

Prognose von physiologischen Lagerkrankheiten bei Äpfeln:

„BigApple“ arbeitet mit Sensoren und ‚Big Data‘

Am Kompetenzzentrum-Obstbau Bodensee wird seit 2016 in einem ‚Big Data‘ Projekt erforscht, wie Vor- und Nachernte-Bedingungen die Lagererignung von ‚Braeburn‘-Äpfeln beeinflussen. Ziel ist es, das Verständnis für diese Einflussfaktoren zu verbessern, um Mengen- und Qualitätsverluste bei den Obstproduzenten und Lagerhaltern zu minimieren.

Konni Biegert, KOB, Arbeitsgruppe Ertragsphysiologie & Nacherntephysiologie, Bavendorf (D)

Die Projektidee des „Big Apple“ nimmt direkten Bezug auf Probleme von Praktikern beim Anbau von Apfelsorten wie ‚Braeburn‘, ‚Kanzi‘ oder ‚Envy‘ und auch bei Birnen wie z.B. ‚Conference‘. Dabei können bei ein- und demselben Obstbauern bei der gleichen Sorte, dem gleichem Erntetermin und der Lagerung sowie Auslagerung bei verschiedenen Partien physiologische Fruchtschäden, die von außen nicht erkennbar sind, entstehen – oder auch nicht. Die Frage ist nun, inwiefern sich die beiden Partien voneinander unterscheiden?

Physiologische Fruchterkrankungen sind z.B. Stippigkeit, Kernhausbräune, innere Fleischverbräunungen ohne und mit Kavernenbildung, Schalenbräune und CO₂-Verätzungen. Am Beispiel der Stippe liegt ein Ungleichgewicht in der Mineralstoffversorgung von Kalium und Calcium vor. Dies kann durch Witterungseinflüsse und/oder ein zu starkes Wachstum der Bäume und/oder ungünstige Erntetermine und/oder geringem Fruchtbehang und/oder andere Unbekannte hervorgerufen werden. Die unterschiedlichen Faktoren können zudem von Jahr zu Jahr stärker variieren.

Digitalisierung, Robotik und Künstliche Intelligenz (KI) werden landwirt-

schaftliche Prozesse grundlegend verändern (siehe Info Box unten). Wobei sich die Transformation hin zu einer Landwirtschaft 4.0 bisher hauptsächlich auf Feldkulturen konzentrierte. BigApple ist hierbei eines der ersten Innovationsprojekte im Obstbaubereich. Es handelt sich um ein Verbundprojekt mit Partnern aus der Industrie (CUBERT GmbH, Ulm; INOVEL Systeme AG, Friedrichshafen; SALEMFRUCHT Großmarkt GmbH, Salem) und der Wissenschaft (Technische Universität



Abb. 1: Fruchtgrößen-Messung mit der digitalen Schiebelehre

Chemnitz, Professur Regelungstechnik und Systemdynamik; Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee, Bavendorf).

Ein Werkzeug gegen Qualitäts- und Mengenverluste im Lager

Hauptziel von BigApple sind Messungen im Feld und Lager mittels nicht-destruktiven Sensoren (beispiels-

Künstliche Intelligenz (KI) – selbstlernende Maschinen und Robotik

Der erste Schritt zur Umsetzung der Digitalisierung ist eine große Datengrundlage. Hierbei helfen automatisch erfasste Daten:

- ✗ Durch stark erhöhte Rechenleistungen in den letzten Jahren können hochkomplexe Berechnungen in kürzester Zeit ausgeführt werden, Bsp. Diskussion um Ausbau der Netze auf 5G;
- ✗ Mit Künstlicher Intelligenz erlernt die Maschine Dinge, zu der davor nur der Mensch befähigt war (z. B. große Datenmengen verarbeiten, Gesichtserkennung);
- ✗ Der Entscheidungsfindungsprozess bei BigApple wird auch als ‚black box‘ bezeichnet, da selbst der Programmierer bisher nicht weiß, wie die Maschine ihre Entscheidung fasst;
- ✗ Für die nahe Zukunft (in 15 Jahren) wird vermutlich eintreffen, dass in vielen Haushalten Roboter unliebsame Jobs wie Putzen und Kochen übernehmen werden; der Wegfall dieser Jobs soll durch Dienstleistungen für die Digitalisierung aufgefangen werden;
- ✗ Als Ausblick in die ferne Zukunft warnte Stephan Hawking allerdings, dass die KI „superschlau“ wird und deshalb die Menschheit aufgrund ihrer irrationalen Entscheidungen vernichten könnte.

