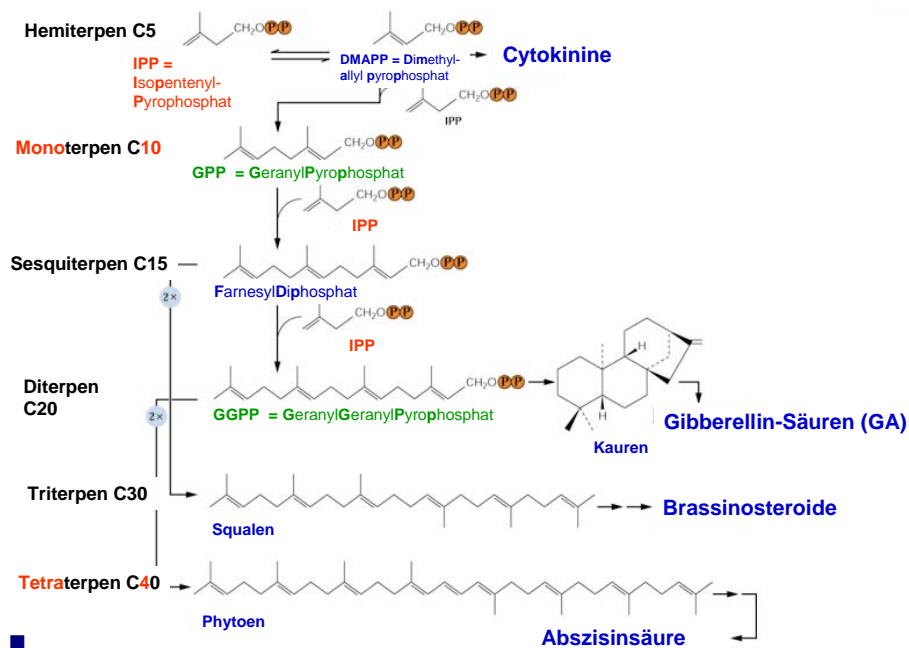
■ Systemin

- Ein Peptid aus 18 AS:
- z. B. bei Verletzungen produziert
- Können von Pflanze zu Pflanze diffundieren
- bilden eine Art "Alarmsystem"



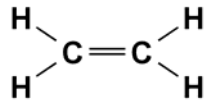
Systemin aus Tabak

Pflanzenhormon-Biosynthese



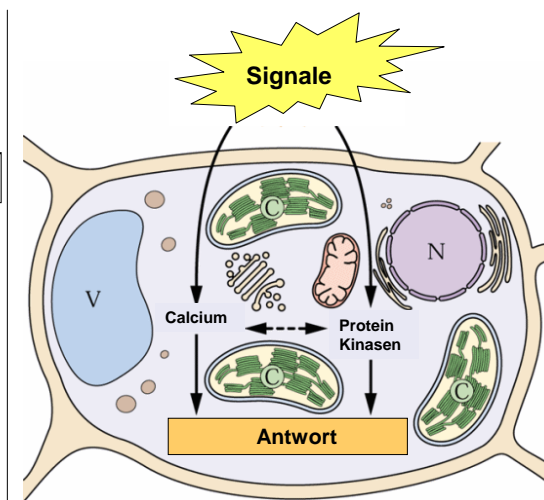
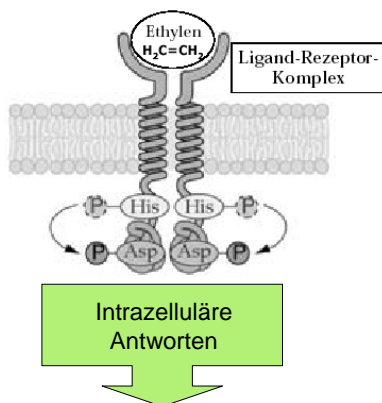
Ethylen: C₂H₄

- Das kleinste Hormon,
 - ein Gas
- Ethylen diffundiert durch die Lufträume zwischen
 - Zellen und
 - benachbarten Pflanzen
- löst Blattabwurf aus (Antagonist zu Auxin):
 - 1. Hemmung der Hypokotyl-Streckung (Bereich zwischen Wurzel und Keimblättern)
 - 2. Hypokotyl-Verdickung
- Wichtig für
 - Keimung
 - Fruchtreifung
- Geschlechts-Differenzierung in Pflanzen



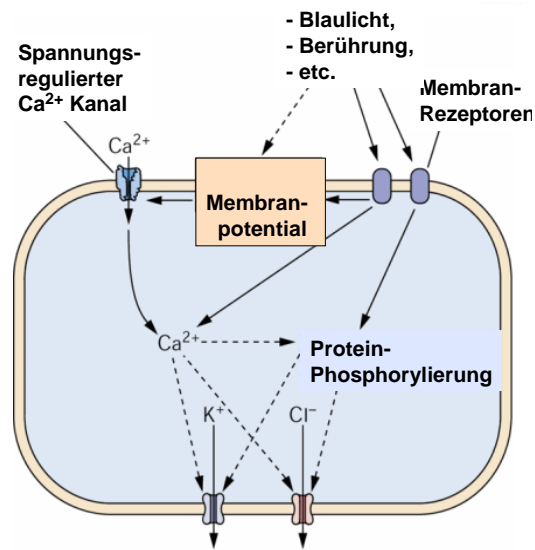
Ethylen-Rezeptor

- „Zwei-Komponenten“-
Signalsystem in Pflanzen



Signal-Übertragung

- **Rezeptoren an der Zelloberfläche**
 - integrale Membranproteine die an Hormone binden
 - Können "Messenger-Kaskaden" auslösen
Z.B. Ethylen-Rezeptor → → →
 - Die Wirkung eines Hormons bestimmt durch:
 - die aktuelle Hormonkonzentration
 - die Gewebespezifität und
 - Entwicklungsabhängige Ausprägung der Hormonrezeptoren
- → Membranpotential der Zelle



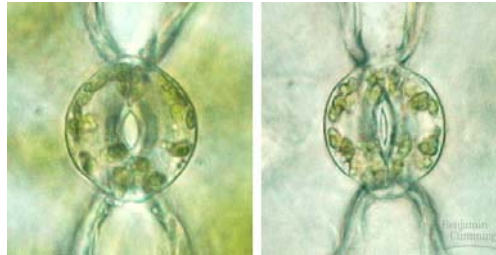
Künstliche Hormone ...

Klasse	Endogenes Hormon	Wachstumsregulator
■ Auxin	Indolessigsäure	Naphtylessigsäure (NES) 2,4-D u.a.
■ Cytokinin	Zeatin, Zeatinribosid	Kinetin, BAP, (TDZ)
■ Gibberellin	GAx...125	GA3, GA4+7
■ Ethylen	Ethylen	Ethin, Ethephon, Ethrel
■ Abscisinsäure	Abscisinsre. (ABA)	

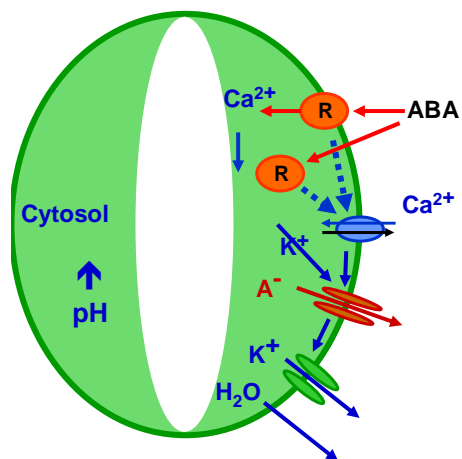
Abszisisäure (´Abscisic acid´ = ABA)

- Abkömmling des Isoprenoid-Stoffwechsels (Xanthophyll-Biosynthese)
- Wichtig bei Wasser-Stress und anderen Stress-Arten
- Verursacht Spaltenschluß
- Verhindert vorzeitiges Auskeimen von Samen (...Apfel)
- Verändert Gen-Expressionsmuster
- = **Hormon von Repressoren:**

- ABA Transport via Ionen-Kanäle
- ABA fördert die Dormanz
 - =endogene Ruhe von Samen und Knospen
- Auslösung von Trockenresistenz!



Modell für das ABA-induzierte Schließen



- I. ABA bindet an Membran-Rezeptor
- II. → Öffnung von Kanälen
erlaubt Einstrom von Ca^{2+}
- III. Ca^{2+} aktiviert Anionenkanäle
→ Depolarisierung des Membranpotentials
- IV. → Öffnen von spezif. K^+ Kanälen,
→ K^+ Ausstrom
→ H_2O folgt osmotisch nach
→ Erschlaffen des Turgors
→ Spalten-Schluß