

Prüfung von kommerziell erhältlichen Systemen für die Ertrags- und Qualitätsprognose im Apfelanbau

Validation of commercially available systems for yield and quality forecasting in apple cultivation

Valutazione dei sistemi disponibili in commercio per la previsione della produttività e della qualità nella coltivazione delle mele

Elias M. Holzknacht¹, Christian Andergassen¹, Daniel Pichler¹, Walter Guerra¹

¹ Versuchszentrum Laimburg, Pfatten, Italien

ABSTRACT

Manual yield estimation usually requires a lot of work and is expensive. With the help of modern image recognition systems, it is already possible to create yield forecasts to determine area-related yield capacity and fruit size distribution. This makes it possible to apply cultivation measures in a more targeted way and to optimize storage and logistics. Therefore, in this paper, five different commercially available systems were tested for their precision and practicality with different varieties and at different locations. For this purpose, the data obtained were compared with manually determined data and the deviation was calculated. It was found that there were large differences between the various systems, although some systems already showed sufficient accuracy. Most of the systems, however, had too much deviation and the time required to collect the data was often higher than that required for manual measurement.

KEYWORDS

fruit production, yield prognosis, yield estimation, yield forecasting, fruit sizing, fruit storage, sizing, size class distribution, image recognition, artificial intelligence

CITE ARTICLE AS

Holzknacht Elias M., Andergassen Christian, Pichler Daniel et.al. (2022). Validation of commercially available systems for yield and quality forecasting in apple cultivation. Laimburg Journal 04/2022

DOI: [10.23796/LJ/2022.006](https://doi.org/10.23796/LJ/2022.006)

CORRESPONDING AUTHOR

Elias M. Holzknacht
Laimburg 6, Pfatten,
I-39040 Auer (BZ), Italien
elias.holzknacht@laimburg.it
+390471969542



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung-Nicht kommerziell 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Quest'opera è distribuita con [Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale 4.0 Internazionale](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Für alle Abbildungen und Tabellen ohne Nennung des Urhebers gilt: © Versuchszentrum Laimburg.

Per tutte le immagini e tabelle senza menzione dell'artefice vale: © Centro di Sperimentazione Laimburg.

For all figures and tables without mention of the originator applies: © Laimburg Research Centre.

EINLEITUNG

Die Apfelproduktion ist längst im Zeitalter der Digitalisierung angekommen, in welchem die Vorhersage von wirtschaftlichen Merkmalen, wie dem Gewinn, eine wichtige Rolle spielt. Mithilfe von modernen Bilderkennungssystemen, welche die künstliche Intelligenz (KI) in Kombination mit Machine Learning (ML) und Deep Learning (DL) nutzen, können Entscheidungen untermauert und Probleme in kurzer Zeit gelöst werden, welche für den Menschen unmöglich oder sehr mühsam lösbar wären [1][2]. In der Obstproduktion ist vor allem die Ertragsprognose von großer Bedeutung, um flächenbezogene Ertragsleistung und die Fruchtgrößenverteilung zu ermitteln. Die Durchführung von manuellen Ertrags-schätzungen ist meist arbeitsintensiv, zeitaufwändig, mit hohen Kosten verbunden und liefert häufig ungenaue Ergebnisse [2][3]. Mit den gesammelten Daten können zielgerichtete Kulturmaßnahmen wie z.B. die Handausdünnung oder die Düngung gezielter eingesetzt werden. Durch zuverlässige Vorhersagen ist es möglich, Logistik, Lagerung, Verpackung und Bestandsverwaltung besser zu planen und zu optimieren, um Ressourcen einsparen zu können. Gerade in diesem Bereich kann die Klimabilanz noch weiter verbessert werden, wie es im Strategiepapier für die Südtiroler Landwirtschaft bis 2030 auch vorgesehen ist [4]. Herausforderungen für solche Systeme können dabei die Probenahme, Sammlung, Beschriftung, Fruchtenerkennung und Zählung sein. Auch in schwierigen Situationen, wie bei Verdeckung und Überlappung der Früchte sowie bei schlechten Lichtverhältnissen können die Ergebnisse dieser Systeme variieren [2]. Deshalb ist es notwendig, solche Systeme auf ihre Funktionalität und Genauigkeit zu überprüfen, wie es das Versuchszentrum Laimburg bereits seit 2018 macht.

AKTUELL VERFÜGBARE SYSTEME

Machine Learning (ML) und Deep Learning (DL) sind die wichtigsten Techniken, welche in Systemen mit künstlicher Intelligenz eingesetzt werden und auch in Vergangenheit bei Feldversuchen vielversprechende Ergebnisse lieferten [3][5]. Sie arbeiten mit verschiedenen Algorithmen und entwickeln so ein Modell für verschiedene Input-Merkmale, welche von Output-Merkmalen stammen. Dieses Modell wird dann zum Analysieren von Echtzeitdaten verwendet, welche nicht trainiert wurden [6].