¹ Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Abb. 2: Drohnenblick auf den Versuch – die Zelte mit Luftpolsterfolie sind gut zu erkennen



Abb. 3: Mit Zelten werden nach der Blüte und vor der Ernte unterschiedliche Temperaturen im Feld erzeugt

weise lichtbasierte Sensoren wie ein Nahinfrarot-Spektrometer, LiDAR Laserscanner u.v.m.), um eine große Datengrundlage pro Apfel zu erlangen. Mit diesen Sensor- und den Wetterdaten werden Prognosemodelle entwickelt, die Aufschluss über ein verbessertes Management der Ernte und

Lagerung geben sollen. Die Verluste bei Obst durch Qualitätseinbußen und Fäulnis ab der Ernte bis zum Verzehr werden in Ländern wie Deutschland mit bis zu 18% beziffert. Mit BigApple sollen der Obstbauer und Manager von Obstlagern ein Werkzeug erhalten, mit dem sie die Qualitäts- und Mengenverluste der gelagerten Früchte prognostizieren und damit durch entsprechendes Lagermanagement reduzieren können.

Um den Einfluss des Wetters auf die Lagerfähigkeit besser verstehen zu können, nehmen die Forscher bei BigApple durch zeltähnliches Abdecken von Versuchsbäumen mit Luftpolsterfolie und gleichzeitigem Kühlen und oder Erwärmen zu bestimmten Entwicklungsphasen Einfluss auf die Umgebungstemperatur der Früchte (siehe Abb. 2 und 3).

Bisher versteht man nur einzelne Faktoren und Zusammenhänge, die zur Entwicklung von Lagerverlusten führen. Bekannte Einflussgrößen, die Lagerschäden verursachen und ein Teil des Versuchsplans (s. Kasten links) sind, werden hier erläutert:

- das Klima bzw. das regionale Wetter

‘Braeburn‘ im Fokus der Versuche

Die Feldversuche am KOB konzentrieren sich im BigApple-Projekt vorerst auf die Apfelsorte ‚Braeburn‘ mit folgenden **Versuchsanstellungen**:

- ✗ Veränderung der Außentemperaturen während der Zellteilungsperiode nach der Blüte durch Folienabdeckung, um höhere und tiefere Umgebungstemperaturen zu erzielen.
- ✗ Veränderung der Nachttemperaturen vor der Ernte, ebenfalls durch Folienabdeckung.
- ✗ Calcium-Blattspritzungen mit Ca-Chlorid im Verlauf der Fruchtentwicklung.
- ✗ Ausdünnung und Einstellung unterschiedlicher Fruchtbehänge.
- ✗ verschiedene Erntetermine.
- ✗ optimale bzw. ungünstige CA-Lagerbedingungen für ‚Braeburn‘-Äpfel hinsichtlich Temperatur und kontrollierter Atmosphäre

Verschiedene Versuche bestätigen den großen Einfluss des Wetters auf die Fruchtqualität. Die Temperatur nach der Blüte und vor der Ernte verändert vermutlich die Zellentwicklung (z.B. Zelldichte) in der Frucht. Die Zellstruktur beeinflusst wiederum den Fruchtmetabolismus während der Lagerung. Im Hinblick auf die Klimaerwärmung wird der Obstanbau vor neue Herausforderungen gestellt. Die Ernte 2016 war durch eine späte Reife und verzögerte Rotfärbung gekennzeichnet, weshalb 2016 am Bodensee viele Partien zu spät und dadurch auch mit schlechter Lagereignung gepflückt wurden. Die Daten aus dem Jahr 2017 waren durch den starken Blütenfrost stark beeinflusst. Für das Jahr 2018 kann man hervorheben, dass im April in Bavendorf nur 10% der Niederschlagssumme eines normalen Jahres und eine mittlere Temperatur von 13,5 °C im Vergleich zu 8,1 °C des langjährigen Mittels gemessen wurden.

