

# Behangsprognose bei Äpfeln

Simon Schweizer<sup>1</sup>, Lena Neumann<sup>3</sup>, Peter Braun<sup>3</sup>, Sonja Kuttig<sup>2</sup>, Daniel Baumgartner<sup>2</sup> und Albert Widmer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB

<sup>2</sup>Agroscope, Institut für Lebensmittelwissenschaften ILM, 8820 Wädenswil, Schweiz

<sup>3</sup>Hochschule Geisenheim, Institut für Obstbau, 65366 Geisenheim, Deutschland

Auskünfte: Simon Schweizer, E-Mail: [simon.schweizer@agroscope.admin.ch](mailto:simon.schweizer@agroscope.admin.ch)



Abb. 1 | Markieren der Blüten für die Messung des Fruchtwachses an Nicoter, am 2. 5. 2013.

## Einleitung

Bei Äpfeln ist die Anzahl Früchte pro Baum entscheidend für die Fruchtqualität und den Ertrag im aktuellen und im folgenden Jahr (vgl. Kasten). Kulturmassnahmen zur Regulierung des Behangs werden im Zeitraum zwischen dem Ballonstadium (einige Tage vor dem Aufblühen) bis spätestens 12 mm Fruchtdurchmesser durchgeführt. Die Schwierigkeit besteht darin, dass vielfältige Faktoren das Fruchtfallverhalten eines Baumes sowie die Wirksamkeit einer Ausdünnbehandlung beeinflussen. Strategie und Intensität der Ausdünnung müssen des-

halb individuell auf Parzelle und Jahr angepasst werden. Da zum Zeitpunkt der Ausdünnung die Behangsentwicklung nicht ausreichend eingeschätzt werden kann, ist dies jedoch nur zum Teil möglich. Die Planung der Ausdünnung basiert bis heute auf Erfahrungen mit der Sorte, dem Anbausystem, der Parzelle und den verschiedenen Ausdünnstrategien.

Es ist ein dringendes Bedürfnis der Produzentinnen und Produzenten, die Behangsentwicklung besser einschätzen zu können, um die Ausdünnung optimal zu planen. Agroscope verfolgte in Zusammenarbeit mit Mitgliedern des internationalen Arbeitskreises für Kul-

turführung im Kernobstanbau (Lena Neumann, Hochschule Geisenheim; Michael Clever, OVA Jork; Gottfried Lafer, Versuchsstation Haidegg; Philipp Brunner, Versuchszentrum Laimburg) drei Ansätze für die Behangprognose: Fruchtzuwachsmessung nach Duane W. Greene, Modellierung der Kohlenstoffbilanz (MaluSim) nach Alan N. Lakso und zerstörungsfreie Messung der Stoffzusammensetzung der Früchte mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS).

### Prognosemodelle

Die drei untersuchten Prognoseansätze verfolgen zwei verschiedene Strategien:

- Behangprognose anhand messbarer Merkmale der Früchte. Implizit ist die Annahme, dass für jede Frucht schon früh bestimmt ist, ob sie ausreifen oder abfallen wird. Was von Auge nicht gesehen werden kann, soll über die Messung des Zuwachses (Methode Greene) oder der Stoffzusammensetzung (NIRS) erkannt werden.
- Prognose des Endbehangs bzw. der zu erwartenden Wirkung einer erfolgten Ausdünnung mittels Berechnung der Kohlenstoffbilanz (MaluSim).

### Methode nach Greene

Die von Duane W. Greene entwickelte Methode beruht auf seiner Beobachtung, dass jene Früchte, welche bis zum Junifruchtfall abfallen werden, ihr Wachstum bereits kurz nach erfolgter Ausdünnbehandlung verlangsamen (Greene *et al.* 2005). Mittels Messung des Fruchtwachstums einer repräsentativen Stichprobe soll der erwartete Erntebhang schon wenige Tage nach der Ausdünnbehandlung vorausgesagt werden können. Falls ein Überbehang prognostiziert wird, kann zu diesem Zeitpunkt noch wirksam nachgedünnt werden. In Absprache mit dem Arbeitskreis für Kulturführung wurde Greenes Methode in diversen europäischen Obstparzellen über mehrere Jahre evaluiert. Diese Messungen zeigten jedoch ein anderes Bild, als nach dem Studium der amerikanischen Publikationen (Greene *et al.* 2005; McArtney und Obermiller 2010) erwartet wurde: Die Prognosen verfehlten die tatsächlichen Fruchtzahlen z.T. um ein Vielfaches. Anpassungen des mathematischen Modells waren anfänglich vielversprechend (Gölles *et al.* 2012), befriedigten in der weiteren Evaluation aber ebenfalls nicht.

Um die Ursache für die auftretenden Unregelmäßigkeiten einzugrenzen, wurde das frühe Fruchtwachstum vertieft untersucht. Dies sollte klären, ob und mit welchen Anpassungen Greenes Methode in europäischen Obstanlagen eine zuverlässige Behangprognose liefern kann.

