

Wirkungsweise von Wachstumsregulatoren auf die Fruchtausdünnung

Christian Gosch und Karl Stich, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU-Wien

Dieter Treutter, Fachgebiet für Obstbau, TU-München

Neben physikalischen (händisch oder maschinell) Methoden der Behangsregulierung sind chemische Verfahren (Ätzmittel, Wachstumsregulatoren) vor allem aufgrund ihrer frühen und effizienten Einsatzmöglichkeiten von großer Bedeutung. Im Wesentlichen wird dadurch die Entwicklung der verbleibenden Früchte während der Zellteilungsphase verbessert und die Blütenentwicklung für das folgende Jahr zur Vermeidung von Alternanz begünstigt.

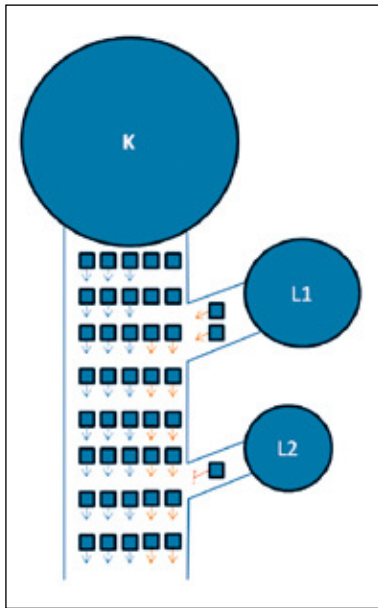
Die meisten Erfahrungen und Untersuchungen zur Wirkung der chemischen Fruchtausdünnung mit Wachstumsregulatoren liegen bei Kernobst vor. Die eingesetzten Mittel greifen dabei auf unterschiedliche Weise in den Hormonhaushalt der Pflanze ein. Der zielgerichtete Einsatz von Wachstumsregulatoren setzt demnach die Kenntnis über die Wirkung pflanzeninterner Hormone (Phytohormone) voraus.

Phytohormone (pflanzliche Wachstumsregulatoren, Bioregulatoren)

Phytohormone sind Signalstoffe der Pflanze, die physiologische Prozesse steuern können und Stoffwechselwege koordinieren. Damit Phytohormone an ihrem Wirkort physiologisch aktiv sein können, müssen sie von Rezeptoren erkannt werden. Demnach ist nicht die absolute Konzentration eines

Der Obstbauer kann den Fruchtfall mit verschiedenen Wachstumsregulatoren beeinflussen.





Grafik:
Vereinfachtes Modell zur Beschreibung der Transportkapazität der Blütenstandsachse für Auxin (verändert nach Bangerth, 2000 und Ongaro & Leyser, 2008). Die Rechtecke symbolisieren die Transportkapazität für Auxin (Pfeile), das aus den Früchten (K = Königsfrucht; L1, L2 = Lateralfrüchte) exportiert wird. Die Seitenfrucht L2 kann mangels freier Kapazitäten kein Auxin in den Hauptstrom einleiten und wird vorzeitig abfallen.

Phytohormons für dessen Wirksamkeit entscheidend, sondern vor allem auch die Sensitivität (Empfindlichkeit) des jeweiligen Gewebes, die sich im Laufe der Entwicklung stark ändern kann.

Im Gegensatz zum tierischen Organismus werden bei Pflanzen physiologische Prozesse nicht durch einzelne Phytohormone alleine ausgelöst. Für die Steuerung von Wachstum und Differenzierung ist viel mehr oft das Zusammenwirken mehrerer Phytohormone verantwortlich. Dazu gehört auch, dass Phytohormone gegenseitig ihre Auf- und Abbauprozesse sowie ihren Transport beeinflussen können. Die wichtigsten Phytohormone im Zusammenhang mit der Behangsregulierung sind im Folgenden kurz beschrieben: Auxine (z.B. Indolelessigsäure) sind wahrscheinlich die am besten untersuchte Gruppe der Phytohormone. Sie werden hauptsächlich in Sprossspitzen sowie jungen Samen gebildet und werden in den Zellen streng sprossabwärts transportiert. Sie fördern das Wurzel- sowie Streckungswachstum und sind verantwortlich für die Apikaldominanz, bei der übergeordnete Sprosse den Austrieb von Seitenknospen hemmen. Auxine können darüber hinaus je nach Konzentration die Entwicklung oder das Abfallen