Projektverbund BigApple

Stiftung Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee (Logo) Forschungseinrichtung Obstbau

Technische Universität Chemnitz (Logo) Forschungseinrichtung Regelungstechnik, Datenanalyse und Modellierung
Cubert GmbH (Logo) Bilderfassung und -verarbeitung

inovel elektronik gmbh

inovel systeme AG (Logo) Sensortechnik, Datenverarbeitung und -aufbereitung

Salem-Frucht GmbH & Co. KG (Logo) Lagerung, Sortierung und Obstvermarktung

mit den einhergehenden speziellen Nährstoffversorgungen, Wasserhaushalten und Bodeneigenschaften.

- das Management in der Obstanlage, bestimmt durch das Baumalter, die Sorte, die Baumerziehung, den Fruchtbehang und die Düngung.
- der sortenspezifische Erntetermin, definiert über Farbe, Festigkeit, Zucker und Stärke (Unsicherheiten entstehen gerade bei ‚Braeburn‘ in diesem Jahr durch einen verzögerten Stärkeabbau, der die Berechnung des Streif-Index stark beeinflusst).
- die sortenspezifische Einlagerungspraxis (verzögerte oder sofortige CA-Lagerung) und Lagerbedingungen (Temperatur, CO₂-, Sauerstoff-Konzentration).

Kontinuierliche Datenerfassung und -auswertung in der Anlage

Im BigApple-Projekt wird erstmals versucht, die unterschiedlichen Einflüsse auf physiologische Lagererkrankungen in einem engmaschigen Probenetz kontinuierlich zu erfassen. Mit Hilfe von Klassifikationsmethoden innerhalb der Künstlichen Intelligenz (KI) wird diese Datengrundlage untersucht. Die Klassifikationsmethoden nutzen maschinelles Lernen, um physiologische Krankheiten aus den Daten der Datenbank, Expertenwissen des KOB und statistischer Standardverfahren zu klassifizieren. Am Ende prognostiziert die KI Erntetermin und Lagererkrankungen. Die Forscher müssen zuletzt das Ergebnis der Klassifikationsmetho-

den überprüfen und gegebenenfalls verändern. Die KI erklärt nicht, wie sie zu einem Ergebnis kommt oder welche Parameter sie am meisten beeinflusst, weshalb es zukünftig essentiell ist, die Ergebnisse mit vielen Früchten aus weiteren Obstanlagen und Jahresdaten zu validieren.

Bei BigApple werden zur Erfassung von Frucht- und Bauparametern verschiedene Sensoren genutzt, die die aufgenommenen Daten möglichst per WLAN direkt in die Datenbank einspeisen. Der ‚Big Data‘-Ansatz, gekoppelt mit den Sensoren, soll helfen, auf einer sehr kleinen Einheit (pro Baumsektor: oben, Mitte, unten) Informationen zu erlangen. Eine weitere Besonderheit ist die kontinuierliche Messung über die Vegetationszeit hinweg.

Im Folgenden werden die verwendeten Sensoren bei BigApple vorgestellt (die dazugehörigen Nummern können im Überblick in der Abb. 4 nachvollzogen werden). Die Anwendung dieser Sensoren in der Landwirtschaft und speziell im Obstbau ist noch ziemlich neu, weshalb während der Datenaufnahme für das BigApple-Projekt noch viel Grundlagenforschung betrieben



Abb. 5: Bei den Messungen und auch bei der Ernte wird zwischen den Baumsektoren oben, Mitte und unten unterschieden. Auf dem Bild ist der untere Baumsektor schon leer und im oberen wird gerade geerntet

werden muss und das Team kontinuierlich an der Weiterentwicklung der Technik und Software arbeitet.