### Zusammenfassung

Die Behangsregulierung ist eine entscheidende Kulturmassnahme im Apfelanbau. Nur wenn die Anzahl Früchte pro Baum dem Zielbehang entspricht, stimmen Ertrag und Qualität über die Jahre. Der Behang wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst und durch Ausdünnmassnahmen gezielt verringert. Die nötige Intensität der Ausdünnung ist jedoch schwierig einzuschätzen, denn sie muss vor Abschluss des physiologischen Fruchtfalls im Frühsommer erfolgen. Drei Ansätze zur frühzeitigen Behangprognose wurden in Obstparzellen in der Schweiz, Deutschland, Österreich und Italien weiterentwickelt, angepasst und evaluiert: Fruchtzuwachsmessung nach D.W. Greene, Stoffzusammensetzung der Früchte mittels Nahinfrarotspektroskopie und Modellierung der Kohlenstoffbilanz (MaluSim). Den Untersuchungen zufolge wird Fruchtfall jedoch nicht zu einem bestimmten Zeitpunkt determiniert, sondern kann wiederholt induziert werden. Qualität und Zuverlässigkeit der Prognosen waren deshalb beim aktuellen Stand der Entwicklungen für die Anwendung in der Praxis nicht ausreichend. Aussichtsreich ist indessen die Einschätzung der erwarteten Wirksamkeit einer Ausdünnbehandlung, welche anhand der Kohlenstoffbilanz aus MaluSim abgeleitet werden kann. Die Dosierung für die Behandlung könnte damit gezielt an die Verhältnisse angepasst werden.

### Zielbehang

Ertrag, Qualität und Wirtschaftlichkeit werden im Apfelanbau massgeblich durch die Höhe des Behangs (Früchte pro Baum) mitbestimmt. Zu hoher Behang verursacht Qualitätseinbussen, die Früchte bleiben klein und reifen nicht vollständig aus. Zudem entstehen hohe Arbeitskosten bei der Handausdünnung und es folgt eine schwache Blüte im kommenden Jahr (Alternanz). Zu geringer Behang bedeutet an sich einen Ertragsverlust, verunmöglicht damit die selektive Handausdünnung (Entfernen schlecht entwickelter Früchte) und vermindert ebenfalls die Qualität (Stippe, Fleischbräune, Lagerfähigkeit). Der Zielbehang bezeichnet im Apfelanbau die Anzahl Früchte pro Baum, welche den höchsten Ertrag bei der geforderten Qualität liefert. Oft liegt der Zielbehang bei nur 5 bis 10 % aller Blüten, je nach Baum und Blühstärke.

### Fruchtfall und Ausdünnung

Apfelbäume stossen einen Teil der jungen Früchte im Frühsommer ab, um sich den verfügbaren Ressourcen anzupassen. Das Ausmass dieses Fruchtfalls wird wesentlich durch die Verfügbarkeit von Assimilaten (Sink-Konkurrenz) und durch hormonelle Prozesse bestimmt.

### Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)

In Früchten, welche abfallen werden, verändern sich die physiologischen Prozesse. Greene misst diese Veränderung anhand des verlangsamten Wachstums. In der Annahme, dass sich gleichzeitig auch die Stoffzusammensetzung verändert, wurde untersucht, ob mit NIRS Unterschiede messbar sind zwischen Früchten, die abfal-



**Abb. 2** | NIRS-Gerät im Einsatz. In dieser Studie wurden die Früchte mit dem Reflexions-Spektrometer Phazir (PZ1018, Polychromix) gemessen. Dieses zeichnet NIRS-Spektren im Wellenlängenbereich von 930 bis 1800 nm auf.

Diese werden ihrerseits von vielfältigen Bedingungen beeinflusst, insbesondere von der Witterung, der Sorte und der Unterlage, sowie vom Anbausystem, von der Nährstoffversorgung, der Befruchtung und den Verhältnissen im Vorjahr. Der Fruchtfall des Frühsommers wird mit dem Junifruchtfall abgeschlossen. Normalerweise ist danach der Behang immer noch wesentlich über dem Zielbehang, Ausdünnmassnahmen sollen dies korrigieren. Die Ausdünnung muss möglichst früh erfolgen, d.h. deutlich vor Abschluss der Fruchtfallphasen, um die Fruchtqualität der Ernte und die Blüte im Folgejahr effektiv zu verbessern.