von Laub, Blüten und Früchten beeinflussen. Auxin-Analoga wurden beispielsweise im Vietnam-Krieg (Agent Orange) zur Entlaubung von Wäldern eingesetzt. Cytokinine (z.B. Zeatin) werden hauptsächlich in Wurzelspitzen und jungen Früchten gebildet. Sie fördern die Zellteilung (Cytokinese) und Samenkeimung sowie die Bildung von Chlorophyll, verzögern Seneszenzprozesse (Alterungsprozesse), verringern die Apikaldominanz und begünstigen somit den Austrieb von Seitenknospen. Ethylen ist ein gasförmiges Phytohormon, von dem insbesondere die Steuerung von Reife- und Alterungsprozessen bekannt ist. Die Empfindlichkeit eines Gewebes gegenüber Ethylen variiert und wird beispielsweise durch Auxine beeinflusst.

Fruchtausdünnung mit Bioregulatoren

Für eine zufriedenstellende Behangsregulierung ist es notwendig, den internen Phytohormonhaushalt zu beeinflussen. Der eingesetzte Wirkstoff muss dabei zum passenden Zeitpunkt in richtiger Konzentration am entsprechenden Wirkort im Gewebe aktiv werden. Der Zeitpunkt wird dabei maßgeblich durch die entwicklungspezifische Sensitivität des Gewebes

beeinflusst, während die wirksame Konzentration von vielen Faktoren abhängt: Neben dem Wirkstofftyp sind vor allem die genetische Konstitution, der physiologische Zustand der Pflanze, Umweltfaktoren und Kulturmaßnahmen entscheidend. Die Summe der Einflussfaktoren macht eine optimale Behangsregulierung schwierig und erfordert oft eine überlegte Behandlungsstrategie zu verschiedenen Zeitpunkten und mit verschiedenen Wirkstoffen, zumal die Pflanzen im Bestand oft nicht einheitlich entwickelt sind.

Um die natürliche Behangsregulierung und den vorzeitigen und selektiven Fruchtfall zu erklären, wurden Modellvorstellungen entwickelt, die auf zahlreichen physiologischen Untersuchungen beruhen. Für die Anwendung geht es schließlich darum, dieses Phänomen künstlich einzuleiten (Fruchtausdünnung) bzw. in späten Fruchtstadien zu verhindern.

Im Assimilatmodell wird angenommen, dass eine unzureichende Versorgung mit Kohlenhydraten für den vorzeitigen Fruchtfall verantwortlich sei. Diesbezüglich liegen jedoch widersprüchliche Beobachtungen vor. Die alleinige und ursächliche Beteiligung einer ungleichen Kohlenhydratverteilung beim Fruchtfall ist nach heutigem Wissensstand unwahrscheinlich.

Hormontheorien stützen sich hingegen hauptsächlich auf die Wirkung von Auxin und Ethylen. Im Seneszenzmodell wird angenommen, dass beim Altern oder Reifen eines Organs (Früchte, Blätter) die Bildung von Auxin nachlässt. Durch den verringerten Auxingehalt steigt die Empfindlichkeit der Abszissionszone gegenüber Ethylen. Die Abszissionszone ist ein von der Pflanze gebildetes Trenngewebe, das bereits lange vor dem Abfallen nachweisbar ist, aber erst durch ihre Aktivierung zur tatsächlichen Bruchstelle wird. Dann erst werden Zellwand abbauende Enzyme gebildet (Glucanasen, Polygalacturonasen = Pektinasen), welche den Zellverband in der Abszissionszone auflösen. Die

zum Abfallen reifer Früchte führenden Stoffwechselaktivitäten werden dabei letztendlich durch Ethylen der Früchte ausgelöst. Die Ethylensensitivität des Gewebes, das heißt, dessen Fähigkeit auf Ethylen zu reagieren, wird allerdings von anderen Faktoren, insbesondere von Auxinen, bestimmt. Während dieses Seneszenzmodell für reifende Früchte eine durchaus befriedigende Erklärung liefert, müssen bei jungen, vitalen und nicht seneszenten Früchten noch differenziertere Me-

stand von Äpfeln bedeutet das, dass die sich zuerst entwickelnden Früchte (vor allem die Königsfrucht) über die sich später entwickelnden seitlichen dominieren und deren vorzeitigen Fruchtfall auslösen können (Primigen-Dominanz).