1. Die **Wetterstation** liefert für die Datenbank das ganze Jahr Werte zu Niederschlag, Blattfeuchte, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung.

2. Ein weiterer Baustein bei den Witterungsdaten sind wiederholte Temperaturmessungen in drei Baumsektoren (oben, Mitte, unten) und im Boden. Die **Temperatursensoren** sind im Feld vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt.

3. Mit einem Nah-Infra-Rot (NIR) Gerät der Firma Felix (F750 Fruit Quality Meter, USA) werden die spektralen Eigenschaften erfasst. Vom T-Stadium bis zur Auslagerung werden an den gleichen Versuchsfrüchten vom sichtbaren bis zum nahinfraroten Bereich die Fruchteigenschaften nicht-destruktiv aufgenommen. Es werden Informationen zur **Veränderung der Pigmente der Fruchthaut** (z. B. Chlorophyll, Anthocyan), des **Zuckergehalts** und der **Trockensubstanz** während des Reifeprozesses erfasst.

4. Durch eine externe zweite Lichtquelle an einem portablen Spektrometer soll erforscht werden, ob die

Abb. 4: Vernetzung des Projektverbunds und Datenaquise im BigApple-Projekt

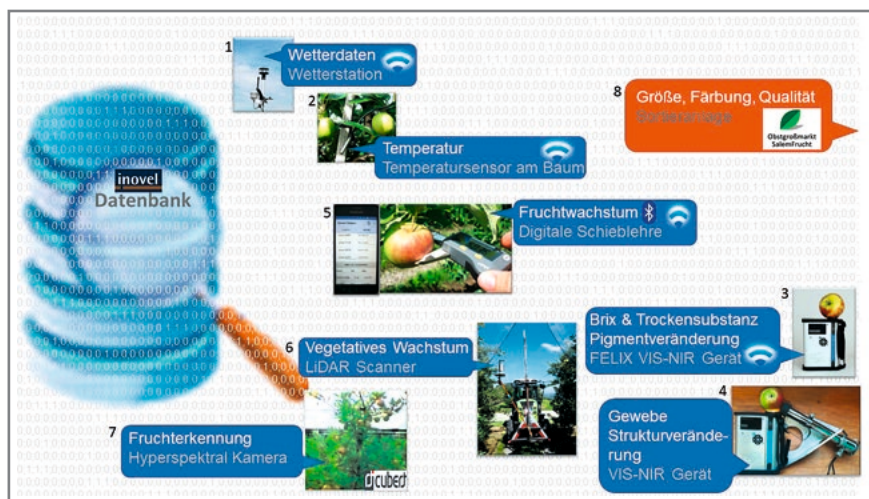




Abb. 6: Zweiwöchentliche Feldmessungen mit einem Spektrometer zur Veränderung der Pigmentierung und des Zuckergehalts



Abb. 8: Ein wesentliches Ziel von „Big Data“ ist die Reduzierung von Mengen- und Qualitätsverlusten für die Obstproduzenten und Lagerhalter

Streuung des Lichts Informationen zur Zellstruktur liefert und somit ebenfalls Anfälligkeiten für physiologische Lagerkrankheiten erfasst werden können. Die Idee für eine solche Messung entstand im Zusammenhang mit Big-Apple und die Erforschung und technische Umsetzung erfolgen seit April 2018 in einem weiteren Projekt² am KOB.

5. Mit einer digitalen Bluetooth-Schieblehre werden die markierten Früchte im Feld vermessen. Mit Hilfe der Übertragung in eine KOB-Mess-App per Bluetooth ist es möglich,

innerhalb von kurzer Zeit den Durchmesser-Zuwachs von 850 Früchten an verschiedenen Baumpositionen aufzunehmen.

6. Der LiDAR Scanner (Abk. für: light detection and ranging) tastet mit einem Laserstrahl die einzelnen Versuchsbäume ab. Es sollen damit Baumvolumen und vegetatives Wachstum baumgenau berechnet werden. Der Scanner ist als Anbau auf einem Schmalspurtraktor befestigt und wird mit einer Geschwindigkeit von 1,4 km/h durch die Anlage gefahren.