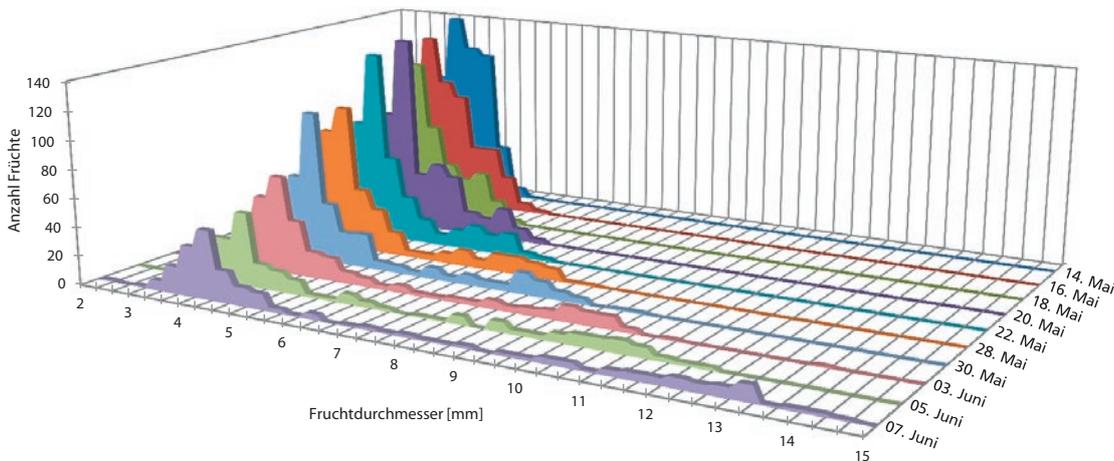
Ausdünnmassnahmen greifen auf verschiedene Weise in die physiologischen Prozesse ein und verstärken damit den Fruchtfall. Die Effektivität dieser Massnahmen wird allerdings stark von diversen Einflussfaktoren mitbestimmt, weshalb die Wirkung einer durchgeführten Ausdünnung schwierig einzuschätzen ist. Nach dem Junifruchtfall, zum Zeitpunkt also, wenn der Endbehang gut eingeschätzt werden kann, wird der Behang von Hand auf das gewünschte Mass korrigiert (Handausdünnung). Literatur: Schumacher *et al.* (1989); Winter *et al.* (2002).

len werden, und solchen, die am Baum bleiben. Die Nahinfrarotspektroskopie beruht darauf, dass die Inhaltsstoffe von Früchten mit Licht bestimmter Wellenlängenbereiche interagieren (Baumgartner *et al.* 2007; Nicolai *et al.* 2007).

Um mittels NIRS-Messungen eine Ansatzprognose zu treffen, muss eine Kalibration erstellt werden. Dazu werden die gemessenen Spektren (Abb. 2) mit Hilfe statistischer Rechenverfahren mit der Beobachtung korreliert, ob eine Frucht bis Ende Juni gefallen oder am Baum verblieben ist. NIRS hätte gegenüber Greene vor allem den Vorteil, dass schnell und mit weniger Aufwand gemessen werden könnte. Es müssen keine Büschel markiert werden (Abb. 1) und pro Frucht ist nur eine Messung nötig.

### MaluSim

Das Kohlenstoffbilanzmodell MaluSim für Apfelbäume wurde in den USA von Lakso *et al.* entwickelt (Lakso und Johnson 1990; Lakso *et al.* 2001). Es berechnet mithilfe von aktuellen Wetterdaten unter anderem Photosynthese und Respiration eines Standardbaumes und daraus die Kohlenstoffbilanz sowie die Verteilung der Assimilate (Produkte der Photosynthese) an die einzelnen



**Abb. 3 |** Messungen des Fruchtdurchmessers an Nicoter (Kanzi®), nach Amidbehandlung (NAAm), 2013. Stichprobe n=529 Früchte (1. Messung). 10 Messungen in 24 Tagen, immer an den gleichen Früchten. Vollblüte 11. 5., Behandlung mit NAAm am 13. 5.

Pflanzenorgane. Um das MaluSim-Modell in Europa einsetzen zu können, wurden in den letzten Jahren am Institut für Obstbau der Hochschule Geisenheim einige Grundannahmen des Modells überprüft und angepasst. Derzeit wird getestet, ob das Modell bei Entscheidungen bezüglich Behangsregulierung hilfreich sein kann.

Es existieren zwei Ansätze, um MaluSim als Hilfestellung in der Ausdünnungsberatung zu verwenden:

- Behangsberechnung mit dem Fruchtfallmodell: Mittels Simulation der Assimilation und des aktuellen Assimilationsbedarfs der Früchte wird der erwartete Fruchtfall berechnet. Anhand der aktuellen Wetterdaten werden die Fruchtzahlen täglich angepasst. Dieses Modell wurde mit Versuchsdaten vergangener Jahre aus verschiedenen Regionen verglichen (unten beschriebene Untersuchung).
- Wirksamkeitsprognose für die Ausdünnbehandlung (Verwendung in den USA): Die aktuelle Kohlenstoffbilanz wird für einen festgelegten Fruchtbehang berechnet. Zusammen mit der Wetterprognose kann damit eine Tendenz bezüglich der Wirksamkeit von Ausdünnmitteln für die folgenden Tage prognostiziert werden. Dabei gilt: Bei Kohlenstoffüberschuss ist es schwieriger auszudünnen, bei Kohlenstoffmangel wird eine Behandlung stark wirken und es muss vorsichtig dosiert werden. Für eine genaue Beschreibung siehe Robinson und Lakso (2011), sowie die Internetseite der Cornell University (2014).