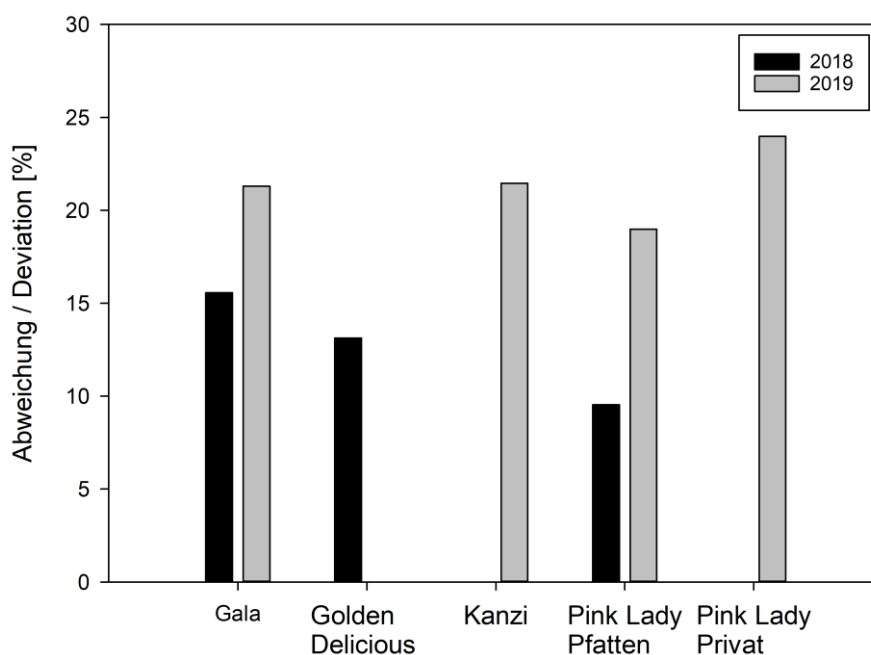


Abb. 1: Abweichungen bei den verschiedenen Sorten/Standorten der mittels IFV ermittelten Anzahl an Früchten in % im Vergleich zur manuell ermittelten Anzahl im Jahre 2018 und 2019. // Differences in the various varieties/locations of the number of fruits determined by IFV in % compared to the number determined manually in 2018 and 2019.

Drei kommerziell verfügbare Produkte, welche zur Ertragsermittlung eingesetzt werden können, wurden getestet: *Intelligent Fruit Vision*, *Perfrutto* und *Pixofarm*. Weiters

wurde die Applikation *Clarifruit* zur Bestimmung der Größenklassenverteilung und der Qualität der Früchte nach der Ernte getestet.

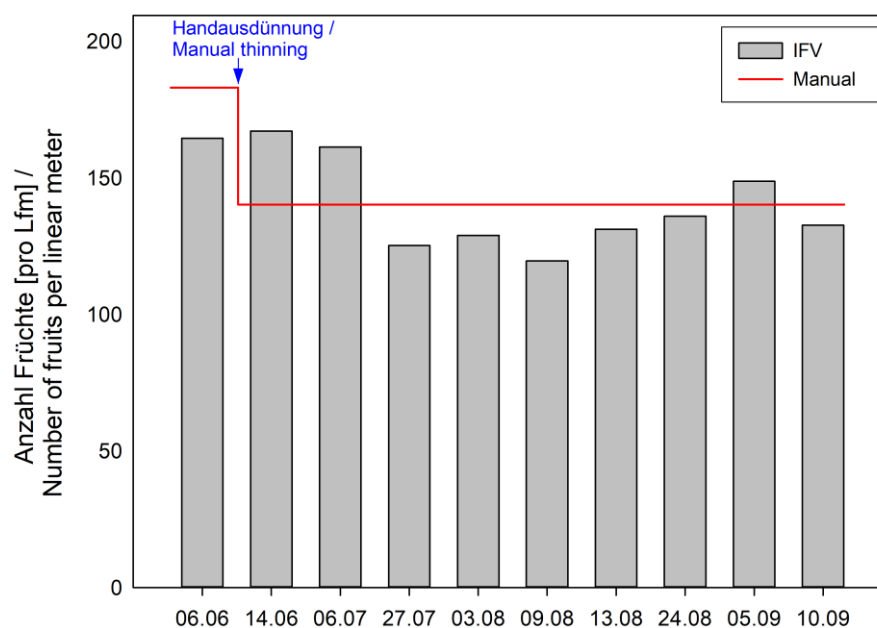


Abb. 2: Anzahl der Früchte pro Laufmeter bei der Sorte *Golden Delicious* (2018), ermittelt durch das System *Intelligent Fruit Vision*. Die rote Linie stellt die händisch ermittelte Anzahl an Früchten dar. // Number of fruits per linear metre for the variety *Golden Delicious* (2018), determined by the system *Intelligent Fruit Vision*. The red line represents the number of fruits determined by hand.

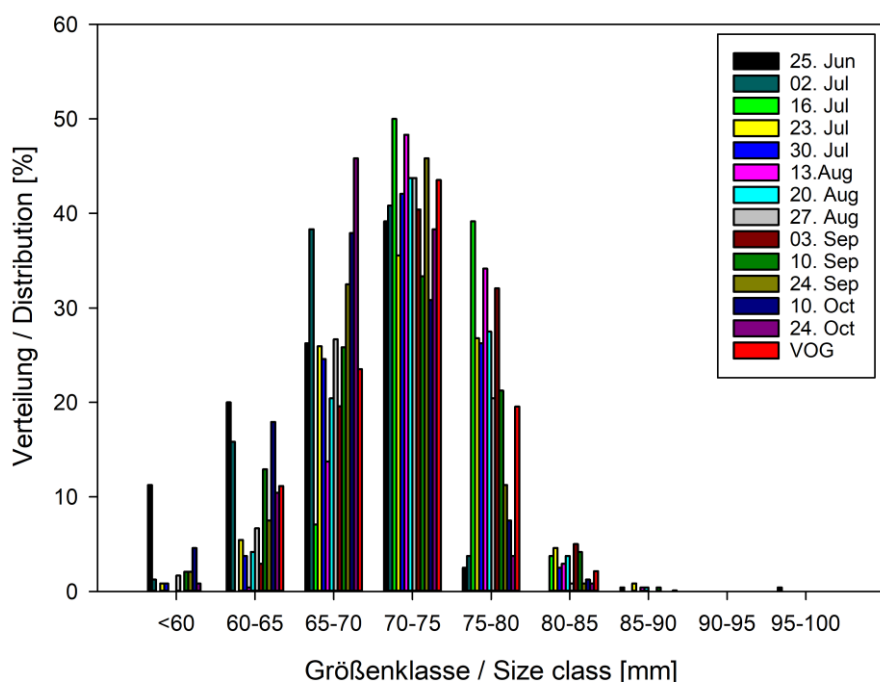


Abb. 3: Prognostizierte Größenklassenverteilung bei der Ernte in Prozent zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten bei der Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® am Standort Pfatten. Die Applikation *Perfrutto* wurde im Zeitraum vom 25.06. bis zum 24.10. getestet (farbige Balken). Die roten Balken zeigen die Ergebnisse der Sortiermaschine des Verbandes der Südtiroler Obstgenossenschaften auf. // *Predicted size class distribution at harvest in percent at the different survey times for the variety Cripps Pink Pink Lady*® at the location Pfatten. The *Perfrutto* application was tested in the period from 25.06 to 24.10 (coloured bars). The red bars show the results of the sorting machine of the Association of South Tyrolean Fruit Cooperatives.

