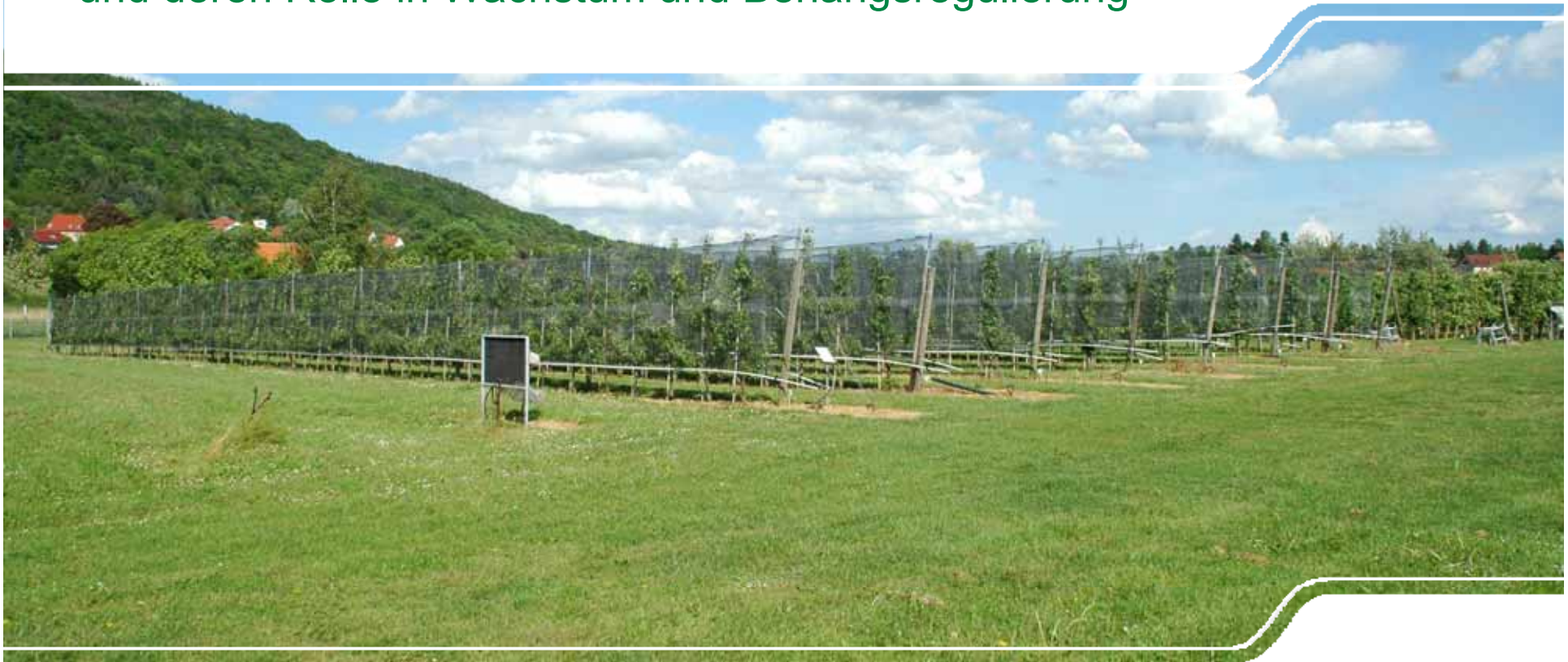


Phytohormone

und deren Rolle in Wachstum und Behangsregulierung



Was sind Phytohormone?

„...niedermolekulare Signalstoffe,

die in ... fast allen Pflanzen vorkommen, in niedrigen Konzentrationen ...

charakteristische physiologische Reaktionen auslösen

und deren Bildungs- und Wirkungsort in der Regel nicht identisch sind.“

(Kadereit *et al.* 2014; Straßburger-Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften)

Welche Phytohormone kennen wir

■ Pflanzenentwicklung:

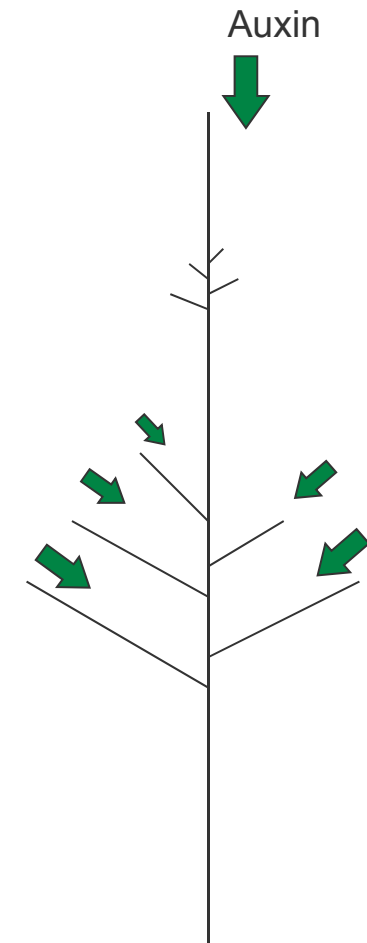
- Auxine
- Gibberelline
- Cytokinine
- Abscisinsäure
- Ethylen
- (Brassinolide)

■ Induktion pflanzlicher Abwehr:

- Salicylsäure
- Jasmonsäure

Auxine und die apikale Dominanz

- Bildung in Terminalknospe
 - polarer basipetaler Transport
 - NICHT zwingend entgegen der Schwerkraft
- Seitenknospen
 - Austriebshemmung
- Ersetzen der Terminalknospe durch auxinhaltige Paste
 - apikale Dominanz

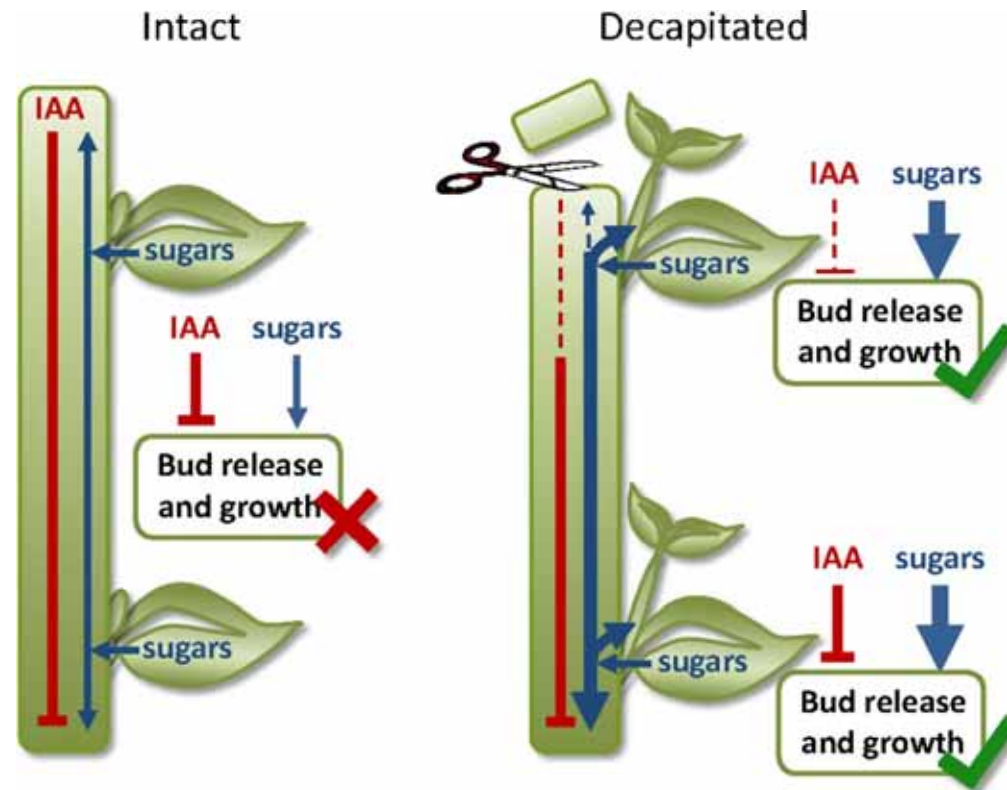


Apikale Dominanz – Umleitung von Zucker

Sugar demand, not auxin, is the initial regulator of apical dominance

Mason *et al.*

PNAS 2014;111:6092-6097



Auxine – Streckungswachstum

I Zellebene

I Säure-Wachstums-Hypothese

I Ansäuern des Zellwandraumes

→ Aktivierung von Enzymen und Lösen von Wasserstoffbrücken

→ De- und Repolymerisation von Zellwandpolymeren

I Anstieg des Turgors (Zellinnendruck)

→ plastische Verformung der Zelle

Auxin und sein Einfluss auf die Fruchtgröße

**A genomics approach to understanding the role of auxin in
apple (*Malus x domestica*) fruit size control**

Devoghalaere *et al.*

BMC Plant Biol 2012;12:7

- Injektion von Auxin zur Zellstreckungsphase
 - Steigerung Fruchtwachstum
 - Auxin als limitierender Faktor des Fruchtwachstums
- Wachstumsphase
 - Herunterfahren Auxin bindender Faktoren

Auxine und der Fruchtansatz

- relativ hohe Konzentrationen im Pollen
 - Bestäubung (noch keine Befruchtung)
 - Übertragung von Auxin (IAA – Indol-3-essigsäure)
 - beginnendes Streckungswachstum der Zellen
 - Fruchtansatz
 - Applikation von Auxinen (geringe Mengen)
 - Fruchtansatz



Auxine und die Hemmung des Blatt-, Blüten- und Fruchtfalls

- Auxin aus Blattspreite, Blüte oder Frucht
 - Transport durch Fruchts蒂el
 - KEINE Ausdifferenzierung des Trenngewebes (Abscissionszone)
- mangelnder Auxintransport
 - fehlende Bestäubung / Befruchtung; abgeschlossene Blatentwicklung
 - Anstieg der Abscisinsäure- und Ethylenkonzentration
 - Ausdifferenzierung des Trenngewebes

Cytokinine – Bildung und Transport

- Hauptbildungsort
 - Wurzelspitzen
 - Verteilung über Xylem (von unten nach oben)
 - junge Blätter
 - sich entwickelnde Samen
- Bildungs- und Transporthemmer
 - Auxin

Cytokinine – Anti-aging der Pflanzen

- Förderung der Chloroplastenentwicklung
 - auch unter Lichtabschluss
- Hemmung der Blattseneszenz
 - verlangsamte Alterung
- Beeinflussung der Fruchtfarbe
 - schlechte Ausfärbung (Chlorophyll)
- Förderung der Zellteilung (bedarf Auxin)

Cytokinine aktivieren Gene der Chloroplasten

Cytokinin stimulates chloroplast transcription in detached barley leaves.

Zubo et al.

Plant Physiol 2008, 148:1082–1093

- Chloroplasten
 - Hauptziel der Cytokinine
- Applikation von 6-BA
 - Anstieg der Chloroplasten mRNA
- Abhängig von
 - Licht und Alter der Gewebes

Cytokinine und die Verlagerung von Nährstoffen

- Organe mit niedriger Cytokininkonzentration
 - Abgabe von Nährstoffen

- Organe mit hoher Cytokininkonzentration
 - Aufnahme von Nährstoffen
 - Attraktionswirkung
 - Abgabe von Nährstoffen → stark vermindert
 - Retentionswirkung

Cytokinine und die apikale Dominanz

- Wirkung als Gegenspieler zu Auxin
 - Aufhebung der apikalen Dominanz

Gibberelline mehr als nur Längenwachstum

- Streckung der Internodienbereiche
 - gestauchter Wuchs durch Hemmung (Prohexadion-Ca)
- Teilweise ähnlich wie Auxine (additive Wirkung)
 - Parthenokarpie bei Äpfeln
 - Streckungswachstum der Zellen
 - Unterschiede im Wirkungsmechanismus (kein Ansäuern des Apoplasten)
 - Wirkung auch auf Fruchtgröße bei Äpfeln

Abscisinsäure - überwiegend hemmende Wirkung

- Bildung nach Stress
 - Wurzel und Blättern

- Funktion der Wasserhaushaltsregulierung
 - Abfall des Turgors unter einen Schwellenwert (nicht definiert)
 - Transport über Xylem mit Transpirationsstrom
 - Spaltöffnungsverschluss

Abscisinsäure als Antagonist

- Hemmung
 - α -Amylase Synthese durch Gibberelline
 - Streckungswachstum durch Auxin
- Umkehrung
 - Hemmung der Blattseneszenz durch Cytokinine
- Abscisinsäure bedingte Ruhezustände
 - Aufhebung durch Gibberelline

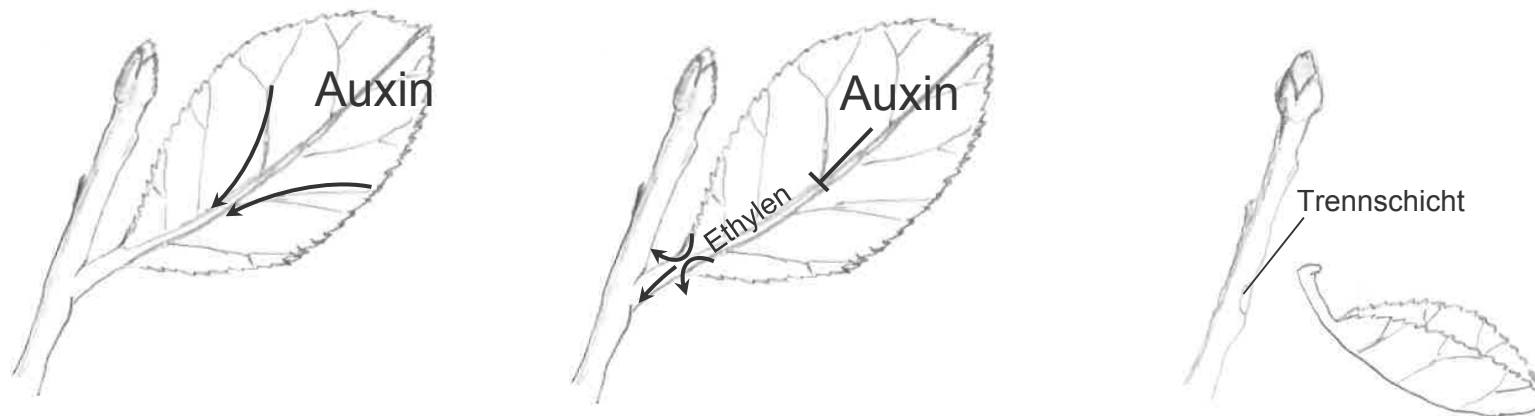
Abscisinsäure und die Knospenruhe

- Beginn der Knospenruhe
 - Anstieg der Abscisinsäurekonzentration
 - Abfall der Gibberellin- und Cytokininkonzentration
- Vernalisation und Ende der Knospenruhe
 - Abfall der Abscisinsäurekonzentration
 - Anstieg der Gibberellin- und Cytokininkonzentration
- Vernalisation und Abscisinsäure
 - Verbleib der Knospenruhe

Abscisinsäure und die Abscission

- Die Abscission fördernde Faktoren
 - Verlust der Auxinversorgung
 - Induktion der Ethylenfreisetzung

→ Auslösung durch Abscisinsäure



Abscisinsäure – Botenstoff für Ethylensynthese

Leaf abscission induced by ethylene in water-stressed intact seedlings of Cleopatra mandarin requires previous abscisic acid accumulation in roots.

Gómez-Cadenas *et al.*

Plant Physiology 1996;112: 401-408.

- Wasserstress nach Überflutung
 - Produktion von Abscisinsäure und Ethylenvorstufen (ACC) in Wurzel
- Applikation von Abscisinsäure
 - ACC-Akkumulation in der Wurzel
- Abscisinsäure und ACC in Wurzel
 - Antwort auf Staunässe → Transport in Xylem → Blattfall

Ethylen und seine drei Gestalten

- Hormon
 - Botenstoff innerhalb eines Individuums
- Pheromon
 - Botenstoff zwischen Individuen einer Art
- Kairomon
 - Botenstoff zwischen Individuen verschiedener Arten

Ethylen und Ethylenbiosynthese

- 1-Aminocyclopropan-1-carbonsäure (ACC)
 - Ethylenvorstufe
 - Biosynthese von ACC über ACC-Synthase
- Induktion der ACC-Synthase-Bildung
 - Verwundung, mechanische Beanspruchung, Überflutung, Trockenheit, Kälte, Lichtmangel und hohe Auxinkonzentration
 - viele widersprüchliche Wirkungen nach Auxinapplikation eigentlich Ethylenwirkung (Ausdünnung, Förderung der Blütenbildung, Wachstumshemmung)

Was passiert bei mechanischem Stress? Ethylenentwicklung und dessen Folgereaktionen

Stress induced ethylene evolution and its possible relationship to auxin-transport, cytokinin levels, and flower bud induction in shoots of apple seedlings and bearing apple trees

Sanyal & Bangerth

Plant Growth Regulation 1998; 24:127–134

- Abbinden vertikaler und Hochbinden horizontaler Triebe:
 - signifikanter Anstieg der internen Ethylenproduktion
 - Rückgang des polaren Auxintransports und des Cytokininlevels
 - Erhöhung des prozentualen Anteils an Blütenknospen

Ethylen - Bedeutung bei der Fruchtreife

- Genaktivierung verschiedener Enzyme
 - Chlorophyllase, Polygalacturonase
- Abbau von Chlorophyll
 - Aufhellung der Grundfarbe
- Abbau von Pektin
 - partieller Verdau von Zellwänden
 - Weichwerden der Fruchtfleisches

Ethylen – Anthocyanbildung

Differential Effects of Ethephon and Seniphos on Color Development of 'Starking Delicious' Apple

Larrigaudiere & Pinto

J AMER SOC HORT SCI 1996; 121(4):746–750

- Applikation von Ethephon
 - Verbesserung der Ausfärbung
 - Anstieg des Anthocyangehaltes
 - Verbesserung der Ausfärbung
 - im Lager
 - am Baum

Ethylen – Wirkt 1-MCP nur an der Frucht?

I Nacherntebehandlung

- I Ethylenrezeptor

- I Besetzung der Ethylenbindestelle durch 1-MCP

- keine Alterung der Frucht

I Vorerntebehandlung

- keine Alterung der Frucht

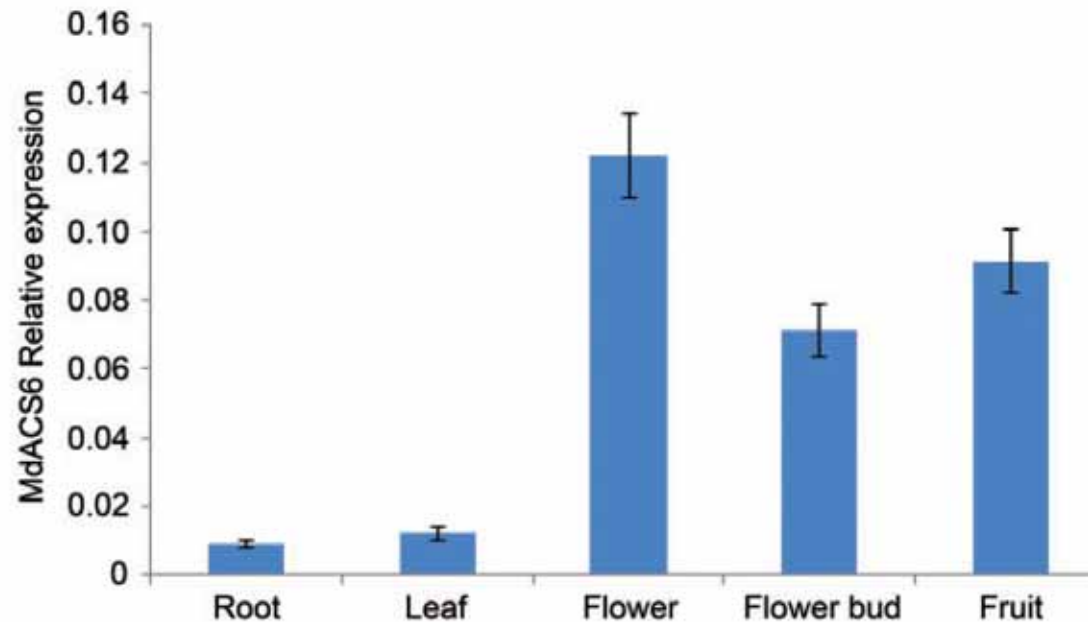
- weitere Effekte?

Ethylen – Rezeptoren

Apple MdACS6 Regulates Ethylene Biosynthesis During Fruit Development Involving Ethylene-Responsive Factor

Li *et al.*

Plant Cell Physiol 2015, 56(10):1909-17





Zusammenfassung