## Methoden und Resultate

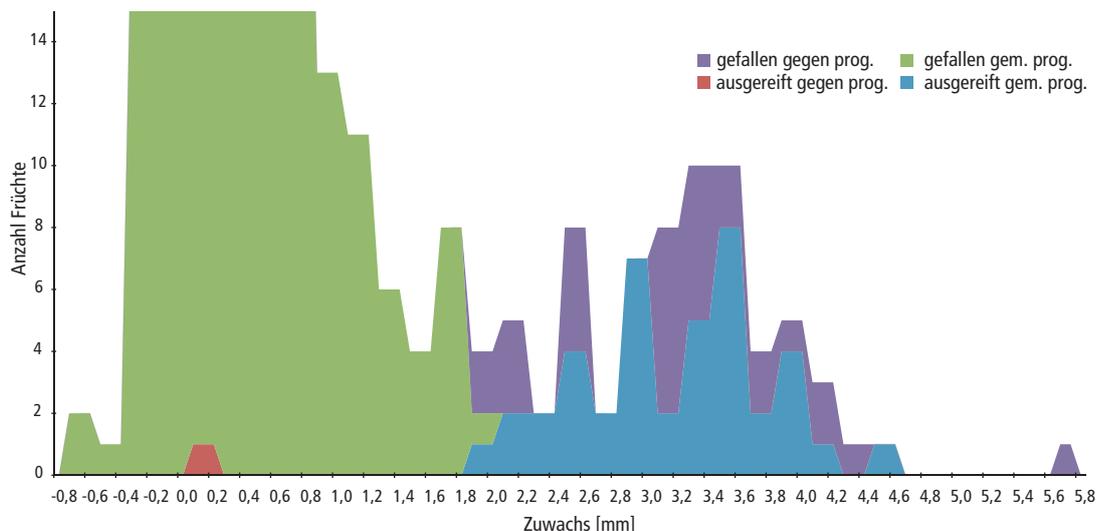
### Greene: Frühes Fruchtwachstum und Fruchtfall

Um das Fruchtfallverhalten im Zusammenhang mit dem Wachstum der Früchte genauer zu untersuchen, wurden

Fruchtzuwachsmessungen an Nicoter und Golden Delicious in Wädenswil durchgeführt. Innerhalb von 24 Tagen wurde zehn Mal gemessen, bei Fruchtdurchmessern von ca. 4 bis 15 mm (Bachelorarbeit V. Leschenne 2013). Bereits 11 Tage nach Vollblüte zeigte sich deutlich eine Gruppenbildung innerhalb der Stichprobe. Es gab eindeutig Früchte mit kontinuierlicher Entwicklung und solche, die im Wachstum stagnierten (Abb. 3, Messung vom 22. Mai).

Diese Gruppen entsprachen weitgehend der Fruchtfallprognose, wie sie mit der Zuwachsmessung nach Greene erstellt wurde: Früchte mit guter Entwicklung werden ausreifen, schlecht wachsende werden fallen. Der tatsächliche Behang nach dem Junifruchtfall war aber deutlich kleiner als erwartet. Es reiften nicht alle Früchte aus, die sich bis zum zweiten Messzeitpunkt der Zuwachsmessung gut entwickelten (Abb. 4, 17 Tage nach Ausdünnung). Früchte, welche trotz positiver Prognose abfielen (Abb. 4, violett), sind über die ganze Bandbreite der stark wachsenden Gruppe (violett und blau) verteilt. Sie konzentrieren sich nicht etwa im unteren Zuwachsbereich, wie man in Anlehnung an Greenes Hypothese erwartet hätte: Diese anfänglich stark wachsenden Früchte, die trotzdem abgefallen sind (violett), zeigten zum Zeitpunkt der Prognosestellung keinen Zusammenhang zwischen Wachstum und Fallwahrscheinlichkeit.

Der Vergleich mit weiteren Messungen an verschiedenen Sorten und Standorten in der Schweiz sowie an den Versuchstationen Laimburg, Haidegg und Jork zwischen 2007 und 2013 (86 Prognosen) bestätigte dieses Resultat: Die Zahl der Früchte, die trotz starker Anfangsentwicklung abfielen, variierte stark und ohne erkennbare Systematik. Diverse Einflussfaktoren sowie deren



**Abb. 4 |** Vergleich der Fruchtfallprognose nach Greene mit dem tatsächlichen Behang nach dem Junifruchtfall (4. 7. 2013). Nicoter nach Amidbehandlung (NAAm), Zuwachs zwischen 16. und 30. 5., Vollblüte 11. 5., Behandlung mit NAAm am 13. 5.

Kombinationen wurden als mögliche erklärende Größen geprüft: Position im Baum (stammnah, peripher), Situation im Blütenbüschel (Zentral- oder Lateralf Frucht, Anzahl Früchte pro Büschel), phänologischer Entwicklungsfortschritt zwischen Vollblüte, Behandlung(en) und Fruchtmessungen (Wärmegradtage), Ausdünnmethode, Standort und Sorte. Auch unter Einbeziehung dieser Faktoren konnte keine Verbesserung der Prognose erreicht werden.