INTELLIGENT FRUIT VISION

Intelligent Fruit Vision wurde vom britischen Unternehmen *Intelligent Fruit Vision Ltd* entwickelt. Mit diesem computergestützten Bildverarbeitungssystem für Obstanlagen werden Äpfel in Echtzeit erfasst und mit einem GPS-Standort verknüpft. Mehrere Videokameras werden dafür auf einem Quad oder Traktor montiert und mit einer Geschwindigkeit von bis zu 8 km/h zwischen den Baumreihen gefahren. Dabei werden Menge, Größe, Dichte und Verteilung der Äpfel in der Anlage erfasst. Weiters erstellt das Programm eine Wachstumskurve und eine Größenprognose. Die erhobenen Daten werden mit einem Onboard-System verarbeitet und grafisch dargestellt [7].

GREEN ATLAS

GreenAtlas ist ein ATV (all terrain vehicle) kamerabasiertes Ertragskartierungssystem, welches vom amerikanischen Unternehmen *Innov8 Ag Solutions Inc.* entwickelt wurde. Mithilfe dieses Systems können Karten mit der Frucht- und Blütenanzahl, Fruchtgröße und Fruchtfarbe erstellt werden, wodurch ermöglicht wird, den Zeitpunkt und die

Intensität von Kulturmaßnahmen zu optimieren, um so ein besseres Fruchtwachstum zu erzielen. Dabei sind verschiedene Ansichten verfügbar: Gesamtanlage, einzelne Blöcke, die Fruchtwände, die Geometrie der Bäume und einzelne Bäume. Weiters bietet die Firma auch ein Soil Mapping System an, um die Bodentypen und Nährstoffverfügbarkeit einzelner Elemente zu erfassen, um die Düngung und so das Fruchtwachstum zu optimieren [8].

PERFRUTTO

Perfrutto ist eine Dienstleistung des italienischen Unternehmens *HK Horticultural Knowledge srl* zur Ertragsvorhersage. Dabei wird mit einer digitalen Schublehre der Durchmesser von 240 Früchten pro Hektar gemessen und die Daten an die *HK Horticultural Knowledge srl* weitergeleitet, wo diese dann ausgewertet werden. Je häufiger diese Messungen durchgeführt werden, desto genauer ist die Vorhersage. Dabei wird die durchschnittliche Größenverteilung und der Gesamtertrag beim Erntezeitpunkt vorhergesagt, sowie der Zuwachs pro Tag ermittelt. Weiters teilte die Firma auch Verbesserungsvorschläge zur Steigerung des Frucht-

wachstums mit. Die gesamte Dienstleistung kostete 277,3 € pro Jahr und Hektar (2018) [9].

PIXOFARM

Pixofarm ist eine Applikation für *Android* und *Apple IOS*, welche vom österreichischen Unternehmen *Pixofarm GmbH* entwickelt wurde. Die Applikation verfügt über drei Funktionen: Fruchtgröße (Fruit Sizing), Fruchtzählung (Fruit Counting) und Vorhersage (Forecast). Mithilfe der Bilderkennung und eines Algorithmus können der Durchmesser und die Anzahl von Früchten pro Baum ermittelt werden. Weiters kann mit der Funktion „Forecast“ der voraussichtliche Ertrag, die Wachstumsrate und die Größenklassenverteilung der Früchte bei der Ernte vorhergesagt werden. Die Kosten für die Lizenz pro Hektar und Jahr betragen 59 € (2021) [10].

CROPTRACKER

Croptracker „Harvest Quality Vision“ ist ein Programm, welches vom amerikanischen Unternehmen *Dragonfly IT* für Smartphones und Tablets entwickelt wurde. Die Applikation ist für *Android* und *Apple IOS* verfügbar. Weiters gibt es laut Hersteller bereits ein fix installiertes System, bei welchem ganze Ladungen von geernteten Früchten erfasst werden können. Mithilfe von *Croptracker* können einzelne Äpfel und andere Früchte in der Großkiste erkannt und die Fruchtgrößenverteilung mit einer Genauigkeit von 3 mm ermittelt werden. Pro Scan fallen Kosten von 3,25 \$ (~2,9 €) an, wobei mindestens 100 Scans (~286,65 €) durchgeführt werden müssen. 1000 Scans werden für 3000 \$ angeboten [11].

CLARIFRUIT

Die Applikation wurde vom gleichnamigen israelischen Unternehmen *Clarifruit* für Smartphones mit *Android* und *Apple IOS* entwickelt. Mithilfe der Bilderkennung, Vision- und Machine-Learning-Technologie werden Größe, Farbe der Früchte sowie die Stielfarbe in der Großkiste erkannt. Dabei wird ein Tischtennisball als Referenzpunkt für die Größe in die Kiste gelegt. Die ermittelten Daten werden grafisch auf dem Smartphone sowie auf dem webbasierten Dashboard dargestellt [12].

METHODEN

Alle kommerziell erhältlichen Systeme wurden in den Obstanlagen des Agrarbetriebs

Laimburg und einige auf einem Privatbetrieb (Leifers) bei verschiedenen Sorten getestet.

Intelligent Fruit Vision wurde in Vegetationsperioden 2018 und 2019 bei den Sorten *Gala*, *Golden Delicious*, *Nicoter Kanzi*® und *Cripps Pink Pink Lady*® auf den Versuchsflächen des Agrarbetriebs Laimburg in Pfatten und bei einem Privatbetrieb in Leifers getestet. Dabei wurde das System auf einem Traktor montiert und mit einer Geschwindigkeit von 8 km/h jeweils zehn Reihen abgefahren. Die Aufnahmen wurden je nach Stand der Sonne von der Ost- oder Westseite gemacht und die Anzahl an Äpfeln pro Laufmeter (Lfm) ermittelt. Dabei wurde immer darauf geachtet, dass die Fruchtwand von der Sonne angeschieden wurde. Je nach Erntezeitpunkt der Sorten wurden 6-10 Wiederholungen durchgeführt. Zudem wurde eine Kontrollvariante angelegt, bei der die Früchte von jeweils zehn Bäumen vor und nach der Handausdünnung manuell gezählt wurden.

Perfrutto wurde im Jahr 2018 in Fragsburg, Schluderns und in Pfatten getestet. In Fragsburg wurde das System bei den Sorten *Scilate Envy*®, *Gala* und *Golden Delicious*, in Schluderns bei den Sorten *Gala*, *Golden Delicious* und *Pinova* und in Pfatten bei *Gala*, *Golden Delicious* und *Pinova* geprüft. Dabei wurden sechs Durchgänge durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden von HkConsulting verarbeitet und Prognosen für die Größenklassenverteilung erstellt. Die erhaltenen Ergebnisse wurden mit den Daten der Sortierung in der Genossenschaft VOG (Verband der Südtiroler Obstgenossenschaften) bei der Ernte verglichen und grafisch dargestellt.

Bei der Applikation *Pixofarm* wurde 2021 nur die Funktion „Fruit Sizing“ getestet. Dafür wurden auf 35 Früchten runde, blaue Aufkleber mit einem Durchmesser von 15 mm angebracht, welche als Referenzpunkt für die Applikation dienten. Bei den Sorten *Golden Delicious* und *Cripps Pink Pink Lady*® wurde wöchentlich der Durchmesser mit einer digitalen Schublehre ermittelt und mit den erhaltenen Daten der Applikation verglichen. Bei *Golden Delicious* wurde aufgrund der fortgeschrittenen Saison die Applikation nur an einem Termin getestet, bei *Cripps Pink Pink Lady*® wurden hingegen sieben Termine im Laufe der Vegetationsperiode berücksichtigt. Daraus wurde dann die durchschnittliche absolute Abweichung berechnet, sowie die relative manuelle Korrekturrate ermittelt. Wenn die Applikation den

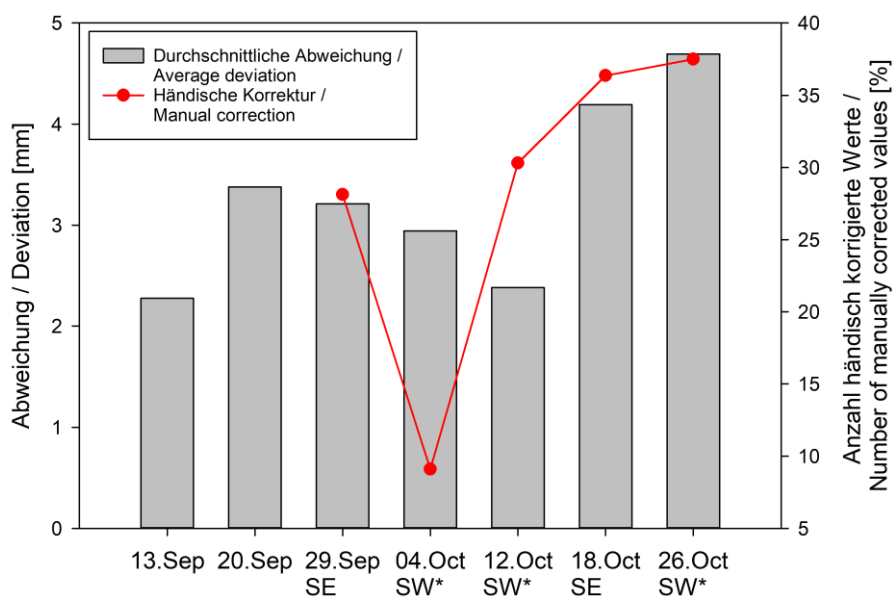


Abb. 4: Durchschnittliche Abweichung in Millimetern der Daten der Applikation Pixofarm von den händisch ermittelten Daten. Einige Durchmesser mussten bei der Erfassung durch die Applikation händisch korrigiert werden, da der Fruchtumriss nicht erkannt wurde. Die Richtung der Sonneneinstrahlung war ausschlaggebend, ob die Früchte angeschieden (SW*) wurden oder nicht (SE). // Average deviation in millimetres of the data of the Pixofarm application from the manually determined data. Some diameters had to be corrected manually in the application because the shape of the fruit was not recognised. The direction of the sunlight was important in determining if the fruits were in the light (SW*) or not (SE).

Umriss des zu messenden Apfels nicht richtig erkannte, wurde dieser manuell korrigiert und somit ab dem 29.09.2021 die

Korrekturrate ermittelt. Die Messungen der Früchte wurden auf der Westseite der Baumreihen durchgeführt.