Erklärt wird dies durch die Hemmung des Auxinstroms aus den untergeordneten Früchten durch einen starken Auxinexport der übergeordneten Organe, insbesondere der Königsfrucht. Mittlerweile ist bekannt, dass die

letztendlich zum Abfallen der Frucht. Neben dem Entwicklungsvorsprung der Königsfrucht sind unter anderem auch eine hohe Anzahl von Samen, die Anzahl der Früchte im Fruchtstand und das Vorhandensein nahegelegener Sprosse für die Flussrate des Auxins verantwortlich. Untersuchungen zum vorzeitigen Fruchtfall von Leonard C. Luckwill Mitte des vorigen Jahrhunderts zeigten, dass sich während der Fruchtentwicklung bei Äpfeln Phasen mit unterschiedlich starkem Auxinex-



Der Fruchtansatz hängt maßgeblich vom Zusammenspiel verschiedener Phytohormone ab.

chanismen von Bedeutung sein, da dort weder eine verringerte Auxinproduktion noch ein Anstieg von Ethylen gemessen werden kann. Ein von Fritz Bangerth vorgeschlagenes Modell der korrelativ regulierten Abszission von jungen Früchten geht von einem Dominanzverhältnis zwischen Organen (Früchte, Sprosse) aus, bei der die Wechselbeziehung zwischen den sich entwickelnden Früchten oder den nahe liegenden Sprossen entscheidend ist. Für einen sich entwickelnden Frucht-

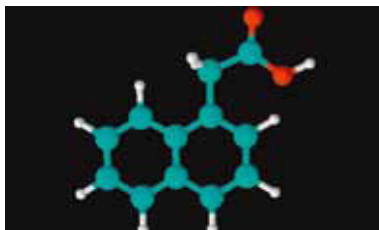
Transportkapazität des Sprosses bzw. der Blütenstandsachse für das Auxin begrenzt sein kann, so dass bei dessen Auslastung durch den Auxinstrom aus den zuerst gebildeten Früchten kein weiteres Auxin in die Hauptachse aufgenommen werden kann (Grafik).

Fällt der verringerte Auxinfluss unter einen bestimmten Wert oder ist er gar komplett unterbunden, so führt dies, wie im Seneszenzmodell erklärt, zu einer erhöhten Sensitivität des Trenngewebes gegenüber Ethylen und

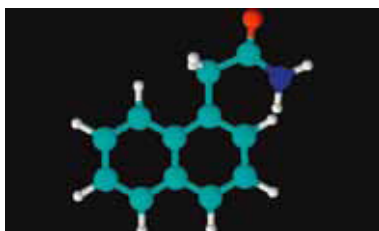
port aus den Früchten abwechseln. Besonders die sich entwickelnden Samenanlagen sind starke Auxinproduzenten und gewährleisten einen ausreichenden Auxinfluss über die Fruchtstiele zum Spross und verhindern damit die Ausbildung des Trenngewebes. Nicht befruchtete, samenlose Früchte neigen demnach mangels Auxinproduktion eher zu vorzeitigem Fruchtfall. Anhand des Modells der Auxinströme kann die Wirkung von applizierten Bioregulatoren teilweise erklärt werden. Die zur Behangregulierung

eingesetzten Phytohormon-Analoga werden nachfolgend beschrieben.

NAA (1-Naphthyllessigsäure), NAD, NAAM (1-Naphthylacetamid)



Diese Naphthyl-Derivate sind Strukturanaloga der Auxine. NAA ist ein sehr effektiver Wirkstoff für die Fruchtausdünnung, während NAD eine mildere Wirkung zeigt. Dabei scheint die Applikation über das Blatt oder die Frucht gleichermaßen wirksam zu sein. Das synthetische Auxin könnte den Auxinexport aus den dominierenden Organen verstärken und damit zur Auslastung der Transportkapazität