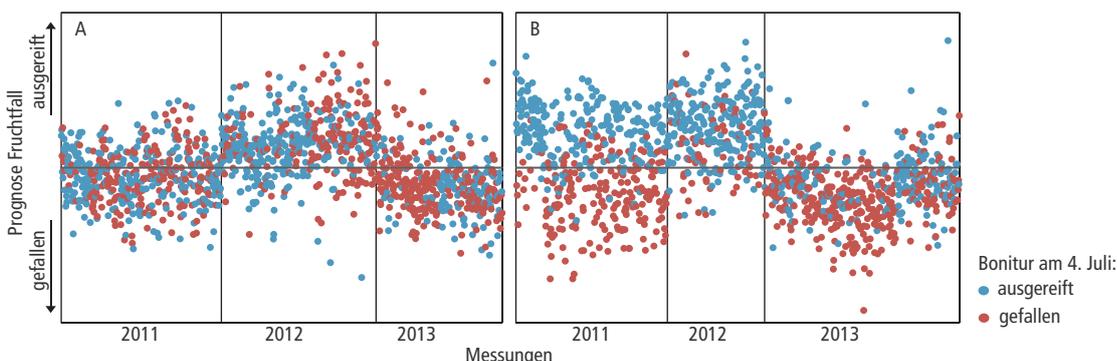
**Nahinfrarotspektroskopie**

In den Jahren 2011 bis 2013 wurden auf verschiedenen Parzellen an markierten Fruchtbüscheln NIRS-Messungen durchgeführt, an Gala, Golden Delicious, Braeburn und Nicoter. Mit der linearen Diskriminanzanalyse, einem multivariaten Kalibrierverfahren, wurde versucht, die Äpfel anhand der gemessenen Spektren in Fallende

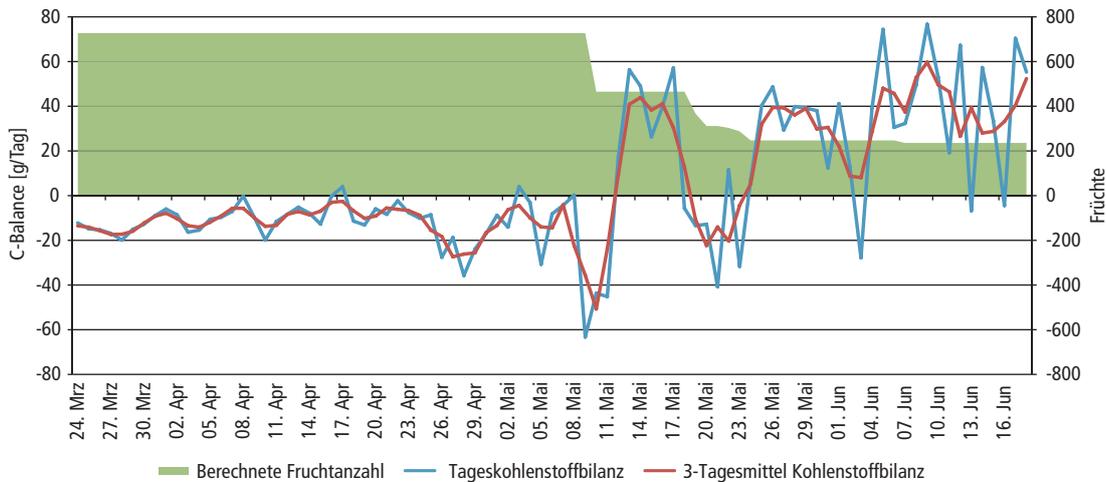
und Reifende zu klassieren.

NIRS-Modelle sind nur für Früchte gültig, die dem Kalibriereset entsprechen. Deshalb müssen möglichst verschiedene Früchte von verschiedenen Jahren, Parzellen und Sorten gemessen werden. Je mehr Fruchtvariabilität ein Kalibriereset enthält, desto robuster ist die Kalibrierung. Um die Robustheit eines Modells zu verifizieren, wird die Prognosegenauigkeit mit Früchten, die nicht im Kalibriereset enthalten sind, geprüft. Diese externe Validierung ist ein wichtiges Instrument, um die Praxistauglichkeit der Modelle zu prüfen.

Es konnten NIRS-Modelle entwickelt werden, die von den 1040 im Modell verwendeten Früchten bei  $67\% \pm 1\%$  (Abb. 5A) richtig vorhersagten, ob sie abfallen oder nicht. Die externe Validierung mit weiteren 260 Früchten ergab jedoch nur noch eine Trefferquote von  $58\% \pm 2\%$ . Das ist nur um 8% besser als eine zufällige Prog-



**Abb. 5 |** Vergleich der Prognose der NIRS-Modelle mit dem tatsächlichen Fruchtfall. (A) Modell aus abfallenden und hängenbleibenden Früchten und (B) Modell aus Früchten, die entweder in den folgenden Tagen oder gar nicht abfallen.



**Abb. 6** | Simulation der Kohlenstoffbilanz und des Fruchtfalls mittels MaluSim für Gala-Standardbaum in Zornheim, 2012 (727 Blüten/Baum, Knospenaufbruch am 24. 3., Blühzeitraum 17. 4. – 3. 5., Vollblüte 25. 4.)

nose. Eine wesentliche Schwierigkeit für die Interpretation der Spektren liegt darin, dass externe Faktoren wie das Erntejahr, die Wetterverhältnisse, der Standort oder die Fruchtposition am Baum das NIRS-Spektrum einer Frucht viel stärker beeinflussen als die physiologischen Veränderungen, welche den Fruchtfall einleiten.

Bei genauerer Betrachtung der Resultate wurde festgestellt, dass der Fruchtfall bei den Früchten, die in den nächsten ein bis zwei Wochen nach der NIRS-Messung abgefallen sind, deutlich besser vorhergesagt wurde ( $75\% \pm 5\%$ ) als bei denen, die später abgefallen sind ( $55\% \pm 6\%$ ).

Aus diesem Grund wurden neue Modelle entwickelt, die nur mit Früchten gemacht wurden, die entweder in den folgenden zwei Wochen abgefallen oder vollständig ausgereift sind. Tatsächlich wurden so bessere Resultate erreicht:  $76\% \pm 0,3\%$  der im Kalibrierset enthaltenen Früchte wurden richtig vorhergesagt (Abb. 5B) und  $71\% \pm 2\%$  der Früchte aus der externen Validierung.

Es gibt also eine messbare Veränderung der Stoffzusammensetzung in den betroffenen Früchten, bevor diese fallen. Mit NIRS kann diese allerdings erst einige Tage vor dem eigentlichen Fall festgestellt werden, wobei selbst dann die Aussagekraft der Messung gering bleibt.

### MaluSim

Zur Anpassung und Validierung von MaluSim wurden Messungen und Zählungen in einem Praxisbetrieb in Zornheim an nicht ausgedünnten Bäumen der Sorte Gala durchgeführt (Masterarbeit T. Pfeifer 2012). Hierbei konnte eines der angepassten MaluSim-Modelle besonders überzeugen. Die Simulation (Abb. 6) hat für einen

Standard-Gala-Baum mit 727 Blüten einen Endbehang von 237 Früchten berechnet, und tatsächlich hingen in der Apfelanlage nach dem Junifruchtfall im Mittel noch 236 Äpfel pro Baum.

Der erste Fruchtfall im Simulationslauf (Abb. 6) beruht auf der Annahme (vorgewählte Einstellung im Modell), dass ein Drittel der Blüten nicht befruchtet wird und abfällt. Alle folgenden Fruchtfälle basieren auf den Berechnungen der Kohlenstoffbilanz und des Fruchtwachstums. Ein letzter leichter Fruchtfall wurde trotz positiver Kohlenstoffbilanz für den 6. 6. 2012 berechnet. Durch den immer höheren Bedarf an Assimilaten in den wachsenden Früchten entstand dennoch ein Defizit für die einzelne Frucht.

Weitere Vergleiche von Simulationsläufen mit den tatsächlichen Fruchtzahlen wurden an verschiedenen Sorten in nicht ausgedünnten Parzellen in Jork durchgeführt. Die Resultate sind in Tab. 1 dargestellt, genauso die berechnete Simulation von MaluSim für Jork. Gute Übereinstimmungen zwischen berechneten und gemessenen Fruchtzahlen wurden 2012 beobachtet, während

**Tab. 1** | Mittelwerte der Anzahl Früchte/Baum aus nicht ausgedünnten Parzellen in Jork, sowie berechnete Fruchtzahlen aus den Simulationsläufen (Standardbaum Gala, Annahme: 727 Blüten).

|          | 2010    | 2011 (Spätfrost) | 2012    |
|----------|---------|------------------|---------|
| Braeburn | 157/141 | 130              | 144     |
| Elstar   | 306     | 136              | 134     |
| Kanzi    | 160     | 141              | 134/140 |
| MaluSim  | 181     | 180              | 137     |

in den Jahren 2010 und 2011 (Jahr mit Spätfrost) die berechneten Fruchtzahlen stärker von den gemessenen abweichen. Der unterschiedliche Behang der Sorten legt nahe, dass die Simulation des Fruchtansatzes an Sorten oder Sortengruppen angepasst werden sollte.

Ein Vergleich mit Versuchsdaten aus der Schweiz von 2012 (verschiedene Sorten, ohne Ausdünnbehandlung) zeigte ausserdem, dass für eine gute Simulation des Fruchtfalls eine Einschätzung der Blühstärke eingebunden werden muss. Die berechneten Fruchtzahlen aus Simulationsläufen mit Einstellungen aus Zornheim (727 Blüten) lagen weit vom tatsächlichen Behang entfernt (mittlere Abweichung  $46\% \pm 20\%$ ). Mit der Eingabe der am Baum gezählten Blütenanzahl verbesserte sich die Simulation deutlich ( $20\% \pm 7\%$ ).