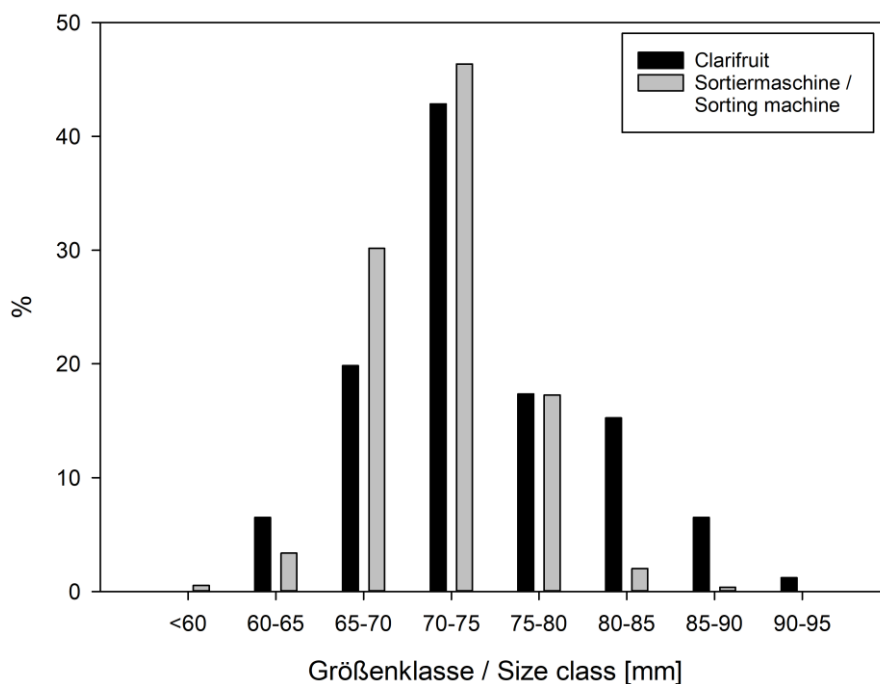


Abb. 5: Anteil der Früchte in Prozent ermittelt durch die Applikation Clarifruit im Vergleich zu den Sortierdaten. Die erhobenen Werte wurden in verschiedene Größenklassen eingeteilt. // Fruit size distribution in percent determined by the application Clarifruit in comparison to the sorting data. The collected data were divided into different size classes.

Die Applikation *Clarifruit* wurde bei der Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® in zwei Durchgängen getestet und die erhaltenen Daten mit den Sortierdaten verglichen. Dabei wurden die erhaltenen Daten in Größenklassen mit jeweils 5 mm Unterschied eingeteilt und in einer Grafik dargestellt. Zudem wurde die Differenz und die durchschnittliche Abweichung berechnet. Weiters wurde eine Großkiste zweimal gescannt, um Abweichungen zwischen den beiden Scans feststellen zu können.

ERGEBNISSE

INTELLIGENT FRUIT VISION

Insgesamt konnten in beiden Versuchsjahren bei allen Sorten Abweichungen von bis zu 29,4% (2019 bei *Gala*) bei der maschinell ermittelten Anzahl an Früchten pro Lfm im Gegensatz zur manuell ermittelten Anzahl festgestellt werden. Die geringste Abweichung mit 1,9% wurde bei der Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® am Standort Pfatten festgestellt. Bei der Sorte *Gala* wurde über beide Jahre eine Abweichung von 3,1-29,4% bei der Anzahl von Früchten pro Lfm ermittelt, im Durchschnitt 13,4% (2018) bzw. 21,3% (2019). Insgesamt wurden bei 83,3% (2018) bzw. 2019 bei allen Terminen zu wenig Früchte gezählt. *Cripps Pink Pink Lady*® wies am Standort Pfatten über beide Jahre Abweichungen von 1,9-24,3% bei der Anzahl an Früchten pro Lfm auf, wobei die Abweichung im Durchschnitt bei 8,5% (2018) bzw. bei 19% (2019) lag. Bei der Hälfte aller Untersuchungstermine wurden zu wenig Früchte gezählt (2018), im Jahre 2019 bei allen Terminen. Am Privatbetrieb in Leifers wurden Abweichungen von 19,6-31,2% erreicht. Im Durchschnitt lag die Abweichung bei 25,3%, wobei bei allen Terminen zu wenig Früchte gezählt wurden. Bei *Golden Delicious* konnte eine Abweichung von 3,1-19,1% (2018), im Durchschnitt 9,9%, nachgewiesen werden (Abb. 1). Bei 70% der Erhebungstermine wurden zu wenig Früchte gezählt. *Nicoter Kanzi*® zeigte Abweichungen von 19,3-26,4% (2019) bei der maschinell ermittelten Anzahl an Früchten pro Lfm. Die durchschnittliche Abweichung über alle Termine lag bei 21,5%, wobei bei allen Terminen zu wenig Früchte gezählt wurden.

Auch zwischen den Sorten wurden an allen Erhebungsterminen Unterschiede bei der Abweichung festgestellt (Abb. 2). 2018 war die größte Abweichung bei der Sorte *Gala* (15,6%) vorhanden, gefolgt von *Golden Delicious* (13,1%). Die geringste Abweichung

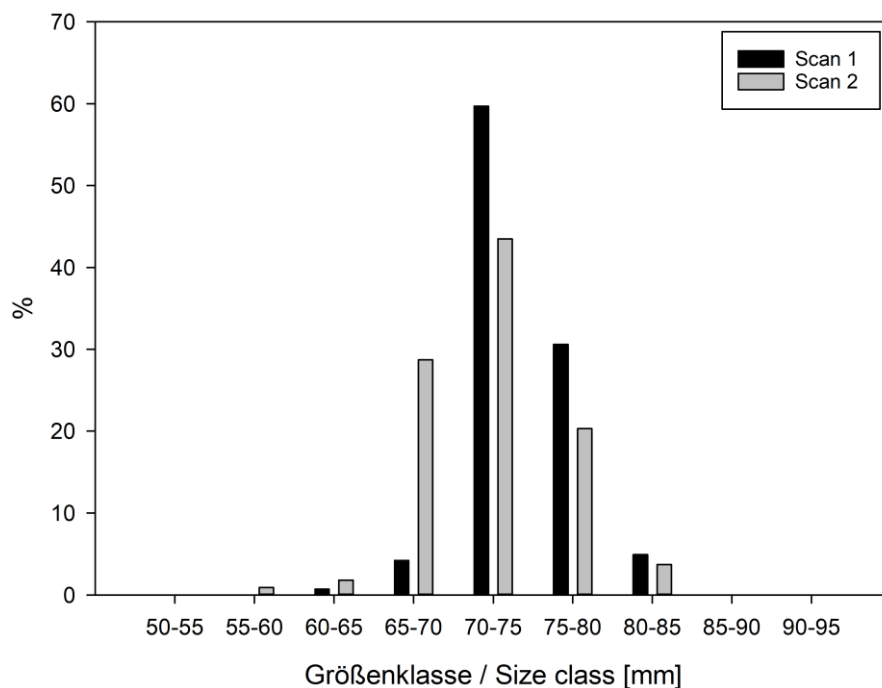


Abb. 6: Größenklassenverteilung der mittels *Clarifruit* ermittelten Durchmesserdaten. Dabei wurden dieselben Früchte in einer Großkiste zweimal gescannt, um Abweichungen zwischen den Scans feststellen zu können. // Fruit size classes determined using *Clarifruit*. The same fruits in a large box were scanned twice in order to determine deviations between the scans.

wies die Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® mit 9,5% auf. 2019 war die größte Abweichung bei der Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® am Privatbetrieb in Leifers (24,0%) vorhanden, gefolgt von der Sorte *Nicoter Kanzi*® (21,5%). *Gala* lag dabei mit 21,3% nur knapp darunter, wobei die Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® am Standort Pfatten die geringste Abweichung mit 19,0% aufwies.

PERFRUTTO

Am Standort Fragsburg wichen bei der Sorte *Gala* die Ergebnisse im Durchschnitt um 1,8-11,2% von den Sortierergebnissen der VOG ab. Bei *Golden Delicious* bzw. *Cripps Pink Pink Lady*® wurden dort Abweichungen von 6,3-17,5% bzw. 2,7-5,9% festgestellt. Bei der Größenverteilung nach Kaliber waren bei *Gala* durchschnittliche Abweichungen von 0,38% (90-95 mm) bis 9,7% (75-80 mm) feststellbar. Die Ergebnisse zeigten bei den Sorten *Golden Delicious* und *Scilate Envy*® Abweichungen von 4,1% (90-95mm) bis 16,2% (75-80 mm) bzw. 1% (65-70 mm) bis 5,2% (60-65 mm) auf.

Bei der Sorte *Gala* am Standort Schluderns konnten durchschnittliche Abweichungen von 1,7-12,8% festgestellt werden. Bei *Golden Delicious* bzw. bei *Pinova* wurden Abweichungen von 2,7-15,5% bzw. von 3,1-9,1% festgestellt. Die geringsten durch-

schnittlichen Abweichungen waren bei den Früchten mit einem Durchmesser von 90-100 mm (1%) bei *Golden Delicious* und bei 65-70 mm (0,45%) bei *Pinova* vorhanden, die größten bei 75-80 mm bei *Golden Delicious* (11,1%) und bei 70-75 mm bei *Pinova* (9,4%).

Am Standort Pfatten (Abb. 3) wichen die durchschnittlichen Ergebnisse bei der Sorte *Gala* um 4,5-13,2% von den Sortierdaten ab. Bei *Golden Delicious* bzw. bei *Cripps Pink Pink Lady*® konnten Abweichungen von 2,1-16,0% bzw. 1,9-11,0% festgestellt werden. Bei der Größenklassenverteilung nach Kaliber waren bei *Gala* durchschnittliche Abweichungen von 0,31% (95-100 mm) bis 16,5% (60-65 mm) vorhanden. Die geringste durchschnittliche Abweichung bei *Golden Delicious* war bei einer Größe von 95-100 mm (0,4%), die größte bei 65-70 mm (11,2%) vorhanden. Die geringste durchschnittliche Abweichung bei *Cripps Pink Pink Lady*® konnte bei einem Durchmesser von 85-90 mm (0,4%) festgestellt werden, die größte bei 75-80 mm mit 10,8%.

PIXOFARM

Wie aus der Abbildung 4 ersichtlich, wichen im Durchschnitt alle mit der Applikation *Pixofarm* ermittelten Werte bei der Sorte *Cripps Pink Pink Lady*® von den händisch

ermittelten Werten ab, wobei bei einigen Werten nur geringe Differenzen vorhanden waren. Bei nur 0,8% der Werte berechnete die Applikation eine zu geringe Fruchtgröße, während bei 99,2% die Fruchtgröße zu groß berechnet wurde. Dabei lag die maximale Differenz über alle Erhebungstermine bei 8,52 mm, hingegen die geringste bei -0,79 mm. Die geringste durchschnittliche Abweichung lag bei 2,3 mm (13.09.2021) hingegen die größte bei 4,7 mm (26.10.2021). Über alle Erhebungstermine lag die durchschnittliche Differenz bei 3,3 mm. Die minimale Anzahl an korrigierten Werten lag bei 9,1% (04.10.2021), die maximale Anzahl bei 37,5% (26.10.2021).

Bei *Golden Delicious* lagen alle Werte der Applikation über den händisch ermittelten Werten. Die minimale Differenz betrug 0,8 mm, die maximale 5,1 mm. Im Durchschnitt konnte eine Abweichung von 3 mm festgestellt werden. 28,1% aller Messungen mittels Applikation mussten händisch korrigiert werden (Abb. 4).

CLARIFRUIT

Im Durchschnitt über alle Größenkategorien wurden Abweichungen von 4,8% im Vergleich zu den Sortierdaten festgestellt, wobei maximale Abweichungen von 13,2% und minimale Abweichungen von 0,1% vorlagen (Abb. 5). Die größte Abweichung (13,2%) lag bei der Größenklasse 80-85 mm vor, die kleinste (0,1%) bei 75-80 mm. Bei den einzelnen Durchmesserwerten wurde eine durchschnittliche Abweichung von nur 1,4%, eine maximale von 3,6% (76 mm) und eine minimale von 0,03% (77 mm) festgestellt.

Beim Vergleich mehrfacher Scans derselben Großkiste wurden durchschnittliche Abweichungen bei den Größenklassen von 9,0% festgestellt (Abb. 6). Dabei wurden maximale Abweichungen von 24,5% bei der Klasse 65-70 mm und minimale von 0,9% bei 55-60 mm festgestellt. Der Vergleich der einzelnen Durchmesserwerte wies durchschnittliche Abweichungen von 1,7% auf. Maximale Differenzen von 10,6% waren bei der Größe von 69 mm und minimale von 0,4% bei einer Größe von 74 mm vorhanden.

DISKUSSION

Wie eingangs beschrieben, unterschieden sich die getesteten Systeme je nach Anwendungsbereich stark voneinander. Dabei wurden ältere Systeme vor allem auf Fahrzeugen montiert, wobei bei neueren Systemen die Messungen mittels Applikationen auf

Smartphones durchgeführt werden können. Auch *Intelligent Fruit Vision* basiert auf einem Kamerasystem, welches auf einem Fahrzeug montiert wurde. Bei diesem System konnten große Abweichungen festgestellt werden, welche auf die verschiedene Baumarchitektur zurückzuführen sein könnten. Vor allem bei starkwüchsigen Sorten oder Anlagen werden Früchte durch Triebe und Blätter verdeckt, wodurch das Kamerasystem diese nicht erkennt. Allerdings geht aus den Ergebnissen bei *Cripps Pink Pink Lady*® am Privatbetrieb und am Standort Pfatten hervor, dass nur sehr geringe Unterschiede bei der Abweichung der Anzahl der Früchte zwischen beiden Standorten vorhanden waren, obwohl am Privatbetrieb die Bäume ein schwaches und am Standort Pfatten ein starkes Wachstum aufwiesen. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass das Wachstum nur einen geringen Einfluss auf die Erkennung der Früchte hat. Zudem war aus den Ergebnissen ersichtlich, dass 2018 einige mittels Kamerasystem ermittelte Werte über den händisch ermittelten Ergebnissen lagen, hingegen 2019 alle darunter. Dies könnte auf ein durchgeführtes Update des Algorithmus durch die Firma zurückzuführen sein. Weiters konnte beobachtet werden, dass zum Erntetermin hin eine genauere Übereinstimmung mit den händisch ermittelten Werten vorhanden war (Abb. 2). Auch zwischen den Sorten konnten verschiedene Abweichungen festgestellt werden. Dies könnte auf den unterschiedlichen und sortentypischen vegetativen Habitus zurückzuführen sein. Ein weiterer Nachteil war, dass das auf dem Traktor montierte Kamerasystem nicht schwenkbar war. Um immer nur jene Früchte zu erfassen, welche von der Sonne belichtet wurden, waren viele Leerfahrten nötig. Weiters musste die Anzahl von Früchten von mindestens fünf Bäumen händisch gezählt werden, was ein zusätzlicher Arbeitsaufwand war. Eine Kombination mit anderen Arbeitsschritten (z.B. Mulchen) war zum getesteten Zeitpunkt nicht möglich. Vor allem bei größeren Flächen ist das Erfassen der Daten mit einer Geschwindigkeit von 8 km/h sehr zeitintensiv. Auch eine gute Befahrbarkeit war eine Voraussetzung für dieses System, wobei berücksichtigt werden muss, dass es sich um einen Prototyp handelte.

Beim getesteten System *Perfrutto* erfolgte die Messung händisch mit einer Schublehre. Dabei konnten im Vergleich zum System *Intelligent Fruit Vision* geringere Schwankungen bei der Abweichung an allen Standorten

festgestellt werden. So lag die Abweichung bei den Sorten *Golden Delicious* und *Cripps Pink Pink Lady*® unter 10%, was laut Aussage des *Verbandes der Obstgenossenschaften* in Südtirol noch toleriert werden kann. Hingegen bei *Gala* konnten Abweichungen über 10% beobachtet werden. Zudem war zu erkennen, dass ab August die durchschnittliche Abweichung bei der Gesamtverteilung unter 10% lag, unabhängig von Sorte und Standort. Bei einigen Größenklassen lag diese auch darüber. Auffallend war auch, dass sich die empfehlenden Maßnahmen zur Verbesserung des Fruchtwachstums nur auf die Bewässerung beschränkten.

Die Applikation *Pixofarm* wurde auf einem Smartphone installiert, mit welchem der Fruchtdurchmesser und der Zuwachs erfasst werden konnte. Die Aufkleber, welche auf den Äpfeln angebracht wurden, dienten als Referenzpunkt für die Applikation. Allerdings konnten große Abweichungen zwischen den erfassten Durchmessern der Applikation und denen der Schublehre festgestellt werden. Weiters waren auch häufig händische Korrekturen des Durchmessers (Abb. 7) notwendig, was sehr viel Zeit beanspruchte. Dafür könnten vor allem die ungleichmäßigen Lichtverhältnisse bei der Messung verantwortlich sein. Aus den Daten geht auch hervor, dass der Stand der Sonne nur einen geringen Einfluss auf das Endergebnis der Messung hatte. So konnte kein



Rohgröße (Orientierungswert): 66 mm. (± 1.72)

Erneut versuchen

Bestätigen

Abb. 7: Screenshot einer Messung bei *Cripps Pink Pink Lady*®, welche händisch korrigiert werden musste. Der zu groß errechnete Durchmesser (a) musste händisch korrigiert werden (b). // Screenshot of a measurement of the variety *Cripps Pink Pink Lady*®, which had to be corrected manually. The calculated diameter (a) was too large and had to be corrected manually (b).

Unterschied zwischen den Messungen der Durchmesser der Früchte im Schatten und der Messungen der belichteten Früchte festgestellt werden. Einige Früchte wurden durch Blätter verdeckt, wodurch es nötig war, diese bei der Aufnahme freizulegen. Weiters darf auch der Zeitaufwand, welcher für das Anbringen der Aufkleber auf den Früchten notwendig ist, nicht unterschätzt werden. Werden die Aufkleber über einen längeren Zeitraum auf den Früchten belassen kann es bei nassen Früchten zu Beschädigungen der Aufkleber und so zu einer ungenaueren Messung kommen.

Bei der Applikation *Clarifruit* waren insgesamt nur geringe Abweichungen vorhanden. Größere Abweichungen wurden beim mehrfachen Scan derselben Großkiste festgestellt. Hingegen wies der Vergleich der Ergebnisse der Applikation mit den Ergebnissen der Sortierung nur sehr geringe Differenzen auf. Die Abweichungen lagen dabei immer unter 10%, was laut Aussage der VOG noch tolerierbar ist. Auffallend war auch, dass vor allem bei größeren Kalibern häufiger Abweichungen auftraten, als bei kleineren. Allerdings waren diese Abweichungen auch noch akzeptabel.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Insgesamt wurde festgestellt, dass einige Applikationen bereits genaue Prognosen liefern. Der Großteil der getesteten Systeme wies jedoch bei den erhaltenen Daten noch zu große Abweichungen auf. Weiters war der Zeitaufwand für die Messungen bei vielen Systemen sehr hoch. Bei der Messung mit der Schublehre war dieser deutlich geringer und die Ergebnisse genauer als bei den anderen getesteten Systemen. Deshalb ist es in Zukunft nötig, solche Technologien noch weiterzuentwickeln und vor allem die Objekt- und Bilderkennung zu verbessern, um diese in der Praxis erfolgreich einsetzen zu können.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Durchführung von manuellen Ertragsschätzungen ist meist mit einem hohen Arbeitsaufwand und hohen Kosten verbunden. Mithilfe von modernen Bilderkennungssystemen ist es bereits möglich Ertragsprognosen zu erstellen, um flächenbezogene Ertragsleistung und die Fruchtgrößenverteilung zu ermitteln. Dadurch können Kulturmaßnahmen zielgerichteter eingesetzt und die Lagerung sowie die Logistik optimiert werden. Deshalb wurden in dieser Arbeit fünf verschiedene kommerziell erhältliche Systeme auf ihre Genauigkeit und Praxistauglichkeit bei verschiedenen Sorten und an verschiedenen Standorten getestet. Dafür wurden die erhaltenen Daten mit manuell ermittelten Daten verglichen und die Abweichung berechnet. Dabei wurde festgestellt, dass große Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen vorlagen, wobei einige Systeme bereits eine ausreichende Genauigkeit aufwiesen. Beim Großteil der Systeme waren jedoch zu große Abweichungen vorhanden und der dafür aufgebrauchte Zeitaufwand für die Erfassung der Daten lag häufig über dem der manuellen Messung.

RIASSUNTO

La stima manuale del raccolto comporta normalmente un sacco di lavoro e costi elevati. Con l'aiuto dei moderni sistemi di riconoscimento delle immagini è già possibile creare delle previsioni di resa per determinare le prestazioni di resa legate alla zona e la distribuzione delle dimensioni dei frutti. Questo permette di adattare le misure di coltivazione in modo più mirato e di ottimizzare lo stoccaggio e la logistica. Perciò, in questo lavoro, cinque diversi sistemi disponibili in commercio sono stati testati per la loro precisione e praticità con diverse varietà e in diverse località. A questo scopo, i dati ottenuti sono stati confrontati con quelli determinati manualmente e la differenza è stata calcolata. È stato trovato che c'erano grandi differenze tra i vari sistemi, con alcuni sistemi che mostravano già una precisione sufficiente. Per la maggior parte dei sistemi, però, le differenze erano troppo grandi e il tempo necessario per raccogliere i dati era probabilmente maggiore di quello necessario per la misurazione manuale.

REFERENCES

- [1] Heinrich K., Breithaupt L., Möller B. et al. (2019). Yield Prognosis for the Agrarian Management of Vineyards using Deep Learning for Object Counting. Conference Paper of the 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik, Siegen, Germany, February 24-27, 2019. Universität Siegen, Siegen, Deutschland. Retrieved October 16, 2021, from <https://www.researchgate.net/publication/331522276>.
- [2] Maheswari P., Raja P., Apolo-Apolo O.E. et al. (2021). Intelligent Fruit Yield Estimation for Orchards Using Deep Learning Based Semantic Segmentation Techniques. A Review. *Frontiers in Plant Science* 12, DOI: [10.3389/fpls.2021.684328](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.684328).
- [3] Gongal A., Amatya S., Karkee M. et al. (2015). Sensors and systems for fruit detection and localization. A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 116, 8-19, DOI: [10.1016/j.compag.2015.05.021](https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.021).
- [4] Autonome Provinz Bozen (ed.) (2021). LandWIRTSCHAFT 2030 - Strategiepapier für die Südtiroler Landwirtschaft. Retrieved October 14, 2021, from https://www.provinz.bz.it/land-forst-wirtschaft/landwirtschaft/landwirtschaft-2030.asp?publ_action=300&publ_image_id=567756.
- [5] Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X. (2018). Deep learning in agriculture. A survey. *Computers and Electronics in Agriculture* 147, 70-90, DOI: [10.1016/j.compag.2018.02.016](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016).
- [6] Liakos K.G., Busato P. Moshou D. et al. (2018). Machine learning in agriculture. A review. *Sensors* 18 (8), 1-29, DOI: [10.3390/s18082674](https://doi.org/10.3390/s18082674).
- [7] Intelligent Fruit Vision Ltd. (ed.) (n.d.). Intelligent Fruit Vision - Solutions. Retrieved October 14, 2021, from <http://www.intelligentfruitvision.com/solutions/>.
- [8] Innov8 Ag Solutions Inc. (ed.) (n.d.). Yield & Soil Mapping. Retrieved December 22, 2021, from <https://www.innov8.ag/offerings>.
- [9] HK Horticultural Knowledge (ed.) (n.d.). Perfrutto. Horticultural Knowledge. Retrieved October 14, 2021, from <http://www.hkconsulting.it/perfrutto/>.
- [10] Pixofarm (ed.) (n.d.). Pixofarm. Verlässliche Ertragsschätzung für deine Anlage. Retrieved October 14, 2021, from <https://pixofarm.com/>.
- [11] Dragonfly IT (ed.) (n.d.). Croptracker. Retrieved November 11, 2021, from <https://www.croptracker.com/product/harvest-quality-vision.html>.
- [12] Clarifruit (ed.) (n.d.). One Automated Platform to Manage your Fresh Fruit and Vegetable QC. Retrieved November 11, 2021, from <https://www.clarifruit.com/solutions/product>.