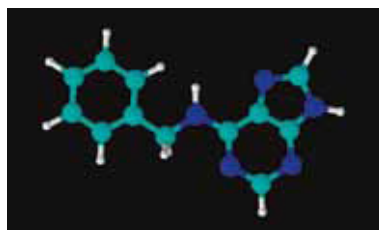


beitragen, was den Fruchtfall der kleineren Früchte zur Folge hat. Es wird außerdem angenommen, dass durch die Anwendung die pflanzeigene Auxinproduktion in den Samenanlagen verringert wird, wodurch es nach dem Abbau zu einem plötzlichen Mangel an Auxinen kommt. Dies betrifft vor allem schlecht entwickelte Früchte, die selbst ohnehin nur wenige Auxine produzieren. Dies ist von Vorteil, da es zur selektiven Ausdünnung von schlecht entwickelten Früchten kommt. Da Auxine in den Früchten vorwiegend in den Samenanlagen produziert werden, kann es durch die Auxinapplikation andererseits auch zur Bildung

von samenlosen oder Zwergfrüchten kommen, die ohne die künstlichen Auxine abfallen würden. Während Auxin-Analoga in frühen Fruchtentwicklungsstadien zur Ausdünnung verwendet werden, können sie während der Frucht reife durch die Unterstützung des pflanzeigenen Auxingehaltes unerwünschten, vorzeitigen Fruchtfall verhindern.

BA (6-Benzyladenin)

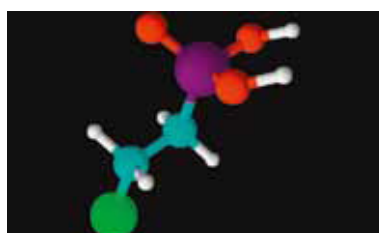
6-Benzyladenin gehört zur Gruppe der Cytokinine. Der Effekt als Ausdünnmittel beschränkt sich weitgehend auf die Applikation über das Blatt. Die Wirkung von 6-Benzylade-



nin könnte darin liegen, dass durch kurzzeitige Wachstumsstimulation der räumlich naheliegenden Sprosse der abwärts gerichtete Auxinstrom der Früchte gehemmt wird. Dies hätte im Sinne des erwähnten Modells der korrelativ regulierten Abszission das Abfallen von Früchten zur Folge. Eine positive Wirkung von 6-Benzyladenin auf die Fruchtgröße wird neben dem Ausdünn effekt auch durch die angeregte Zellteilung erzielt, kann aber zu asymmetrischen Früchten führen.

Ethephon (2-Chlorethylphosphonsäure)

Aus Ethephon wird nach der Applika-



tion durch Abbau in der Pflanze das aktive, gasförmige Phytohormon Ethylen (Ethen) frei, ein Vorgang, der stark temperaturabhängig ist. Die Wirkung als Ausdünnmittel erfolgt ausschließlich über die Frucht und nicht über das Blatt.

Die Sensitivität des Gewebes ist während des Rotknospenstadiums hoch und gegen Blühende niedrig. Während der natürlichen Fruchtfallperioden steigt die Sensitivität abermals. Ethylen führt in Wechselwirkung mit Auxin letztendlich zur Aktivierung des Trenngewebes. Von Ethylen ist auch bekannt, dass es den Transport des Auxins hemmen kann, was ebenfalls zur Erklärung seiner ausdünnenden Wirkung beitragen kann. Die starke Temperaturabhängigkeit der Ethylenfreisetzung sowie die gewebes- und sortenspezifische Sensitivität können starke Schwankungen in der Ausdünnwirkung zur Folge haben.

Schlussfolgerungen

Behangregulierung ist zweifellos eine der wichtigsten qualitätsfördernden Pflegemaßnahmen im Obst- und Weinbau. Beim Kernobst gewährleistet diese vor allem eine jährliche, alternanzfreie Produktion von vermarktungsfähigen Früchten, während sie im Weinbau zu qualitativ hochwertigem Lesegut als Voraussetzung für Spitzenweine führt.

Die genauen Wirkmechanismen von Phytohormon-Analoga auf die Fruchtausdünnung sind durch manchmal widersprüchliche Versuchsergebnisse und das offensichtlich komplexe Wechselspiel der Einflussfaktoren nach wie vor unklar.

Ein besseres Verständnis darüber ist Voraussetzung für die Entwicklung neuer Präparate und Behandlungsstrategien. Ein Schlüssel dazu liegt gewiss in der Transportkapazität der Sprosse und Blütenstandsachsen für das Phytohormon Auxin und deren Beeinflussung durch innere und äußere Faktoren. 🍏