## Schlussfolgerungen

Alle drei Ansätze verwendeten einfach messbare Grössen am Baum oder, im Fall von MaluSim, in dessen Umwelt. Auf labortechnische Analysen physiologischer Vorgänge wurde zugunsten der angestrebten Praxis-tauglichkeit verzichtet. Keiner der drei Prognoseansätze konnte überzeugen, indem er eine zuverlässige Prognose für den Behang nach dem Junifruchtfall erzeugen konnte. Die Untersuchungen ermöglichten jedoch vertiefte Einblicke in das Verhalten von Apfelbäumen in der frühen Phase der Fruchtentwicklung: Offensichtlich sind verschiedene Einflussfaktoren während der ganzen Zeit bis zum Junifruchtfall in der Lage, Fruchtfall zu induzieren.

### Fruchtfallverhalten

Die detaillierte Fruchtzuwachs-messung nach der Blüte zeigte, dass auf diesem Weg zwar bestimmt werden kann, welche Früchte sicher abfallen, nicht aber, welche sicher ausreifen werden. Die Menge Früchte, die trotz guter Anfangsentwicklung bis zum Junifruchtfall abgefallen sind, war sehr variabel. Das Resultat der Zuwachsmessung kann deshalb genauso trügen wie der Eindruck, den man bei der visuellen Kontrolle am Baum gewinnt. Es besteht ein Widerspruch zwischen dieser Folgerung und früheren Publikationen (Handsack 1997; Greene *et al.* 2005; McArtney und Obermiller 2010), welche den Erfolg von Fruchtfallprognosen auf der Basis von Fruchtzuwachs oder Fruchtgrösse bestätigten. Abweichende Bedingungen wie etwa Standort, Kultursystem, Sorte oder Jahreseinflüsse können Gründe dafür sein.

Die NIRS-Messungen bestätigten die vermutete Veränderung der Stoffzusammensetzung bei den Früchten, die abfallen werden. Deutlich war die Verbesserung dieser Messbarkeit, je näher der Messzeitpunkt am effekti-

ven Fall einer Frucht lag. NIRS kann die physiologische Veränderung in einer Frucht also erst wenige Tage vor deren Fall erkennen. Eine frühzeitige Behangsprognose ist damit nicht möglich.

Der Vergleich zwischen Simulationsergebnissen aus MaluSim und der Situation am Baum zeigte oft gute Übereinstimmung. D.h., die aktuelle Versorgungssituation mit Assimilaten wurde richtig eingeschätzt. MaluSim lieferte aber ebenfalls keine frühzeitige Behangsprognose. Die Kohlenstoffbilanz ist zwar ein wesentlicher Kennwert für die Ausprägung des Fruchtfalls, als witterungsabhängige Grösse kann sie aber nicht für die Zukunft berechnet werden.

Alle drei Untersuchungen legen den Schluss nahe, dass der Fruchtfall in den untersuchten Parzellen kontinuierlich oder in mehreren Phasen verlief (vgl. Schumacher *et al.* 1989). D.h., sein Ausmass wurde nicht zu einem bestimmten Zeitpunkt determiniert, weshalb eine frühe Prognose des Erntebhangs anhand der Baum- oder Fruchtentwicklung nicht möglich war. Ergebnisse von Kockerols *et al.* (2008) zur Ausdünnungswirkung durch kurzfristige Beschattung der Bäume bestätigen diese Ansicht; die Beschattung verstärkte den Fruchtfall auch noch 33 Tage nach Vollblüte, bei Fruchtdurchmessern von rund 22 – 24 mm. Demzufolge induziert ein Engpass in der Versorgung mit Assimilaten auch noch 33 Tage nach Vollblüte erneut Fruchtfall.

### Wirkungsprognose für die Ausdünnung

Die aktuelle Versorgungssituation (Kohlenstoffbilanz) eines Baumes beeinflusst direkt und massgeblich die Wirksamkeit einer Ausdünnbehandlung. Das MaluSim-Modell kann mithilfe von Wetterprognosen (Temperatur und Globalstrahlung) die kurzfristige Versorgungssituation für einen Standardbaum errechnen und damit eine wertvolle Information für die Auswahl und die Intensität einer Ausdünnbehandlung bereitstellen (Robinson und Lakso 2011). Diese Art der Prognose wird in den USA bereits von einigen Anbietern als Beratungsinstrument zur Verfügung gestellt. Den Untersuchungen dieser Studie zufolge kann MaluSim auch unter europäischen Bedingungen angewendet werden. Weitere Forschung ist jedoch nötig, um MaluSim als Beratungsinstrument einsetzen ■

#### Dank

Charles Amstein, Antoine & Christophe Betrisey, Luc Magnollay, Adrien Mettaz, Reynald Pasche, Peter Widmer und Thomas Zimmermann für die Messungen in ihren Parzellen, der Union Fruitière Lémanique, dem Strickhof und dem Kanton Wallis für ihre Unterstützung und Zusammenarbeit.

## Riassunto

### Previsione del carico in melicoltura

La regolazione del carico produttivo rappresenta una misura culturale decisiva nella melicoltura. Solo se il numero di frutti per albero corrisponde all'obiettivo prefissato di quantità da produrre saranno garantiti negli anni buoni livelli di resa e qualità. Il carico produttivo è influenzato da diversi fattori e viene ridotto in modo mirato tramite interventi di diradamento dei frutti. È tuttavia difficile valutare quale sia la necessaria intensità del diradamento, in quanto questa operazione deve avvenire prima del termine della caduta fisiologica dei frutti all'inizio dell'estate. In appezzamenti destinati alla frutticoltura in Svizzera, Germania, Austria e Italia sono stati sviluppati, adeguati e valutati tre metodi per la previsione precoce del carico produttivo: il monitoraggio della crescita dei frutti secondo D.W. Greene, la misurazione della composizione dei frutti tramite la spettroscopia nel vicino infrarosso e la modellizzazione del bilancio del carbonio (MaluSim). In base ai risultati delle ricerche, tuttavia, la caduta dei frutti non viene determinata in un preciso momento, ma può essere indotta più volte. Allo stato attuale degli sviluppi, la qualità e l'attendibilità delle previsioni non si sono dunque rivelate sufficienti per l'applicazione nella pratica. Promettente è invece la valutazione dell'efficacia attesa di un trattamento di diradamento, che può essere ricavata sulla base del bilancio del carbonio, come previsto nel modello MaluSim. Il dosaggio del trattamento potrebbe così essere adeguato in modo mirato alle esigenze.

## Literatur

- Baumgartner D., Gabioud S., Gasser F. & Höhn E., 2007. Zerstörungsfreie Messung innerer Qualitätsmerkmale beim Apfel. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 143 (12), 10–13.
- Cornell University, 2014. Cornell Apple Carbohydrate Thinning Model. Zugang: <http://newa.cornell.edu/index.php?page=apple-thin> [26.05.2014].
- Göllles M., Widmer A. & Baumgartner D., 2012. Fruchtansatzprognose beim Apfel unterstützt die chemische Fruchtbehangsregulierung. *Agrarforschung Schweiz* 3 (10), 478–485.
- Greene D. W., Krupa J., Vezina M. & Lakso A. N., 2005. A Method to Predict Chemical Thinner Response on Apples. *FruitNotes* 70 (2), 12–17.
- Handschak M., 1997. Fruchtfall beim Apfel. *Obstbau* 6, 286–290.
- Kockerols K., Widmer A., Göllles M., Bertschinger L. & Schwan S., 2008. Ausdünnung von Äpfeln durch Beschattung. *Agrarforschung* 15 (6), 258–263.
- Lakso A. N. & Johnson R. S., 1990. A simplified dry matter production model for apple using automatic programming simulation software. *Acta Horticulturae* 276, 141–148.

## Summary

### Forecasting crop load in apple trees

Crop-load management is a vital cultural measure in apple-growing. Only when the number of fruits per tree corresponds to target crop-load levels do yield and quality match over the years. Crop load is influenced by various factors, and is deliberately reduced through thinning measures. The necessary intensity of thinning, however, is difficult to gauge, since the process must take place before the physiological fruit drop is over in early summer. Three approaches to early forecasting of crop load were refined, adapted and evaluated on fruit plots in Switzerland, Germany, Austria and Italy: fruit-growth measurement according to D.W. Greene; determination of the material composition of the fruit by means of near-infrared spectroscopy; and carbon-balance modelling (MaluSim). According to the investigations, fruit drop is not induced at a specific time, but can be induced repeatedly. Because of this, with the current state of developments, the quality and reliability of the forecasts were insufficient for application in practice. Nevertheless, the estimation of the expected effectiveness of a thinning treatment which can be derived using the carbon balance from MaluSim is promising, and would allow the dosage for the treatment to be specially adapted to the conditions in question.

**Key words:** fruitdrop, predicting fruitset, fruit thinning, carbon balance, MaluSim, near-infrared spectroscopy, NIRS, *Malus domestica*.

- Lakso A. N., White M. D. & Tustin D. S., 2001. Simulation modelling of the effects of short and long-term climatic variations on carbon balance of apple trees. *Acta Horticulturae* 557, 473–480.
- McArtney S. J. & Obermiller J. D., 2010. Evaluation of a Model to Predict the Response of 'Gala' Apples to Chemical Thinners. XIth IS on Plant Bio-regulators in Fruit Production, *Acta Horticulturae* 884, 581–586.
- Nicolai B., Beullens K., Bobelyn E., Peirs A., Saeys W., Theron K. & Lamertyn J., 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* 46, 99–118.
- Robinson T. L. & Lakso A. N., 2011. Predicting Chemical Thinner Response with a Carbohydrate Model. *Acta Horticulturae* 903, 743–750.
- Schumacher R., Kellerhals M. & Fankhauser F., 1989. Die Fruchtbarkeit der Obstgehölze: Ertragsregulierung und Qualitätsverbesserung. Ulmer, Stuttgart. 242 S.
- Winter F., Link H. & Autorenkollektiv, 2002. Lucas' Anleitung zum Obstbau. Ulmer, Stuttgart. 488 S.