7. Der Projektpartner Cubert GmbH baut hyperspektrale Kameras. Ziel soll es sein, eine praxistaugliche Cubert-Kamera zu entwickeln, womit Aussagen zum Fruchtbehang und zur Fruchtgröße möglich werden.

8. Der Projektpartner Salem-Frucht Großmarkt GmbH nutzt in seiner Obstsortieranlage ebenfalls Spektrometertechnik. Die Sortierergebnisse bilden ein weiteres Standbein der Datenbank zur Bewertung der Lagerqualität. Bildverarbeitende und NIR-Technologie liefern dabei Daten zu allen Einzelfrüchten hinsichtlich Größe, Färbung oder äußeren und inneren Qualitätsmängeln.

Alle Sensor- und weitere Felddaten des Projekts werden in einer Datenbank der Partnerfirma Inovel gemagnt. Die Technische Universität Chemnitz, Professur System- und Regelungstechnik, ist im Projekt für die Datenanalyse zuständig, wobei die Verarbeitung der Daten durch klassische statistische Verfahren und Methoden des maschinellen Lernens erfolgt.

Erste vielversprechende Ergebnisse

Die Daten aus dem Versuchsjahr 2016/2017 liefern erste vielversprechende Ergebnisse. 85% der Fruchtgruppen für das Jahr 2016 / 2017 wurden richtig prognostiziert. Die Daten von 2017 waren wegen des Blütenfrosts leider stark beeinflusst.

Die Messergebnisse bestätigen bekanntes Wissen: Ein sehr hoher Fruchtbehang von ca. 200 Früchten pro Baum mit 3,90 m Höhe (ca. 100 t/ha) reduziert den Befall von Kernhaus-

bräune stark. Bereits 85% der Fruchtgruppen konnten mit dem Modell richtig klassifiziert, d. h. Lagererkrankungen vorhergesagt, werden. Für ein ‚Big Data‘-Projekt ist jedoch ein Jahr nicht ausreichend. Das entwickelte Modell muss in weiteren Projektjahren validiert werden.

In Zukunft wird angestrebt, die entwickelten Analyse-, Regelungs- und Optimierungsverfahren in Form einer lizenzbasierten Software den verschiedenen Obstbauern und örtlichen Vermarktungsorganisationen anzubieten. Zur Nutzung der Software soll es möglich sein, mit wenigen Startmessungen und möglichst einem bzw. kostengünstigen Geräten das Programm zu bedienen. Die Software soll web- oder cloud-basiert arbeiten, was einen einfachen Zugang der Nutzer ermöglicht und keine eigene lokale Infrastruktur benötigt.

Die **wesentlichen Ziele des Projekts** sind ‚BigData‘-gestützte Modellierungsansätze für ein verbessertes Verständnis zwischen Vor- und Nachernte-Einflussfaktoren, um

- ✗ eine optimierte Erntetermin-Vorhersage, basierend auf witterungs- und fruchtspezifischen Sensordaten, zu ermitteln und

- ✗ eine Minderung von Mengen- und Qualitätsverlusten für die Obstproduzenten und Lagerhalter zu erzielen.

Mithilfe des Projekts wurden bereits drei wichtige praxistaugliche Anwendungen realisiert. Auch nach Projektende können mit der Schieblehre-App viele Messwerte in kurzer Zeit generiert und die Temperatur in verschiedenen Baumpositionen gemessen werden, die direkt in die Datenbank eingespeist werden. Am Obstgroßmarkt wurde letztes Jahr eingeführt, dass bei der Warenlieferung von den Obstproduzenten Angaben zur Behangstärke der abgeernteten Bäume zu machen sind, damit die Äpfel entsprechend gelagert werden können. ■

Die Autorin: Konni Biegert, KOB, Arbeitsgruppe Ertragsphysiologie & Nacherntephysiologie), Schuhmacherhof 6, D-88213 Ravensburg-Bavendorf, Tel. +49 (0)751 7903-343, Mail: Konni.biegert@kob-bavendorf.de

² Projekt Melon, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages