

### 5.3 Enzyme und Phytohormone

Bei Enzymen und Phytohormonen handelt es sich nicht um eigenständige, homogene Stoffgruppen, sondern um Zusammensetzungen aus verschiedenen Stoffen.

Sie stellen keine Bausteine der Pflanze dar, sondern sind als **Katalysatoren** an Auf- und Abbauprozessen beteiligt (Enzyme) oder als Signalmoleküle an Steuerungs- und Koordinationsprozessen (Phytohormone).

#### 5.3.1 Enzyme

Aus den oben beschriebenen Grundbestandteilen wie etwa den Kohlenhydraten und Proteinen müssen in der Pflanze tausende Verbindungen hergestellt werden, die unterschiedlichste Funktionen zu erfüllen haben. Enzyme sind für die Auslösung, Steuerung und den Ablauf (Beschleunigung) der dazu erforderlichen biochemischen Reaktionen verantwortlich. Der Hauptbestandteil von Enzymen sind Eiweiße. Daneben bestehen sie immer aus einem Nichteiweißmolekül, entweder einem Coenzym (Vitamine, Nucleotide) oder einem Co-Faktor (Metallionen wie  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mo^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ).

Charakteristisch für die **Wirkung von Enzymen** ist, dass

- der nicht-proteinartige Bestandteil die Enzyme aktiviert, in dem beispielsweise Metallionen als Elektronenakzeptoren dienen und damit einen Ein- und Ausschaltmechanismus bilden.
- der darauffolgende Stoffwechselprozess durch Herabsetzung der Aktivierungsenergie in Gang gesetzt und beschleunigt wird (Katalyse).
- sie bei den von ihnen ermöglichten biochemischen Reaktion nicht verbraucht oder verändert werden.
- ihre Wirkung nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip erfolgt: Dieser exakte Stoffwechselvorgang kann ausschließlich bei Anwesenheit dieses Enzyms ablaufen bzw. nur ein Prozess kann von dem jeweiligen Enzym angestoßen bzw. katalysiert werden.

Bei weitem nicht alle Enzyme und Reaktionsschritte sind bekannt. Man geht heute von mehreren zehntausend aus. Sie werden von unterschiedlichsten endogenen und exogenen Faktoren beeinflusst, unter anderem von:

- den Erbanlagen über die Steuerung der Proteinbiosynthese
- Licht, etwa bei der lichtabhängigen Aktivität der Nitratreduktase
- der Tageslänge
- der Pflanzenernährung über die als Co-Faktor fungierenden Kationen von Kalium, Magnesium, Eisen und Molybdän.
- Auf- und Abbauprozessen. Denn da Enzyme auch aus Eiweißen bestehen, können sie im Prinzip auch von der Pflanze zur Energieerzeugung veratmet werden. Deshalb kann ihr Gehalt in der Pflanze schwanken.

Ausgangsstoff für enzymatische Reaktionen sind vielfach Kohlenstoffverbindungen. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die enzymatischen Reaktionen, die an der Photosynthese beteiligt sind, beispielsweise das Enzym RuBisCO (Ribulose-1,5-Bisphosphat-Carboxylase), welches das durch die Spaltöffnungen in die Blätter diffundierende  $CO_2$  im Stroma der Chloroplasten fixiert.

Wichtig sind unter anderem auch Enzyme, die an der Synthese von Speicherformen mitwirken (Glucose zu Stärke mit Hilfe der Stärkesynthase) oder am Aufbau der Transportformen von Zucker beteiligt sind (Stärke zu Glucose mit Hilfe der Amylase).

Im Verlauf der Photosynthese ist das Enzym ATP-Synthase zur Synthese des Energieträgers ATP erforderlich. Cellulose, der Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände, wird mit Hilfe des Enzyms Cellulose-Synthase aus Glucose synthetisiert.

Pektinasen bauen die Pektinmittellamellen der pflanzlichen Zellwand ab – dies ist ein normaler Prozess während der Fruchtreife und führt z.B. zu einer Abnahme der Fruchtfleischfestigkeit.

Für die Synthese vieler hochmolekularer pflanzeneigener Stoffe sind meist mehrere Reaktions-Schritte erforderlich. Dabei müssen dann in Abfolge mehrere Enzyme aktiv werden. Auf solche Weise werden beispielsweise die roten Farbstoffe im Apfel gebildet.

Zahlreiche Enzyme werden bei der Aufhebung der Dormanz (Winterruhe) aktiviert oder sind beim Auf- und Abbau von Aromastoffen beteiligt. Die Auflistung von enzymatisch gesteuerten Stoffwechselprozessen könnte seitenweise fortgeführt werden.

Will man die **Bedeutung von Enzymen im pflanzlichen Stoffwechsel** mit einem Wort erklären, dann ist der Begriff „Zündstoff“ die wohl zutreffendste Umschreibung.

An dieser Stelle stellt sich die Frage, was hinter der Aktivierung der Enzyme steckt. Wir müssen heute davon ausgehen, dass es über den Aktivitäten der Enzyme noch eine „höhere Kommando-Ebene“ geben muss. Dort entscheidet sich, welches Enzym wann und wo aktiv wird. Hier kommen Erbinformationen in der DNA der Zellen in Betracht. Spätestens hier erkennen wir, dass noch viele Fragen offen sind.

### 5.3.2 Phytohormone

Phytohormone sind aus verschiedenen Stoffgruppen zusammengesetzt. Vorstufe der Ethylenbiosynthese ist beispielsweise das Methionin, eine linksdrehende Aminosäure, und der Ausgangsstoff von Auxinen ist Tryptophan, ebenfalls eine Aminosäure.

**Phytohormone sind Botenstoffe, die am Zielort eine Reaktion hervorrufen** (Signalmoleküle), ohne an den entstehenden biochemischen Reaktionen selbst beteiligt zu sein. Ihre Konzentration ist dabei in aller Regel sehr gering, um Größenordnungen geringer als von Enzymen. Der Transport von Phytohormonen geschieht dabei sowohl im Xylem (Cytokinine) wie auch im Phloem (Auxine und Gibberelline).

Phytohormon	Physiologische Wirkung in der Pflanze
Gibberelline	Wachstumsfördernd  Bei höheren Konzentrationen z.T. wachstumshemmend
Auxine	
Cytokinine	
Brassicosteroide	
Abscisinsäure	Wachstumshemmend
Ethylen	
Salicylate	Induktion pflanzlicher Abwehr

**Wachstumsregulatoren sind synthetisch hergestellte Verbindungen, die Pflanzenwachstum und Entwicklung beeinflussen**, indem sie ähnlich funktionieren wie die „Naturstoffe“, oder sich auf Biosynthese, Metabolismus und Transport von Phytohormonen auswirken. Von außen appliziert sind Wachstumsregulatoren (Plant Growth Regulators=PGR) in der Lage, Phytohormone zu ersetzen, zu ergänzen oder ihnen entgegenzuwirken.

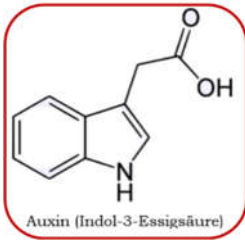
Abbildung 12 Die wichtigsten Phytohormone und ihr Wirkungsspektrum

Phytohormone können völlig unterschiedliche Wirkungen am Zielort hervorrufen. Wir kennen die

- Wirkungs-Umkehr Beispiel: geringe Konzentration von Auxin wirken fördernd auf die Entwicklung von Spross- und Wurzelorganen, höhere Konzentration dagegen hemmend.
- Autokatalyse Beispiel: Nach Applikation oder Biosynthese einer bestimmten Menge von Ethylen wird seine eigene verstärkte Bildung anregt.
- Wechselwirkung: Die Wirkung eines Phytohormones am Zielort ist davon abhängig, welche anderen Hormone in welcher Konzentration dort vorhanden sind. Beispiele:
  - ✓ Die Entwicklung des Alterungs- und Reifehormons Ethylen setzt erst dann ein, wenn innerhalb der Pflanze ein kritisches Auxinniveau unterschritten wird. Infolgedessen setzen die Reifeprozesse ein und es kommt zu Frucht- und Blattfall.
  - ✓ Blattachsel-Knospen am Langtrieb können trotz Vorhandensein von Cytokininen aus der Wurzel so lange nicht austreiben, solange die Terminalknospe ausreichend Auxin nach unten schickt.

Wie die Kohlenhydrate, Proteine und Enzyme, so unterliegen auch die Phytohormone einem **Abbau durch Atmungsvorgänge** in der Pflanze. Gleichbleibend hohe Konzentration eines Phytohormones in einem Pflanzenorgan lassen sich daher nur durch ständige Zufuhr oder ständige Synthese vor Ort des entsprechenden Pflanzenhormons erreichen.

## 5.4 Auxin



Schon zu Beginn des vorigen Jahrhunderts konnte man Versuche, bei denen man die Spitze von Getreide-Keimlingen abgeschnitten und auf einen Block aus Gelatine gelegt hatte. Es mussten Stoffe von der Spitze in den Gelatineblock gewandert sein, denn anschließend konnte man den Block seitlich auf den abgeschnittenen Stumpf des Keimlings legen und der Stumpf begann, sich zu biegen: Man hatte das Phytohormon Auxin entdeckt (Indol-3-Essigsäure (IES= IAA))

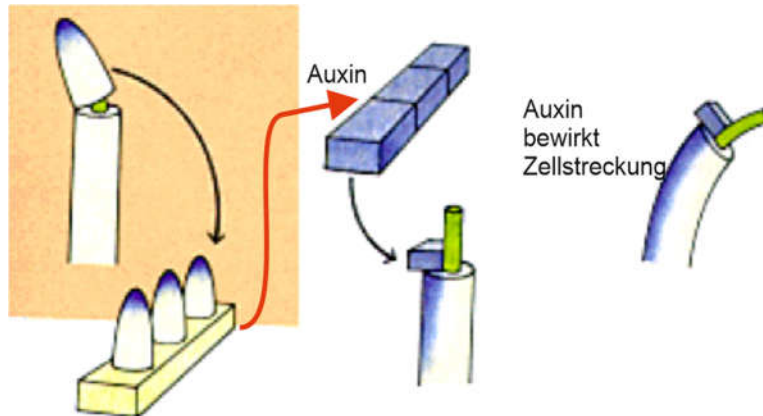


Abbildung 13 Auxine werden in Triebspitzen gebildet und wandern basipetal (in Richtung Wurzel)

### 5.4.1 Phototropismus - „Immer der Sonne nach“

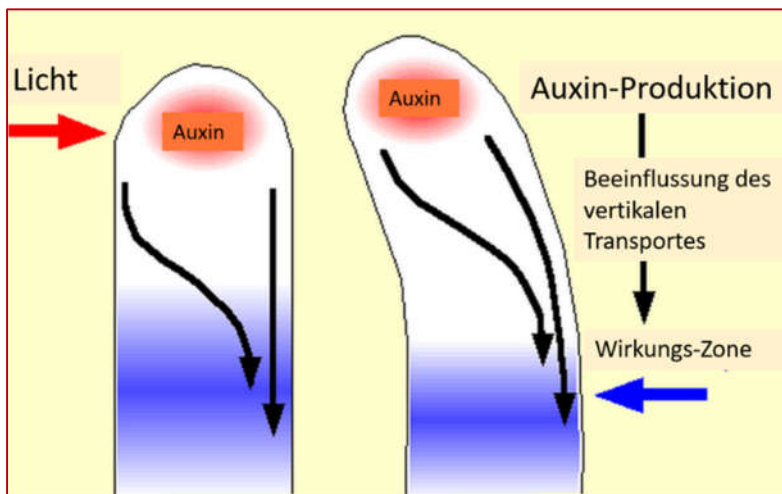


Abbildung 14 Pflanzen wachsen dem Licht entgegen

Dadurch krümmt sich der Trieb zum Licht hin.

Im Verlauf der Evolution haben alle Pflanzen ausgeklügelte Taktiken entwickelt, ihr Wachstum kontinuierlich in Richtung Sonne auszurichten. Bei dieser Lichtorientierung spielen Auxine eine zentrale Rolle:

Trifft Licht seitlich auf die Triebspitze, dann wird das Auxin auf der dem Licht abgewandten Seite nach unten transportiert. Dort bewirkt das Auxin eine Zell-Streckung.

Das ist nur eines von zahlreichen Beispielen, wie Phytohormone Wachstum in der Pflanze steuern.

#### 5.4.2 Bildungsorte von Auxin

Auxin wird in oberirdischen, wachsenden Pflanzengewebe gebildet, also vor allem in den wachsenden Triebspitzen, in den Wachstumszonen junger Blätter, im aktiven Kambium, in den sich entwickelnden, befruchtungsfähigen Eizellen, in den Samenanlagen von Früchten sowie in den jungen Meristemen der sich entwickelnden Blütenknospen. Der Transport erfolgt basipetal (in Richtung Wurzel). Der Kurzstreckentransport erfolgt von Zelle zu Zelle und der Langstreckentransport im Phloem. Der wichtigste Vertreter der pflanzlichen Auxine ist die Indollessigsäure (IES, engl. IAA) (SAURE, 1981).

#### 5.4.3 Funktion im pflanzlichen Stoffwechsel

Auf ihrem Transportweg nach unten hemmen die Auxine den Austrieb von Lateralknospen und sind somit verantwortlich für die Apikaldominanz.

Auxine beeinflussen in erster Linie das Wachstum an den jeweiligen Bildungsorten („Auxinquellen“). Sie fördern dort das Wachstum von Meristemen, beispielsweise die Zellteilung in Triebspitzen und im Kambium und somit die Neubildung von Leitgeweben, von Phloemzellen und Xylemzellen. Sie können aber auch an den Orten, zu denen sie „verfrachtet“ werden Wachstum stimulieren oder „abregeln“.

„Auxinquellen“ stellen in der Regel **sinks (Senken oder Anziehungspunkte)** für Kohlenhydrate dar. Die **Assimilatströme werden gezielt zu diesen Kohlenhydratsenken gelenkt**. Auf diese Weise werden dort erst einmal die stofflichen Voraussetzungen für Wachstum geschaffen.

Das von den Auxinen ausgelöste Wachstumsprinzip variiert je nach Gewebe: An den Triebspitzen, dem wichtigsten IES-Bildungsort, fördern sie die Zellstreckung und damit das Längenwachstum. An den Wurzelspitzen, ihrem wichtigsten Exportziel, fördern Auxine bis zu einer gewissen Konzentration die Zellteilung. In höheren Konzentrationen dagegen hemmen sie die Entwicklung der Wurzel.

Die Synthese und der Export von Auxinen in und aus den Samenanlagen der Früchte übt einen außerordentlich starken Einfluss auf den Fruchtansatz und die Fruchtqualität aus. Solange der Auxinfluß durch den Stiel der Frucht kontinuierlich und stabil anhält, bildet sich dort auch keine Trennschicht aus. Die Früchte bleiben fest an ihrem Ansatz hängen und werden ausreichend mit Assimilaten versorgt. Ihre Sinkstärke und damit ihr Attraktionsvermögen für Assimilate und Nährelemente wie Calcium korreliert mit der Anzahl an Samen.

Wenn dieser **Auxinfluß gestört oder unterbrochen** wird, bildet sich infolgedessen vermehrt der Hemmstoff Ethylen. Ethylen aktiviert wiederum die Synthese der Enzyme Zellulase und Pektinase. Die beiden Enzyme lösen dann an der Stielbasis die Ausbildung einer Trennschicht aus. Bei Apfel und Birne macht sich dieser Vorgang in der Nachblütezeit durch zwei Fruchtfallperioden bemerkbar: dem **Nachblütefruchtfall** und dem **Junifruchtfall**. Unmittelbar vor der Ernte verursacht die Auxinexportschwäche den sogenannten Vorerntefruchtfall.

Während der Nachblütefall überwiegend auf ungünstige Befruchtungsverhältnisse zurückzuführen ist, wird der Junifruchtfall durch eine negative Kohlenhydratbilanz nach der Blüte ausgelöst. Ein solcher Kohlenhydrat-Engpass ist laut LAKSO im Zeitraum 2 bis 3 Wochen nach der Blüte am wahrscheinlichsten, nach BYERS 2 bis 4 Wochen nach der Blüte. Verantwortlich dafür können ein Mangel an Kohlenhydratreserven sein (zu hoher

Fruchtansatz im Vorjahr) oder/und eine gestörte Kohlenhydratneubildung (geringe Photosyntheserate gekoppelt mit hohen Atmungsverlusten) oder/und zu viele Kohlenhydratverbraucher (zu hoher Fruchtansatz im aktuellen Jahr). Ein temporär vermindertes Kohlenhydratangebot führt automatisch zum zeitweiligen Nachlassen der Zellteilungsaktivität in den Meristemen der Frucht und damit auch zur Verminderung der Auxinproduktion und des Auxinexports. Das löst bei den schwächsten Früchten einen Abwurfimpuls aus. Lichtmangel (Bewölkung plus Hagelnetz) vermindert nicht nur die Photosyntheseleistung, sondern auch die Auxinsynthese und bewirkt das Absterben von Samenanlagen.

#### 5.4.4 Wechselwirkung mit anderen Phytohormonen

Die vorangegangenen Beispiele verdeutlichen, dass die Wirkung von Phytohormonen im pflanzlichen Stoffwechsel nur zu verstehen ist, wenn man die Wechselwirkungen mit anderen Pflanzenhormonen in die Betrachtung miteinbezieht. Beispiele:

Die **Wechselwirkung mit Ethylen** führt im Verlauf der Vegetation zu einem regelrechten Wechsel des „Hormonmilieus“ in unseren Bäumen: Zu Vegetationsbeginn steigen die Auxinkonzentrationen in der Pflanze an, weil sich dann Triebe und Blätter entwickeln. Auch die sich neu entwickelnden Blüten und Früchte tragen dazu in erheblichem Maße bei. Mit nachlassender Triebleistung und Blattentwicklung gehen die Auxingehalte im Baum allmählich

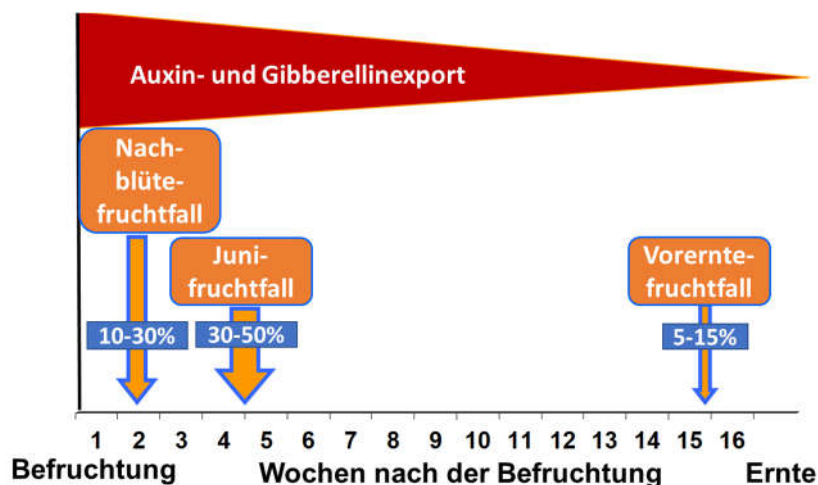


Abbildung 15 Transport von Auxin und Gibberellin im Jahreslauf (in blau: Anteil gefallener Früchte)

zurück. Beim Unterschreiten eines gewissen Schwellenwertes entsteht vermehrt Ethylen, was nun die Reifeprozesse der Früchte in die Wege leitet sowie alle weiteren Alterungsprozesse in der Pflanze zu denen schlussendlich auch Frucht- und Blattfall sowie die Winterruhe zählen.

Die **Wechselwirkung mit Gibberellinen** trägt nicht unerheblich zum Alternanzverhalten unserer Bäume bei: Der Auxinexport aus den Früchten wird nämlich immer von Gibberellinen begleitet. Sie stabilisieren den Auxinstrom und verstärken dessen Sink- und Hierarchiewirkung. Neben ihrer Funktion als „Auxinbodyguard“ unterdrücken Gibberelline jedoch die Bildung von Blütenknospen in ihrem unmittelbaren Umfeld. Dieser hemmende Einfluss korreliert mit der Sinkwirkung jeder einzelnen Frucht und damit mit der Zahl an Samenanlagen sowie mit der Zahl an Früchten pro Ast bzw. Baum.

Die **Wechselwirkung mit Cytokininen** ist in gewissem Maße für die Steuerung von Spross- und Wurzelwachstum verantwortlich: Die Initialzündung zur Auxinsynthese wird von der Wurzel ausgelöst. Mit dem Abbau von Hemmstoffen (Abscisinsäure) und zunehmenden Bodentemperaturen (>5°C) werden im Frühjahr die Wurzeln wieder aktiv und produzieren Cytokinine. Diese werden im Gefäßteil, dem Xylem in die Krone transportiert und fördern den Austrieb der Knospen. In diesem Zusammenhang beginnen vor allem die Triebspitzen mit der Produktion von Auxin. Dieses gelangt dann durch das Phloem in die Wurzel und fördert dort das Wurzelwachstum, solange es in geringen Konzentrationen vorliegt. In höheren Konzentrationen kommt es jedoch zur Wirkungsumkehr: Die Wurzelentwicklung wird zunehmend gehemmt und irgendwann regelrecht „abreguliert“ (SAURE, 1981).

Die „Auxinquellen“ steuern untereinander das Wachstum in Abhängigkeit von ihrer Konzentration:

Optimales Wurzelwachstum wird schon durch eine 10.000-fach geringere Konzentration an IES induziert als optimales Sprosswachstum. Konzentrationen, die sich auf das Sprosswachstum noch förderlich auswirken, können das Wurzelwachstum bereits hemmen (unterschiedliche Empfindlichkeit von Pflanzenorganen). Wenn sich bei einem Pflanzenhormon seine Wirkung abhängig von seiner Konzentration in der Pflanze umkehrt (wie z.B. beim Auxin), dann ist dies eine Wirkungsumkehr des Hormons.

#### 5.4.5 Synthetisch hergestellte Auxin-Abkömmlinge

Für die landwirtschaftliche und obstbauliche Praxis sind die auf Basis synthetischer Auxine zugelassenen **Wachstumsregulatoren** von enormer Bedeutung. Die sogenannten Wuchsstoffe (2,4 D, MCPA, DP, MCPP) haben die Beikrautbekämpfung im Getreideanbau revolutioniert. Einige davon (2,4 D, MCPA) sind auch im Obstbau zugelassen. Eine Reihe von Produkten wird zur Fruchtausdünnung und zur Vermeidung des Vorerntefruchtfalls eingesetzt. Dabei handelt es sich um die Wirkstoffe 1-Naphtyllessigsäure (NAA) und Naphtylacetamid (NAAm) sowie Triclopyr.

#### 5.4.6 Auxin- Anwendungen in der Praxis

Produktname	Auxin	Gehalt	Anwendung
Fixor 100 SL (D)	NAA	100 g/kg	Fruchtausdünnung  und  Verminderung des Vorerntefruchtfalls
Proagro Naa SL (D)		100 g/kg	
MONEX (D)		10 g/kg	
Obsthormon 24 a (I)		84 g/l	
Diramid/AmidThin (B, I, F)	NAAm	8,4 %	Verminderung des Vorerntefruchtfalls
Topper	Triclopyr	100 g /kg	Verminderung des Vorerntefruchtfalls
Kyleo (D)	2,4 D + Glyphosat		Unkrautbekämpfung in Kern- und Steinobst

Abbildung 16 Synthetische Auxin-Abkömmlinge (BAAB G., HILSENDEGEN P., SOLOMAKHIN A. 2021)

Die **ausdünnende Wirkung** von Auxinen beruht vornehmlich darauf, dass von außen applizierte Wachstumsregulatoren auf Auxinbasis, wie NAA oder NAAm, in höheren Mengen von Blättern als von Jungfrüchten aufgenommen werden. Damit verstärkt sich zeitweise auch der Auxinabfluss der Blätter, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft von Jungfrüchten (6-14mm) befinden. Auf diese Weise wird laut BANGERTH eine korrelative Hemmung des Auxinabflusses der betroffenen Früchte induziert, in deren Folge die schwächsten Früchte abfallen. Ein weiterer Aspekt, der die ausdünnende Wirkung in Folge einer NAA und NAAm - Behandlung erklärt, ist das Absterben von Samenanlagen. Damit geht immer ein negativer Einfluss auf die Fruchtgrößen einher. Ist die Ausdünnwirkung ausreichend gut wird dieser die Fruchtgröße hemmende Effekt wieder aufgehoben.

Wird **NAA mehrfach in hohen Aufwandmengen** im Juli oder nach der Ernte appliziert, so führen diese zusätzlichen starken synthetische Auxinimpulse zur Abregulierung des

Sprosswachstums (nicht des Wurzelwachstums!). Bei anhaltend starkem Wachstum kann man auf diese Weise den Triebabschluss der Bäume in die Wege leiten, somit auch die Bildung von Blütenknospen fördern und/oder einen Wiederaustrieb verhindern. Aufgrund der zunehmenden Auxinresistenz der Früchte führt die Behandlung nicht mehr zum Absterben der Samenanlagen, kann aber die Fruchtgrößenentwicklung beeinträchtigen. Das wiederum kann ein willkommener Nebeneffekt sein, vor allem bei triploiden Sorten, die zu Übergrößen tendieren (Jonagold).

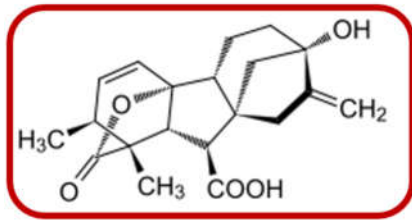
**Unmittelbar vor der Ernte** erreicht man mit den gleichen Wirkstoffen und mit den gleichen Aufwandmengen das Gegenteil wie 3 Monate zuvor in der Ausdünnperiode: Mit der Applikation der gleichen Produkte wird nun der nachlassende Auxinstrom der Früchte ergänzt. Damit wird die Ausbildung einer Trennschicht verhindert und der vorzeitige Fruchtfall weitgehend unterbunden.

**Das (unerwünscht starke) Wachstum von Gipfeltrieben**, beispielsweise unter Hagelnetzen, kann durch den örtlichen Auftrag NAA- haltiger Pasten (=NAA gemischt mit Wundverschlussmitteln oder Wasser+ Brotmehl) gedrosselt werden. Dazu werden im Frühjahr bei ausreichend hohen Temperaturen (>18°C) 5cm breite Manschetten rund um das zwei- oder dreijährige Holz des Gipfeltriebes aufgetragen. Wird der Gipfel ins zwei- oder dreijährige Holz abgesetzt, kann die Schnittstelle mit der Paste bestrichen werden. Damit unterbindet bzw. hemmt man dort die Austriebsreaktion. Die Behandlung muss mit sortenabhängiger Dosierung erfolgen. Ein Abtropfen auf Blätter muss unbedingt vermieden werden.

Bei den bisherigen Versuchen, den Auxinstrom schwacher Blüten und Jungfrüchte zu kompensieren, hat sich lediglich der Wirkstoff NAAm als (bedingt) brauchbar erwiesen. Ein praktikabler Nutzen ist aber allenfalls mit Blütenbehandlungen bei Süßkirschen zu erwarten. Dort stellte sich nach der Behandlung häufig ein besserer Fruchtansatz ein. Bei Äpfeln, wo die Behandlung bereits zu Blühbeginn vorgenommen werden muss, ist das nur selten wirklich der Fall. Der Effekt verpufft oft, weil viele der zusätzlich gebildeten Früchte Missbildungen aufweisen oder im Verlauf des Junifalls abgestoßen werden. Setzt man zum gleichen Termin den „Auxinverstärker“ Gibberellin ein, erzielt man damit meist größere Erfolge.

## 5.5 Gibberelline

### 5.5.1 Entdeckung

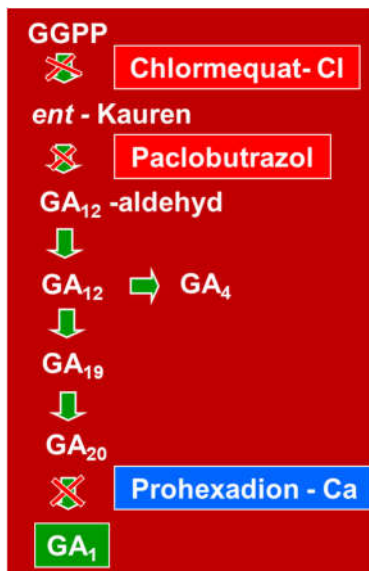


1926 untersuchte der Japaner E. KUROSAWA eine Reiskrankheit, die in Japan unter der Bezeichnung „verrückte Reiskeimlinge“ bekannt war. Die Pflanzen wuchsen extrem schnell und knickten wegen mangelnder Standfestigkeit leicht ab. Als Ursache für das abnorme Wachstum konnte KUROSAWA eine Substanz ausmachen, die von einem auf den Pflanzen parasitierenden Pilz (*Gibberella fujikuroi*) ausgeschieden wird. Sie erhielt die Bezeichnung Gibberelline (Gibberellic Acid= GA).

### 5.5.2 Wo werden Gibberelline gebildet

Gibberelline werden in jungen Früchten, dort insbesondere in den Samenanlagen, in wachsenden Triebspitzen, jungen Blättern und in den Wurzelspitzen gebildet. Der Transport erfolgt überwiegend basipetal (in Richtung Wurzel) aber auch akropetal (in Richtung Sprossspitze). Der Kurzstreckentransport findet von Zelle zu Zelle statt, der Langstreckentransport im Phloem bzw. Xylem. Mit Beginn des Austriebs nehmen die Gibberellinhalte in der Sprossachse zu. Sie erreichen in Phasen des stärksten Wachstums ihren Höhepunkt, um dann zum Herbst hin nur noch in geringen Konzentrationen in der Pflanze zu wirken (SAURE, 1981).

### 5.5.3 Die Biosynthese von Gibberellinen



Ausgangsstoffe für die Gibberellinbiosynthese ist eine komplexe Kohlenwasserstoffverbindung, das sogenannte „ent-Kauren“, aus denen im pflanzlichen Stoffwechsel 136 verschiedene Gibberellinverbindungen synthetisiert werden (GA1- bis GA136). Allerdings sind nur wenige davon tatsächlich stoffwechselaktiv. Dazu zählt unter anderem das GA<sub>3</sub> und GA<sub>4</sub> und GA<sub>7</sub>. Sie werden auch als synthetisch hergestellte Wirkstoffe in Wachstumsregulatoren genutzt. Das mit Abstand **wichtigste stoffwechselaktive Gibberellin ist das GA<sub>1</sub>**. In der Abbildung sind die letzten Stufen der Gibberellinbiosynthese skizziert sowie die Wirkstoffe von Wachstumsregulatoren, welche die GA<sub>1</sub>-Synthese unterbinden und die Syntheseschritte, an denen sie aktiv werden

Abbildung 17 Letzte Stufen der GA<sub>1</sub>-Biosynthese (BARMAN et al. 2016)

### 5.5.4 Funktion im Stoffwechsel

**1. Gibberelline fördern** in allen teilungsfähigen Geweben **die Zellteilung und Zellstreckung**: Das am häufigsten vorkommende natürliche Gibberellin, das GA<sub>1</sub> fördert hauptsächlich das Streckungswachstum und damit das Längenwachstum der Triebe. Die Synthese von

GA<sub>1</sub> kann beispielsweise durch den Wirkstoff Prohexadion- Calcium, einem Antigibberellin, temporär eingeschränkt werden.

Im Bereich der Sprossachse und im Kambium können Gibberelline aber auch die Zellteilung unterstützen. Bei jungen Früchten stimulieren Gibberelline beispielsweise die Zellteilung und -streckung in der Epidermis und im Blütenboden. Aus dieser Erkenntnis entstanden folgende praktische Anwendungen:

- ✓ mit Hilfe mehrerer Gibberellin-Anwendungen lässt sich die Fruchtberostung bestimmter Sorten reduzieren.
- ✓ Gibberellin-Behandlungen während der Blüte (nach Blütenfrost) fördern die Entstehung samenloser Früchte (Parthenokarpie), in dem sie dem Blütenboden Wachstumsimpulse verleihen und damit in Stresssituationen (wie Kälte, Frost) den Fruchtansatz unterstützen. Gibberellinbehandlungen stabilisieren in diesem Zusammenhang auch den schwachen Auxinstrom und verhindern damit die Ausbildung einer Trennschicht. Da Gibberelline auch die **Pollenkeimung beschleunigen**, resultiert aus der gleichen Behandlung ein zusätzlicher fruchtansatzfördernder Effekt.
- ✓ Gibberelline können zur Veränderung der Fruchtform eingesetzt werden. Ihre zellstreckungsanregende Wirkung wird bei der Sorte 'Red Delicious' genutzt, um durch Blütenapplikation das Längenwachstum der Frucht zu optimieren.

Gibberelline sind am Ende der Winterruhe an der Förderung der Knospenaktivität beteiligt und damit an der Brechung der Winterruhe.

2. Das **Zusammenspiel von Gibberellinen und Auxinen** ist für das Wuchs - und Ertragsverhalten der Bäume von ganz besonderer Bedeutung. Gibberelline üben, vor allem beim Export der Auxine, eine Art „Bodyguard Funktion“ aus:

Beide Phytohormone werden in Triebspitzen und Früchten synthetisiert, und zwar genau in dem Maße in dem dort Wachstum stattfindet oder Samenanlagen vorliegen. Der Export beider Phytohormone löst eine Sinkwirkung aus (= anziehende Wirkung auf Assimilate und Nährstoffe) Die Sinkwirkung steht in direkter Abhängigkeit zur Sinkstärke (Dominanz) des jeweiligen Meristems.

Beide Phytohormone werden basalwärts im Phloem transportiert. Die Gibberelline unterstützen dabei maßgeblich den Transport der Auxine und damit deren Wirkung. Die „Kollateralwirkung“ der Auxine besteht in der Hemmung des Austriebs von Lateralknospen und des Wachstums von Seitentrieben. Die „Kollateralwirkung“ der Gibberelline besteht in der Hemmung der Blühinduktion und der Blüteninitiation für das Folgejahr.

Infolgedessen wird die Bildung von Blütenknospen an den Ast- oder Baumpartien, die unterhalb oder hinter der Gibberellin-Quelle angeordnet sind, mehr oder weniger gehemmt. Äste/Bäume mit sehr hohem Fruchtansatz und/oder mit anhaltend starkem Wachstum sind daher besonders Alternanz- gefährdet.

Eine **zusätzliche Applikation** von Gibberellinen, beispielsweise um die Berostung zu hemmen, würde diesen Alternanz-Effekt zusätzlich verstärken. Dabei hemmen GA<sub>3</sub> und GA<sub>7</sub> die Blütenbildung deutlich, GA<sub>4</sub> dagegen kaum.

### 5.5.5 Synthetisch hergestellte Gibberellin-Abkömmlinge

In der Praxis werden synthetisch hergestellte Produkte auf Basis von GA<sub>3</sub> und GA<sub>4/7</sub> angewendet, sowie Kombinationsprodukte auf Basis von GA<sub>4/7</sub> + 6-BA, welche nicht nur die Zellstreckung, sondern auch die Zellteilung fördern.

Ihre Anwendung erfolgt bei Apfel, um den **Fruchtansatz zu fördern**

- bei schwach oder mäßig blühenden (Jung)bäumen von Apfel und Birne
- oder unmittelbar nach Blütenfrösten.
- Der Anwendungszeitpunkt beschränkt sich dabei auf die Blüte.

Auf dem gleichen Wirkungshintergrund beruht die Nutzung von Gibberellinen zur **Veränderung der Fruchtform**, die in der Hauptsache bei 'Red Delicious' Verwendung findet.

Des Weiteren werden GA<sub>4/7</sub>-haltige Wachstumsregulatoren bei Sorten wie 'Golden Delicious', 'Pinova' oder 'Fresco'/Wellant<sup>®</sup> zur **Verminderung der Fruchtberostung** eingesetzt.

Gibberellinhaltige Produkte funktionieren unabhängig von den vorherrschenden Temperaturen, während Cytokinin-haltige Wachstumsregulatoren erst bei Temperaturen oberhalb von 18°C eine ausreichend gute Wirkung erzielen. Dieser Zusammenhang sollte beim Einsatz von Kombinationspräparaten wie Promalin unbedingt berücksichtigt werden.

Produktname	Gibberellin	Gehalt	Anwendung
Regulex 10 G	GA <sub>4/7</sub>	100 g/kg	Verbesserung des Fruchtansatzes bei Apfel
Falgro Tablet	GA <sub>3</sub>	187 g/kg	Verbesserung des Fruchtansatzes bei Birnen
Cube	GA <sub>3</sub>	90 g/kg	
Gibb 3	GA <sub>3</sub>	100 g/kg	
Giber Gobbi 10	GA <sub>3</sub>	100 g/kg	
Gobbi Gib 4 LG	GA <sub>3</sub>	100 g/kg	
Promalin	GA <sub>4/7</sub> + 6-BA	19 g/l +19 g/l	
Regulex 10 SG	GA <sub>4/7</sub>	100 g/kg	Verbesserung des Fruchtansatzes bei Birnen
Gibb Plus	GA <sub>4/7</sub>	10 g/kg	Fruchtberostung bei Apfel
Novagib	GA <sub>4/7</sub>	10 g/kg	Fruchtberostung bei Apfel

Abbildung 18 Wichtige GA-haltige Wachstumsregulatoren und zugelassene Anwendungen

Mit dem Wirkstoff Prohexadion-Calcium (Kudos<sup>®</sup> bzw. Regalis<sup>®</sup> Plus) steht im Kern- und Steinobstanbau ein **Anti-Gibberellin** zur Verfügung. Dieses Präparat hemmt die GA<sub>1</sub>-Biosynthese und somit das vegetative Wachstum, vorausgesetzt, es wird unmittelbar nach der Blüte angewandt. Wird es bereits im Ballonstadium eingesetzt, fördert Prohexadion-Calcium sogar den Fruchtansatz. In den Wochen nach der Blüte nimmt die pflanzeigene Gibberellinproduktion zunehmend „Fahrt auf“. Analog dazu verflacht die wachstumshemmende Wirkung von Prohexadion-Calcium sukzessive und klingt circa 4 Wochen nach der Blüte weitgehend aus.

## 5.5.6 Die Vier „Gibberellin-Anwendungsklassiker“ im Obstbau

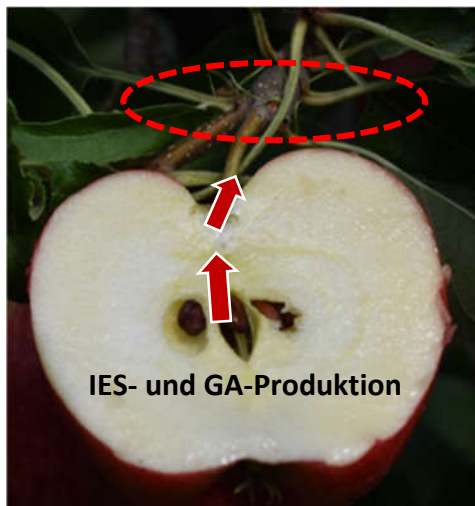
- **Einsatz von Gibberellinen bei Birnen zur Fruchtsatzförderung**



*Abbildung 19 Förderung der Fruchtentwicklung z.B. nach Frostschäden an der Blüte*

Ist nach einem Blütenfrost der Blütenboden noch intakt, kann man mit Gibberellin-Behandlungen unmittelbar nach der Frostnacht dem Blütenboden sowie dem Stielgewebe einen nachhaltigen Wachstumsimpuls verleihen. Bei  $GA_{4/7}$ -Behandlungen entstehen seltener deformierte oder schlangenförmige Früchte (Mittleres Bild: 'Conference') als bei  $GA_3$ -Anwendungen (Rechtes Bild: 'Abate Fetel'). Damit werden die Gibberelline ihrem Ruf als Zellstreckungsförderer vollauf gerecht.

- **Gibberelline hemmen die Bildung von Blütenknospen**



*Abbildung 20 GA-Produktion aus den Samenanlagen hemmt die Entwicklung von Blütenknospen*

Die Abbildung zeigt den Abtransport von Gibberellinen zusammen mit Auxinen durch den Fruchts蒂el. Hierdurch wird die Bildung der untergeordneten Blütenanlagen gehemmt, und zwar in dem Maße, in dem die Gibberellin-Wirkung anhält. Würde man die Frucht rechtzeitig beseitigen, am besten bereits die Blüte selbst, entfällt auch diese Hemmwirkung. Früchte mit weniger Samen (2-4) oder gar samenlose Früchte üben dabei einen geringeren Hemmeffekt aus als Früchte mit mehr Samen (8-10). Viele Früchte mit vielen Samen begünstigen das Auftreten von Alternanz ganz besonders. Früchte mit vielen Samen besitzen andererseits eine höhere Attraktionskraft für Assimilate und Nährelemente wie beispielsweise Calcium.

- **Gibberelline fördern die Elastizität der Zellwände**

Stellt man sich die Epidermis einer Frucht, unmittelbar nach der Blüte, wie die Außenhaut eines Luftballons kurz vorm Aufplatzen vor, kommt das ihrer angespannten Schalensituation

sehr nahe. Die Epidermiszellen stehen durch das Wachstum des darunter befindlichen Fruchtgewebes unter einem enormen Druck.

Im Verlauf besonders abrupter Größenzunahmen hält die Zellstreckung der Epidermis mit dem des Fruchtgewebes nicht mehr Schritt und die Epidermiszellen reißen auf. Dabei spielen Mikro-Risse eine entscheidende Rolle. Die Neigung dazu ist genetisch bedingt; ihre Entstehung wird durch Nässeperioden gefördert. Sie verkorken anschließend, was an den betroffenen Stellen später die klassischen Berostungssymptome hervorruft. Liegen ausreichend hohe Gibberellinhalte in der Epidermis vor, verlaufen die Zellteilungsprozesse in der Frucht und in der Epidermis weitgehend synchron. Bei bestimmten Sorten ist das genetisch bedingt der Fall, beispielsweise bei 'Red Delicious'. Bei anderen wiederum liegt aus gleichem Grund ein latentes Defizit vor, wie etwa bei 'Golden Delicious'. Generell fördert eine gute Bestäubung mit einer anschließenden hohen Zahl von Kernen in der Frucht die Zellstabilität. In Höhenlagen mit höherer UV-Einwirkung werden deutlich mehr Gibberelline in der Fruchtschale synthetisiert. Solche Standorte sind prädestiniert für berostungsanfällige Sorten wie 'Fresco'/Wellant®, 'Pinova'- oder 'Golden Delicious'-Mutanten wie Klon B. In Tallagen hingegen muss man glattschaligere Sorten oder Mutanten anpflanzen oder das Gibberellindefizit in der Epidermis durch Applikationen von außen kompensieren. Dies muss dann ab Blühende wiederholt in wöchentlichen Intervallen erfolgen.



**Abbildung 21** Berostung, verursacht durch abruptes Wachstum in der Zellteilungsphase

dem des Fruchtgewebes nicht mehr Schritt und die Epidermiszellen reißen auf. Dabei spielen Mikro-Risse eine entscheidende Rolle. Die Neigung dazu ist genetisch bedingt; ihre Entstehung wird durch Nässeperioden gefördert. Sie verkorken anschließend, was an den betroffenen Stellen später die klassischen Berostungssymptome hervorruft. Liegen ausreichend hohe Gibberellinhalte in der Epidermis vor, verlaufen die Zellteilungsprozesse in der Frucht und in der Epidermis weitgehend synchron. Bei bestimmten Sorten ist das genetisch bedingt der Fall, beispielsweise bei 'Red Delicious'. Bei anderen wiederum liegt aus gleichem Grund ein latentes Defizit vor, wie etwa bei 'Golden Delicious'. Generell fördert eine gute Bestäubung mit einer anschließenden hohen Zahl von Kernen in der Frucht die Zellstabilität. In Höhenlagen mit höherer UV-Einwirkung werden deutlich mehr Gibberelline in der Fruchtschale synthetisiert. Solche Standorte sind prädestiniert für berostungsanfällige Sorten wie 'Fresco'/Wellant®, 'Pinova'- oder 'Golden Delicious'-Mutanten wie Klon B. In Tallagen hingegen muss man glattschaligere Sorten oder Mutanten anpflanzen oder das Gibberellindefizit in der Epidermis durch Applikationen von außen kompensieren. Dies muss dann ab Blühende wiederholt in wöchentlichen Intervallen erfolgen.

In Höhenlagen mit höherer UV-Einwirkung werden deutlich mehr Gibberelline in der Fruchtschale synthetisiert. Solche Standorte sind prädestiniert für berostungsanfällige Sorten wie 'Fresco'/Wellant®, 'Pinova'- oder 'Golden Delicious'-Mutanten wie Klon B. In Tallagen hingegen muss man glattschaligere Sorten oder Mutanten anpflanzen oder das Gibberellindefizit in der Epidermis durch Applikationen von außen kompensieren. Dies muss dann ab Blühende wiederholt in wöchentlichen Intervallen erfolgen.

- **Verlängerung der Fruchtform bei 'Red Delicious'**

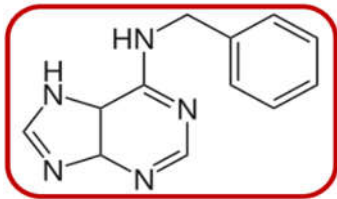
<b>Unbehandelte Früchte:</b> Untypisch flach, ohne Höcker	2 x GA <sub>4/7</sub> zu Blühbeginn und zur Vollblüte	<b>Behandelte Früchte:</b> Sortentypisch hochgebaut mit Höckern

**Abbildung 22** Verlängerung der Fruchtform bei 'Red Delicious'

Durch Gibberellinbehandlungen (genauso durch Promalinbehandlungen) wird das Wachstum der Fruchtspitze stärker stimuliert als das Wachstum im Äquatorialbereich, so dass sich das Verhältnis von Länge zur Breite der Frucht deutlich verändert, was der Sorte 'Red-Delicious' ihre charakteristische Form verleiht.

## 5.6 Cytokinine

### 5.6.1 Entdeckung



Forscher entdeckten 1964 in Maiskörnern eine Substanz, die die Zellteilung fördert. Diese Botenstoffe werden wegen ihrer Funktion bei der Zellteilung (Cytokinese) als Cytokinine bezeichnet. Neben der Zellteilung fördern sie auch die Zellstreckung sowie die Bildung von Chloroplasten und verursachen damit eine **allgemeine Stimulation aller Wachstumsvorgänge**.

### 5.6.2 Wo werden Cytokinine gebildet?

Cytokinine werden in geringen Mengen in den sich entwickelnden Samenanlagen der Frucht, überwiegend aber in der Wurzel produziert und mit dem Xylem in oberirdische Pflanzenteile transportiert.

### 5.6.3 Cytokininsynthese und ihre Wechselwirkungen mit Wurzel- und Sprosswachstum

Die Cytokininsynthese steht in sehr engen Zusammenhang mit dem Wurzelwachstum. Die Intensität der Cytokininsynthese korrespondiert daher mit der Zahl wachsender Wurzelspitzen und deren Wachstumsaktivität und damit auch mit den äußeren Voraussetzungen für das Wurzelwachstum (Durchwurzelungsfähigkeit), der Nachbausituation, den Auxinimpulsen aus dem Sprosssteil und der Kohlenhydratversorgung (Reserven, Fruchtbehang...).

Der Auxinimport aus der Sprossachse reguliert je nach Konzentration das **Wurzelwachstum** und damit die Produktion von Cytokinin: Geringe Auxinmengen (=Erster Auxinimpuls!) bewirken eine Förderung des Wurzelwachstums und somit einen Anstieg der Cytokinin-Produktion. Hohe Mengen an Auxin hemmen hingegen das Wurzelwachstum und infolgedessen die Produktion von Cytokininen.

Die Cytokininproduktion der Wurzeln schwankt aufgrund dieser hormonellen Wechselwirkungen:

- Sie steigt im Frühjahr beginnend mit dem Austrieb kontinuierlich an, erreicht zur Zeit des stärksten Austriebes im Mai-Juni ihren Höhepunkt und
- flacht zum Sommer wieder ab (Triebstopp),
- gefolgt von einem leichten Anstieg im Spätsommer (Wiederaustrieb, siehe Abbildung).
- Hohe Stickstoffmengen im Spätsommer (späte Düngung, Niederschläge nach Hitzeperioden, gepaart mit warmem Boden und hoher Mineralisierung) oder zu starke Schnitteingriffe zu dieser Zeit (mit der Entfernung von Auxin-produzierenden Triebspitzen) können zum Beginn des Herbstes die Cytokinin-Lieferung aus der Wurzel wieder ansteigen lassen. Das wirkt dann dem normalerweise anstehenden



Abbildung 23 Wiederaustrieb Ende Juni

Triebabschluss entgegen, wodurch sich die Gefahr des Wiederaustriebs und der mangelnder Winterhärte erhöht.

#### 5.6.4 Welche Funktion übt Cytokinin im pflanzlichen Stoffwechsel aus?

Cytokinine **fördern das vegetative Wachstum** vornehmlich über ihre Befähigung, Zellteilung, Austrieb und Chloroplastenbildung zu stimulieren. Cytokinine gelten daher auch als „Anti-Aging -Hormon“. Dieser Ruf wird zusätzlich untermauert, wenn man die Wechselwirkung zu anderen Hormonen etwas genauer betrachtet: Cytokinine heben beispielsweise die austriebhemmende Wirkung von Auxinen wieder auf oder wirken der Blattalterung entgegen, die von Ethylen ausgelöst wird.

Vor allem die **Wechselwirkungen zwischen Auxin und Cytokinin** üben einen herausragenden Einfluss auf den jahreszeitlichen Verlauf des Spross- und Wurzelwachstums aus: Während Auxine im Verlauf ihrer Verlagerung in Richtung Wurzel den Austrieb untergeordneter Seitenknospen behindern, fördern Cytokinine, von unten nach oben transportiert, den Austrieb von lateralen Knospen und wirken quasi als „Anti-Auxin“.

Cytokinine unterstützen bevorzugt die höher inserierten Meristeme. Insofern wird der **Austrieb im oberen Baum- und Triebbereich** vorrangiger gefördert als die basalen Baum- oder Astpartien. An waagerechten Trieben wird vornehmlich der Austrieb der Knospen im oberen Bereich (Oberseitenförderung) begünstigt.

Die wachstumsstimulierende Wirkung von Cytokinin umfasst neben den vegetativen Teilen des Sprosses auch die Früchte. Deren Zellteilung- und Zellexpansion wird sowohl von Gibberellinen wie auch von Cytokinin „angekurbelt“. Die charakteristische Cytokininwirkung spiegelt sich daher in der **Größe und Form von Früchten und Blättern** wider.

Cytokinine forcieren die Bildung von Chloroplasten und damit indirekt die Chlorophyllgehalte. Auch auf diese Weise wird das vegetative Wachstum stimuliert.

#### 5.6.5 Einfluss des Cytokinins auf die Anthocyan synthese

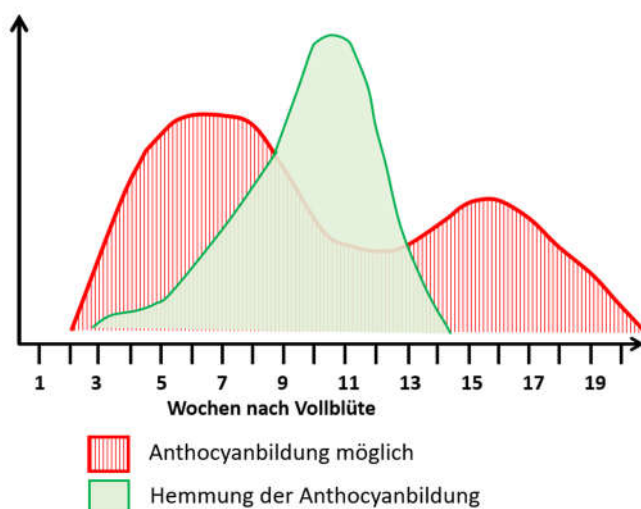


Abbildung 24 Hemmung der Anthocyanbildung durch Cytokinine (SAURE, 1990)

Beobachtet man die Fruchtentwicklung von der Blüte bis zur Ernte, dann kann man erkennen, dass die Früchte mehrmals bereits rot sind und diese Färbung wieder verlieren, bis sie zur Ernte (hoffentlich...) wieder auftritt. Dies ist ein Spiegel der Einflüsse in der Frucht vorhandener Phytohormone. Die Früchte haben schon ab dem Beginn der Zellteilungsphase die Fähigkeit, rote Farbstoffe (Anthocyan) zu bilden (rote Flächen in der Abbildung). Daher sind auch schon junge Früchte am Baum rot gefärbt. Diese Fähigkeit wird allerdings dann durch die Phase starken Wachstums und damit durch das dann

verstärkt von der Wurzel gebildete Cytokinin unterdrückt (grüne Flächen in der Abbildung). Dadurch werden die Jungfrüchte im Laufe ihrer Weiterentwicklung die Rotfärbung verlieren. Erst zum Ende der Fruchtentwicklung, wenn die Cytokinin-Produktion aus der Wurzel wieder zurückgeht, hat die Frucht wieder die Möglichkeit Anthocyan zu bilden. Eine zu hohe Wurzelaktivität in dieser Periode (mit der damit verbundenen erhöhten Produktion von Cytokinin) kann die Ausbildung der erwünschten Rotfärbung stören.

#### 5.6.6 Synthetisch hergestellte Cytokinine

Forchlorofenuron (=CPPU) ist ein synthetisch hergestelltes Cytokinin. Der Wirkstoff wird in Europa in Form von Sitofex® von der Alchem- Group vertrieben. Die Zulassung ist sehr restriktiv und beschränkt sich etwa auf die Förderung der Fruchtgröße bei Kiwis und Tafeltrauben in Italien bzw. auf die Förderung der Fruchtgrößen bei Süßkirschen in Polen und Ungarn. Auch bei Äpfeln erwies sich der Wirkstoff zur Verbesserung der Fruchtkaliber als hochwirksam, rief aber leider zu viele Fruchtdeformationen hervor, so dass im Augenblick in dieser Obstart keine Indikation vorgesehen ist.

Das 6-Benzyladenin (=6-BA) ist ein synthetisch hergestelltes Cytokinin, welches in Form verschiedener Wachstumsregulatoren (Exilis, Exilis 100 XL, MaxCel, Cylex Plus, Globaryl 100) weite Anwendung in der obstbaulichen Praxis gefunden hat.

Das Promalin® (= GA<sub>4/7</sub> + 6-BA) ist ein Kombi-Produkt, wobei der Gibberellin-Anteil vorwiegend die Zellstreckung und der 6-BA-Anteil überwiegend die Zellteilung anstößt.

Alle Cytokinin-haltigen Wachstumsregulatoren wirken erst dann ausreichend sicher, wenn die Tagestemperaturen am Einsatztag und an den folgenden anhaltend über 18°C, besser über 20°C liegen.

Produktname	Cytokinin	Gehalt an 6-BA in g/l	Anwendung
Exilis	6-BA	20	Fruchtausdünnung bei Apfel Einsatz: zwischen 8 und 16 mm  Exilis und Exilis 100 XL sind zur Fruchtausdünnung bei Birnen zugelassen Einsatz: bei rund 10 mm
MaxCel		20	
Cylex Plus		20	
Exilis 100 XL		100	
Globaryll 100		100	
Promalin	GA <sub>4/7</sub> + 6-BA	19 +19	Verminderung der Berostung bei Apfel Förderung des Fruchtansatzes bei Birnen nach Blütenfrost

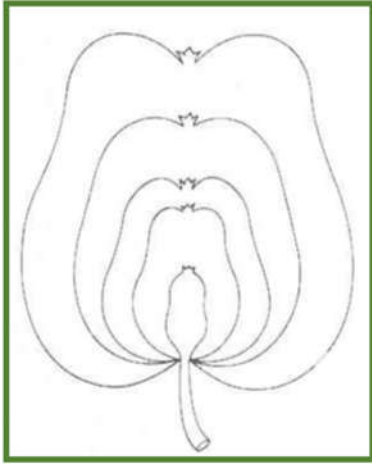
Abbildung 25 Wichtige, synthetisch hergestellte Cytokinin-Derivate und offizielle zulässige Indikationen

#### 5.6.7 Cytokinin- Anwendungen in der Praxis:

- **In der Baumschule** werden durch den Einsatz dieser Stoffgruppen Seiten-/Achselknospen zum Austrieb angeregt, die sonst nicht ausgetrieben wären. Das führt dann zu einer verstärkten Bildung von Seitentrieben; ein wichtiges Kriterium für einen hochwertigen Baumschul-Baum. Erkennlich dann oft an den recht steil angesetzten Seitentrieben, wie wir später noch diskutieren werden.
- **In Junganlagen** kann man sich die wachstumsstimulierenden Eigenschaften von Cytokininen zu Nutze machen, um das terminale Wachstum schwach wachsender Bäume oder Sorten zu stärken. Ziel ist die gewünschte Baum- oder Säulenhöhe so schnell wie möglich zu erreichen. Zu diesem Zweck wird bei Bedarf in den ersten beiden Standjahren Promalin appliziert. Gestartet wird die Behandlung, wenn die ersten Blätter an der Terminale ausgewachsen sind, etwa Ende Mai-Anfang Juni. Die Promalinlösung wird dann seitlich aufgesprüht und die Behandlung im wöchentlichen Rhythmus bis zu 8-mal wiederholt.
- **Zur Ausdünnung** werden Cytokinine überwiegend zur eingesetzt bei Fruchtgrößen zwischen 8 bis 16 mm. Hintergrund dafür sind drei Wirkungsebenen:
  - ✓ Eine zentrale Rolle nimmt dabei die Förderung des Triebwachstums ein. Stärker wachsende Triebe stellen eine größere Konkurrenz für benachbarte Früchte dar, weil die Triebspitzen dann mehr Auxin nach unten abgeben und die Früchte ins Hintertreffen gelangen können.
  - ✓ Da Cytokinin die Zellteilung der jungen Früchte anregt, erhalten nach Applikation Cytokinin-haltiger Wachstumsregler die am stärksten entwickelten Früchte einen zusätzlichen Wachstumsschub, zuungunsten der weniger entwickelten Früchte. Die Folge davon ist, dass viele der schwächeren Früchte abfallen. Nach Einsatz BA-haltiger Ausdünnmittel stellt sich in der Regel ein positiver Einfluss auf die Fruchtgröße ein, selbst wenn deren Ausdünnwirkung nicht zufriedenstellend war. Deshalb wird der Wirkstoff besonders bei kleinfrüchtigen Sorten bevorzugt angewendet.
  - ✓ Cytokinine fördern auch direkt die Produktion von Ethylen im Baum, wodurch ebenfalls die Trennschicht-Ausbildung gefördert und eine Ausdünnung erzielt wird.
- Ein weiteres praktisches Anwendungsfeld ist der Einsatz von Cytokininen zur **Fruchtansatzförderung**. Werden Cytokinine, insbesondere in der Kombination mit

Gibberellinen, zur Vollblüte appliziert, so wird selbst unter widrigen Bedingungen der Fruchtansatz stabilisiert und oftmals erhöht. Hintergrund dafür ist die Förderung der Zellteilungs- und -Streckungsvorgänge in den Samenanlagen und im Blütenbodengewebe, aus dem sich später die Früchte entwickeln.

- Eine weitere Indikation der Cytokinine, die bereits bei den Gibberellinen beschrieben wurde, ist die gezielte **Veränderung der Fruchtform**. Sie wird weltweit bei der Sorte 'Red Delicious' angewandt.

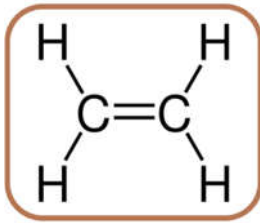


*Abbildung 26 Veränderung der Fruchtform von 'Red Delicious'*

Deren Früchte, die ansonsten untypisch flach wären, bekommen auf diese Weise die gewünschte klassische, hochgebaute höckerige 'Red-Delicious'-Form (Abbildung). Dazu werden entweder Gibberellin- haltige Wachstumsregulatoren während der Blüte appliziert (zu Blühbeginn und zur Vollblüte) oder Mischprodukte aus Gibberellinen und Cytokinen, beispielsweise das Promalin. Durch die Behandlung wird das Wachstum der Fruchtspitze stärker stimuliert als das Dickenwachstum, so dass sich das Verhältnis von Länge zur Breite deutlich verändert. Produkte, die 6-BA beinhalten, wirken in diesem Zusammenhang effizienter, benötigen dafür aber auch ausreichend Wärme.

## 5.7 Ethylen

### 5.7.1 Entdeckung



Ethylen (auch Ethen, veraltet: Äthen bzw. Äthylen) ist schon seit mehreren Jahrhunderten bekannt und wurde mehrfach umbenannt.

Die heute gültige Bezeichnung ist Ethen, der man sich in der obstbaulichen Praxis allerdings nicht beugt. Daher wird im Folgenden weiter von Ethylen gesprochen.

### 5.7.2 Wo und wann wird Ethylen gebildet?

Ethylen ist ein gasförmiges Phytohormon ( $C_2H_4$ ), auch „Reifegas“ genannt, das in allen Geweben der Pflanze synthetisiert werden kann.

Die Ethylenbildung setzt in allen Bereichen der Sprossachse immer dann verstärkt ein, wenn die Auxingehalte zurückgehen und daher die Synthese (nicht mehr) unterdrückt werden kann. Das ist zum **Ende der Wachstums-Saison** im Spätsommer/Herbst der Fall bei allgemein rückläufigen Auxingehalten in der Pflanze.

Gerät der Baum oder Teile davon unter **Stress** (beispielsweise durch Hagelverletzungen, Verätzungen nach ATS-Einsatz zur Ausdünnung, mechanische Blütenausdünnung, Entlaubung mit Druckluft- Geräten usw.), dann wird ebenfalls kurzfristig Ethylen gebildet. Extrem hohe **Temperaturen und Trockenheit** regen die Pflanze ebenfalls zur erhöhten Ethylensynthese an.

### 5.7.3 Die Ethylenbiosynthese

Die Synthese erfolgt über die Aminosäure Methionin und über die Ethylenvorstufe ACC und wird im Wesentlichen über zwei Enzyme katalysiert. Die Synthese von ACC kann durch Einsatz des Wirkstoffs AVG (=Retain<sup>®</sup>) temporär unterbunden werden. Er deaktiviert zeitweise die ACC-Synthetase. Der Wirkstoff AVG ist in den USA als Reifeverzögerer zugelassen.

Von außen zugeführtes Ethylen regt die Pflanze zusätzlich zur Ethylensynthese an, ein Phänomen, das als Autokatalyse umschrieben wird und als Kettenreaktion verstanden werden muss, die bei hohen Temperaturen unkontrolliert ablaufen kann.

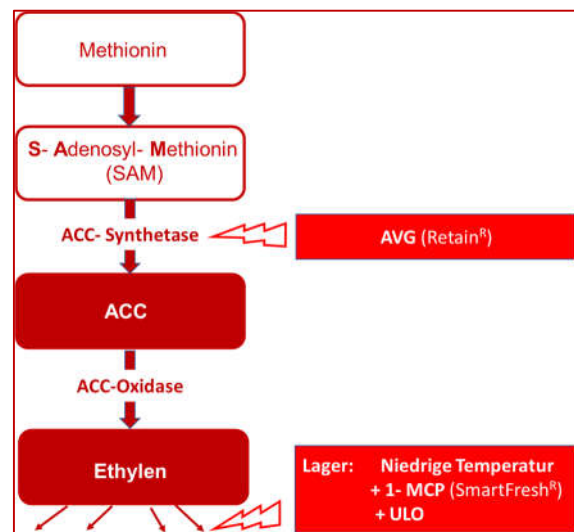


Abbildung 27 Ethylen-Biosynthese (BAAB G., HILSENDEGEN P., 2014)

### 5.7.4 Der Ethylentransport in- und außerhalb der Pflanze

Die Synthese und Ausbreitung des gasförmigen Ethylens verlaufen häufig linear zur vorherrschenden Temperatur, insbesondere bei Früchten. Ausgehend vom Ort der Synthese diffundiert das Ethylen auch aus der Pflanze heraus (vor allem aus Früchten) in die umgebende

Atmosphäre und breitet sich dort aus. Das gasförmige Pflanzenhormon dockt an den überall vorhandenen Etylenrezeptoren an und entfaltet dort seine Wirkung. Je höher die Anzahl an Rezeptoren, desto stärker kann das Etylen wirken. Über die meisten Rezeptoren verfügen Blüten, Blütenknospen und Früchte. Diese Organe sind daher sehr empfänglich für Etylen. Innerhalb der Pflanze breitet sich Etylen über die Interzellularen aus. Es kann aber auch als Vorstufe (ACC) über größere Strecken transportiert werden.

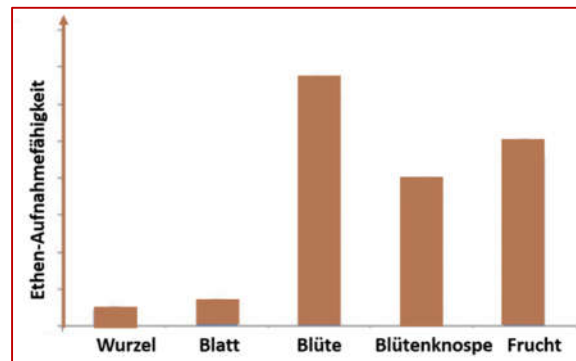


Abbildung 28 Etylen-Rezeptoren unterschiedlicher Pflanzenorgane (LI et al., 2015)

#### 5.7.5 Welche Funktion übt Etylen im pflanzlichen Stoffwechsel aus?

Die Einflüsse von Etylen im pflanzlichen Stoffwechsel sind sehr mannigfaltig. Im Folgenden sind daher nur wenige wichtige Beispiele aufgeführt.

Etylen ist ein „**Alarmstoff**“, der **bei Pflanzenstress** gebildet wird und mithilft, Abwehrprozesse in Gang zu setzen. Bei Verwundungen bewirkt er gemeinsam mit anderen Stoffen wie der Salicylsäure und dem Jasmonat eine Abgrenzung des betroffenen Bereiches sowie die Bereitstellung von antioxidativen Substanzen. Als Gas wirkt Etylen dabei auf benachbarte Pflanzenteile oder Pflanzen und setzt dort die Alarmkaskade in Gang.

Speziell auf unsere Obstgehölze bezogen lassen sich eine Reihe charakteristischer **Eigenschaften** aufzählen:

- ✓ Etylen beschleunigt beispielsweise den Alterungsprozess der Eizellen in den Blüten - Gibberelline verlängern deren Lebensdauer.
- ✓ Immer dann, wenn der Auxinexport aus den klassischen Auxinquellen gestört oder unterbrochen ist und ein gewisses Niveau unterschreitet, setzt die Synthese von Etylen ein und damit auch die Bildung der Enzyme Zellulase und Pektinase. Beide Enzyme lösen dann an der Stielbasis der Blüten und Früchte die Ausbildung einer Trennschicht aus. Etylen ist somit indirekt für die klassischen Fruchtfallperioden verantwortlich.
- ✓ Nach der Blüte, im Mai/Juni, fördert das Etylen die Entwicklung junger, generativer Meristeme unmittelbar vor und während der Blühinduktion und stimuliert damit die Bildung von Blütenknospen. Auch die Blüteninitiation Ende Juli/Anfang August und selbst die darauffolgende Blütenknospendifferenzierung werden durch die Anwesenheit von genügend Etylen begünstigt. Da das Etylen auch allgemein den vegetativen Wachstumsvorgängen entgegenwirkt, trägt es auch über die Reduktion der Auxin- und Gibberellin-Wirkung dazu bei, dass sich Meristeme zu Blütenanlagen umwandeln.  
Alle geschilderten Prozesse sind für den nächstjährigen Ertrag von großer Relevanz.

In der zweiten Vegetationshälfte setzt mit dem allmählichen Abbau des Auxins eine hormonelle Umstellung ein. Von nun an übernimmt anstelle von Auxin und Gibberellin das „Alterungshormon“ **Ethylen** zunehmend die Dominanz über zahlreiche Stoffwechselprozesse in der Sprossachse:

- Steigende Ethylengehalte hemmen das vegetative Wachstum und unterstützen beispielsweise die Blüteninitiation und Blütenknospendifferenzierung.
- Ethylen ist für Einleitung und später für die Aufrechterhaltung der Winterruhe verantwortlich. Im Winter hemmt das Ethylen die Wachstums- und Entwicklungsprozesse der Knospen.
- Schließlich läutet das Ethylen, als klassisches „Alterungshormon“, den Frucht- und Blattfall ein, in dem es die Bildung von Enzymen auslöst, welche die Trenngewebsbildung initiieren.
- In den Früchten sind bereits mehrere Wochen vor der Ernte erhöhte Ethylengehalte messbar. Von da an fördert und reguliert das Ethylen alle Reifevorgänge in der Frucht Dazu gehört beispielsweise
  - ✓ der Abbau von Chlorophyll (grün) und der Aufbau von Anthocyan (rot) und Carotinoiden (gelb), also die Förderung der Fruchtausfärbung und -umfärbung, wie auch
  - ✓ der Abbau von Stärke zu Zucker und
  - ✓ die Auslösung der Aromastoff-Bildung,
  - ✓ die Förderung des Abbaus von Pektin, die zu einer Veränderung der Textur und zur Verminderung der Fruchtfleischfestigkeit führt.

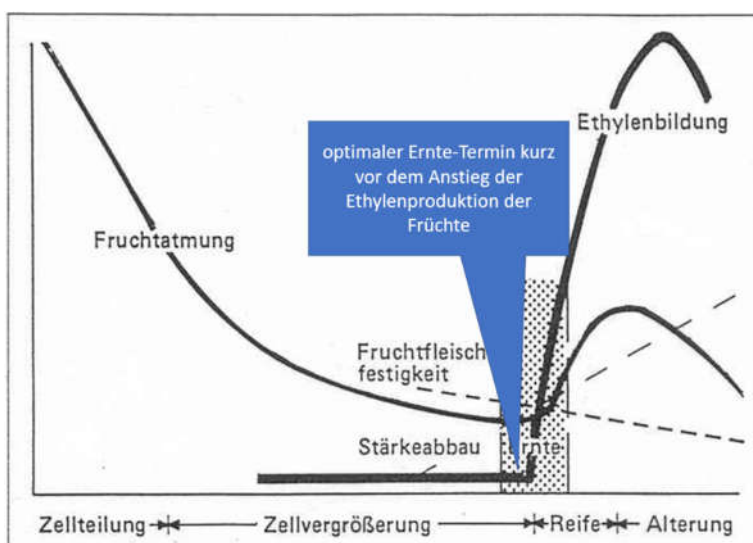


Abbildung 29 Ethylenbildung und Fruchtreifung

Von herausragender Bedeutung ist das Ethylen für die **Nachreife-prozesse** bei Apfel und Birne, und zwar im Hinblick auf den Atmungsstoffwechsel. Die Atmungs- und damit Nachreife-prozesse von Äpfeln und Birnen, besonders der Anstieg der Atmung unmittelbar nach der Reife (=„Klimakterium“) wird durch einen steilen Anstieg der Ethylengehalte in der Frucht hervorgerufen (s. Abbildung). Früchte, deren Atmung nach der Reife ansteigt und damit ein

Klimakterium aufweisen, werden *klimakterische Früchte* genannt (Apfel, Birne, Pfirsich usw.). Sie reifen auch nach der Ernte weiter. *Nichtklimakterische Früchte* (Kirschen, Erdbeeren usw.) reifen hingegen nach der Ernte nicht weiter.

Der Grund für den steilen Anstieg der Ethylengehalte ist die Trennung der Frucht vom Baum. Unmittelbar zuvor wurde die Ethylen-Produktion der Früchte noch durch Cytokinine aus der Wurzel weitgehend unterdrückt. Mit dem Wegfall dieser „Blockade“ schnellen die Ethylenwerte und Atmungsraten innerhalb kürzester Zeit in die Höhe und erreichen in nur wenigen Stunden den zwei- bis dreifachen Wert. Hohe Fruchtttemperaturen

„entfesseln“ (autokatalysieren) die Ethylenproduktion. Die Atmungsintensität der Früchte steigt dann sprunghaft an und ihre Lagereignung nimmt umgekehrt proportional dazu ab. Um das zu vermeiden, sollte rechtzeitig, das heißt unbedingt vor dem ‚Klimakterium‘, geerntet werden. Danach sollten die Früchte sofort heruntergekühlt und unter Umständen „gesmartet“ werden (Einsatz von 1-MCP zur Blockade der Ethylen-Rezeptoren). Anschließend kann durch Veränderung der Lageratmosphäre die Fruchtatmung minimiert werden.

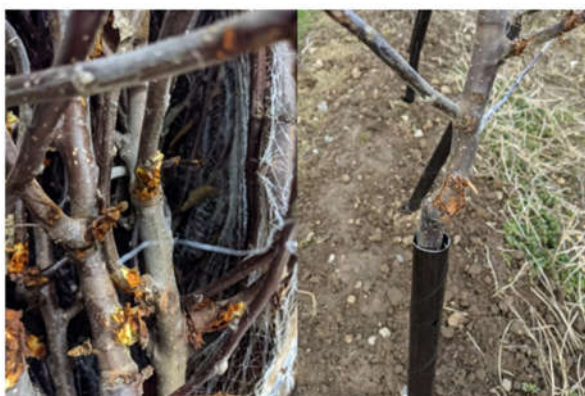
Zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge muss den Früchten ein Minimum an Atmung gestattet werden, etwa zum Unterhalt von Membranen und der Synthese von wichtigen Enzymen und anderen Inhaltsstoffen. Der Atmungsstoffwechsel hat zudem großen Einfluss auf die Synthese von Aromakomponenten. Des Weiteren wird durch die Atmung das pflanzliche Gewebe mit Energie (ATP) versorgt. Die wichtigsten Atmungssubstrate sind die Zuckerverbindungen (Glukose, Fruktose und Saccharose) sowie Fruchtsäuren, insbesondere Apfelsäure (Malat). Gerade der Säureabbau trägt dazu bei, dass viele Lagersorten, beispielsweise ‘GS 66’/Fräulein<sup>®</sup>, Pink Lady<sup>®</sup> oder Cosmic Crisp<sup>®</sup>, erst nach einer gewissen Lagerdauer akzeptable Säuregehalte und ein harmonisches Zucker-/Säureverhältnis aufweisen.

In Folge ‘geordneter Atmungsprozesse’, dem Abbau von Pektin und der Hydrolyse von Stärke erreicht jede Sorte früher oder später ihr Geschmacksoptimum, die eigentliche **Genussreife**.

Ob Früchte nach der Ernte in der geschilderten Form nachreifen können, hängt einerseits vom Erntezeitpunkt ab, andererseits von ihrem Atmungsverhalten und damit vom Ethylen. Eine zu frühe „Ethylenblockade“, etwa durch den Einsatz von 1-MCP an zu früh geernteten Früchten, verhindert diesen Prozess.

Die gasförmige Ausbreitung von Ethylen kann bei der Zusammenlagerung von Früchten, Gemüse oder Pflanzen zur unerwünschten Reifebeschleunigung aber auch zu regelrechten Schäden führen.

Mit Äpfeln sollten kein Gemüse, aber auch keine Kiwis, Birnen, Bananen, Pfirsiche oder Nektarinen zusammen gelagert werden und vor allem keine Jungbäume.



*Abbildung 30 Ethylenschäden an Bäumen vor und nach der Pflanzung*

Ethylen kann bei Jungbäumen in die Knospen eingelagert werden und deren Austrieb hemmen oder diese sogar irreversibel schädigen. Erkennbar sind Ethylenschäden an den charakteristischen, popcornähnlichen Kallusgebilden und an der aufgesprungenen Rinde.

### 5.7.6 Synthetische Ethylen-Abkömmlinge

Der Wirkstoff **Ethephon** ist der wichtigste Ethylen-freisetzende Wachstumsregulator. Er zerfällt bei ausreichend Wärme (>15°) und Licht unmittelbar nach Ausbringung zu Ethylen.

Für Ethephon besteht in Deutschland derzeit (2025) eine Zulassung für Grassrooter und Vitoval mit jeweils 480g/l Ethephon zur Alternanzbrechung bei Apfel und Birne und zur Verbesserung der Fruchtqualität bei Apfel, außerdem eine Zulassungserweiterung nach Artikel 51 EU-VO 1107/2009 für Cerone 660 mit 660g/l Ethephon zur Alternanzbrechung bei Apfel.

*In den kommenden Jahren, etwa ab 2028, ist damit zu rechnen, dass ein weiterer Wirkstoff, der in der Pflanze die Ethylenbildung fördert, eine Zulassung erhält. Valent Bio Sciences /Sumitomo wollen auch in Europa den Wirkstoff ACC auf den Markt bringen. Dabei handelt es sich um eine Ethylenvorstufe (Amino-Cyclopropan-Carboxylsäure), die zuverlässiger als Ethephon wirkt, was darauf zurückzuführen ist, dass die Anwendung von ACC bei hohen Temperaturen nicht zu einer autokatalytischen und damit unkontrollierbaren Ethylenbildung führt. In den USA hat man deshalb bereits damit begonnen, den Wirkstoff Ethephon durch den Wirkstoff ACC, der in dem Wachstumsregulator Accede® enthalten ist, zu ersetzen.*

*Die Indikation zur Ausdünnung wird sich dabei voraussichtlich nicht nur auf die Blütezeit beschränken, sondern auf die Stadien 10-12 mm und sogar auf 20-25 mm Fruchtgröße ausgedehnt werden.*

*Darüber hinaus ist auch an eine Zulassung zur Förderung der Ausfärbung von Äpfeln gedacht, zumal auch dort die Anwendung und Wirkung temperaturunabhängig und damit kontrollierbarer wird und keine Rückstände zu erwarten sind wie etwa beim Ethephon.*

Bei dem **1- Methylcyclopropen (= 1 MCP)** handelt es sich um einen Ethylen-Rezeptor-Blocker. Die Zellen besitzen Rezeptor-Proteine, an denen das Ethylen andocken kann, um dann seine Wirkung zu entfalten. Das 1-MCP bindet sich unlösbar an diese Rezeptoren, so dass das Ethylen keine Wirkung mehr stimulieren kann. Dadurch können mit diesem Wirkstoff z.B. Reifungsvorgänge in den Früchten verlangsamt werden. Der Wirkstoff ist für den Einsatz vor der Ernte in Form von Harvista® bereits in verschiedenen europäischen Ländern zugelassen. Für die Nacherntebehandlung im Lager besteht auch in Deutschland seit Jahren eine Zulassung für SmartFresh®, AppleSmart® 3, 3 VP oder Fysium®.

### 5.7.7 Ethylen (Ethephon) -Anwendungen in der Praxis

Ethephon wird in der Praxis zur **Alternanzbrechung** eingesetzt und ist dabei derart erfolgreich, dass es bei einigen sehr anfälligen Sorten wie 'Elstar', 'Fuji' oder 'Honeycrisp' kaum wegzudenken ist.

Zu diesem Zweck wird der Wirkstoff vor allem während der Blüte angewandt. Diese Indikation ist in Deutschland durch die derzeitige Zulassung abgedeckt. Während der Blüte, vor allem zu Blühbeginn (Ballonstadium,) entfaltet der Wirkstoff die stärkste alternanzbrechende Wirkung. Der alternanzbrechende Effekt beruht zum einen auf der frühen zahlenmäßigen Dezimierung Gibberellin-produzierender Organe. Sie ist darauf zurückzuführen, dass der Wirkstoff die Lebensdauer der Eizellen verkürzt und die Trenngewebsbildung am Blüten- und Fruchtsiel

auslöst. Zum anderen auf einem physiologischen Phänomen, dass nur als klassische Antigibberelinwirkung umschrieben werden kann, obwohl es für diese Klassifizierung keinen eindeutigen wissenschaftlichen Beleg gibt. Mit gesteigerten Aufwandmengen des Wirkstoffes lässt sich im Übrigen eine sehr starke Ausdünnwirkung erzielen. Schließlich erklärt auch die hohe Zahl an Etylenrezeptoren, über die die Blütenorgane verfügen, die hohe Effizienz der Blütenbehandlungen.

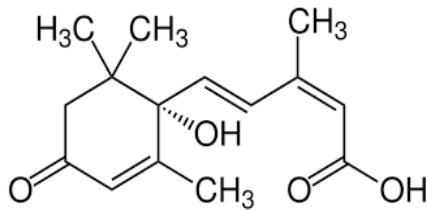
Bei hohen Temperaturen (>25°C) können allerdings auch schlagartig hohe Mengen an Ethylen freigesetzt werden, welche zu einer autokatalytische Verstärkung der Ethylenbildung und damit zur 'Verselbstständigung' der Ausdünnwirkung führen. Um solche Risiken zu vermeiden, wird das Ethephon von vielen Anwendern mit einer eher geringen Aufwandmenge als Wirkungsverstärker zusammen mit ATS bei Vollblüte ausgebracht.

Nach der Blüte lässt die alternanzbrechende Wirkung des Ethephons kontinuierlich nach. Das liegt an der geringen Rezeptorenzahl der Blätter, die den Wirkungsgrad des Ethephons beeinträchtigen. Vor allem aber haben die vielen Jungfrüchte längst eine signifikante Gibberellinwirkung ausgelöst und damit in ihrem direkten Umfeld die Blütenknospenbildung bereits erfolgreich unterdrückt. Trotzdem können Anwendungen nach der Blüte bei Apfel zwischen 4 und 24 mm Fruchtgröße und bei Birnen zwischen 6 und 10 mm Fruchtgröße zur Alternanzbrechung beitragen. Zum einen stößt der Baum in Folge der Behandlung immer noch eine bedeutende Zahl gibberellinproduzierender Früchte während des Junifalls ab. Zum anderen kann man die Blühinitiation unterstützen, wenn man geschickterweise eine Anwendung in den gleichen Zeitraum platziert, also Ende Mai Anfang Juni.

Nachblüteeinwendungen mit Ethephon sind allerdings durch die derzeitige Zulassung in Deutschland ebenso wenig abgedeckt wie Nacherntebehandlungen. In Jahren mit hohen Ernteerträgen und spätem Pflücktermin, d.h. einer hohen und langanhaltenden Einflussnahme an Gibberellinen könnten Nacherntebehandlungen mit Ethephon allerdings hilfreich sein. Sie können einen Beitrag zur Verbesserung der Knospenqualität leisten, indem sie den Prozess der Blütenknospendifferenzierung unterstützen, der bis in den Spätherbst hineinreicht.

## 5.8 Abscisinsäure (Abscisic acid, ABA)

### 5.8.1 Entdeckung



**Die Strukturformel von ABA**

Die Abscisinsäure wurde 1963 in zwei Arbeitsgruppen unabhängig voneinander entdeckt. In der Arbeitsgruppe von P. F. WAREINNG (England) wurde sie als das die Knospenruhe (Dormancy) verursachende Prinzip aus Ahornblättern isoliert und „Dormin“ genannt. F.T. ADDICOTT, K. OKUHAMA et.al (USA) isolierten sie als blattfallförderndes Prinzip als „Abscisin II“ aus jungen Baumwollfrüchten. Aufgrund der übereinstimmenden chemischen Struktur beider Substanzen erhielt die Verbindung 1965 den Namen Abscisinsäure.

### 5.8.2 Bildungsorte und -zeitpunkte von Abscisinsäure

Die Abscisinsäure ist ein natürliches Pflanzenhormon mit allgemein hemmender Wirkung. Sie wird überwiegend in Wurzeln und Blättern gebildet, vor allem in Stresssituationen und speziell infolge von Wasserstress. Hierbei reguliert die Abscisinsäure über die Schließzellen (Stomata) den Wasserstatus und die Photosynthese der Pflanze und hilft dieser, Trockenperioden zu überstehen.

Der Transport von Abscisinsäure erfolgt ausgehend von den

- Wurzeln im Xylem („Transpirationsstrom“)
- Blättern im Phloem („Assimilatstrom“)

### 5.8.3 Funktion der Abscisinsäure im pflanzlichen Stoffwechsel

Abscisinsäure fungiert ganz allgemein als Stresshormon zur Anpassung der Pflanze an ungünstige Bedingungen (Trockenheit, Staunässe, Kälte, Schaderregerbefall). In diesem Kontext

- hemmt ABA das vegetative Wachstum:  
Zellteilung, Zellstreckung, Photosynthese und Transpiration
- veranlasst ABA bei Wassermangel (Abfall des Turgors unter einen Schwellenwert) den Verschluss von Spaltöffnungen
- ist ABA-Auslöser der Bildung von ACC, einer Ethylenvorstufe:  
→ Bei Staunässe bilden die Wurzeln vermehrt ABA und daraufhin ACC. Beide Stoffe gelangen im Gefäßteil zu den Blättern und verursachen Blatt- als auch Fruchtfall.  
→ Daher führt auch die Applikation von ABA in sehr hohen Konzentrationen (500 - 1000 ppm), etwa in Form von ProTone<sup>®</sup>, zu Blattfall
- ist ABA an der Induktion und an der Aufrechterhaltung von Dormanzerscheinungen (wie Winterruhe) beteiligt
- ist ABA nach Verletzungen an Wundheilungsprozessen beteiligt. In diesem Zusammenhang erfolgt ein Anstieg des Gehaltes von ABA im betroffenen Gewebe. Das wiederum induziert eine entsprechende Gentranskription, die zur Bildung bestimmter Enzyme führt, die an der Synthese von Abwehrstoffen beteiligt sind. Im Fall von ABA handelt es sich dabei in der Regel um Anthocyane. Sie gehören zur Phenolgruppe der Flavonoide, die Bestandteil des antioxidativen Abwehrsystems sind.

#### 5.8.4 Synthetische Abkömmlinge von Abscisinsäure

Ein bekannter und bereits seit Jahren in der Praxis angewandter, über Fermentationsprozesse natürlich hergestellter Wirkstoff ist die hochaktive S-ABA [(+)-(S)-cis, trans-ABA], der im Wachstumsregulator ProTone<sup>®</sup> der Firma Valent BioSciences enthalten ist.

Der Wirkstoff stimuliert, von außen appliziert:

1. die Aktivität des Enzyms UFGT (=Flavonoid 3-O-glucosyltransferase) in der letzten Stufe der Anthocyan synthese und kann auf diese Weise die Rotausfärbung bei roten Tafel- oder Weintrauben begünstigen.
2. die Bildung von ACC, damit von Ethylen. Gegenüber der klassischen Ethylenapplikation geht von dieser Indikation keine Gefahr einer autokatalytischen Ethylenwirkung aus. Das bedeutet, dass auch bei hohen Temperaturen (> 25°C) eine kontrollierbare Wirkung zu erwarten ist.

#### 5.8.5 Anwendungen von ProTone<sup>R</sup> in der Praxis

Valent BioSciences hat den Wachstumsregulator bislang in Australien, Chile, Südafrika, Peru, Mexico, Israel, Griechenland, Italien, Spanien und in den USA registrieren lassen, und zwar zur Förderung der Ausfärbung roter Tafeltrauben. Leider ist S-ABA in der Pflanze schwer verlagerbar und funktioniert nur dort, wo sie direkt auftrifft. Denn während Ethephon unmittelbar nach der Ausbringung über die Dampfphase alle Pflanzenteile erreicht, wird S-ABA (ProTone<sup>®</sup>) weder über diesen Weg noch innerhalb der Pflanze (systemisch) verteilt. Bei den Tafeltrauben muss das Produkt daher möglichst gleichmäßig mit einer sehr hohen Wasseraufwandmenge (1000 l/ha) auf die freigestellte Traubenzone aufgebracht werden, um eine gute Benetzung der Gescheine (Blütenstand der Weinrebe) zu gewährleisten.

Bei Äpfeln funktioniert das Produkt zur Förderung der Fruchtausfärbung leider gar nicht. Weitere Zulassungen von ProTone<sup>®</sup> bestehen in Europa zur Ausdünnung und Qualitätsförderung GA<sub>3</sub>-sensitiver Tafeltraubensorten (z.B. 'Italia', 'Scarlotta', 'Viktoria') sowie zur Wachstumsregulierung des Terminaltriebes in Weihnachtsbaumkulturen unter dem Markennamen ConShape<sup>®</sup>.

Dafür können andere Anwendungen für die obstbauliche Praxis interessant werden, für die Valent BioSciences in den kommenden Jahren auch in Europa Zulassungen beantragen möchte:

Mit ProTone<sup>R</sup> soll es laut Hersteller möglich sein, die Fruchtgrößen von Birnen und Kirschen zu optimieren, Fruchtfall zu fördern (Ausdünnung) und den Blattfall in Baumschulen einzuleiten.

Versuche mit ProTone<sup>®</sup> zur Förderung des Blattfalls in Baumschulquartieren wurden bereits 2012 von G.LAFER bei den Sorten 'Gala' und Evelina<sup>®</sup> erfolgreich vorgenommen. Ziel war es, Alternativen zur „Schockentlaubungsmethode“ mit Kupferchelaten zu finden. Diese führen in der Regel zum Abfall noch grüner Blätter und damit zum Verlust an Kohlenhydrat- und Nährelementreserven. Infolgedessen wird die Knospenqualität (und deren Austriebswilligkeit im Frühjahr) und vor allem die Winterfrosthärte der Bäume in Mitleidenschaft gezogen.

Sowohl das Ethephon wie auch das die Ethylenproduktion stimulierende ProTone<sup>®</sup> unterstützen den natürlichen Blattfall (Abcission), was durch die Gelbfärbung der Blätter nach der Applikation angezeigt wird. Das hat den großen Vorteil, dass die in den Blättern befindlichen Kohlenhydrate und Nährelemente ins benachbarte Holz zurückverlagert werden können, somit dessen Frosthärte begünstigen, wie auch den Austrieb von Blättern und

Seitentrieben im darauffolgenden Frühjahr fördern. Zu diesem Zweck empfiehlt LAFER, die Bäume in Baumschulquartieren Ende September mit 300 -500 ppm S-ABA (= 300 – 500 ml/hl ProTone® + Netzmittel) zu behandeln und 14 Tage bis 21 Tage danach die Behandlung zu wiederholen, und zwar mit 1000 ppm S-ABA (= 1000 ml/hl ProTone® + Netzmittel).

#### 5.9 Keine vollständige Vorstellung der Phytohormone

Diese kurze Vorstellung der in der Pflanze vorhandenen Phytohormone und deren zu beobachtende Wirkungen ist mit Sicherheit nicht vollständig. So wären weiterhin z.B. die Salicylate oder Jasmonate, die eine wichtige Rolle bei der Steuerung der pflanzlichen Abwehr gegen Witterungseinflüsse, Krankheiten und Schädlinge spielen, zu nennen.