



**WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF**  
University of Applied Sciences

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

**"Zerstörungsfreie Qualitätsbewertung von Obst und Gemüse entlang der Supply Chain mit Hilfe von Food-Scannern"**

gefördert durch den QS-Wissenschaftsfonds Obst, Gemüse und Kartoffeln



Prof. Dr. Heike Mempel

M.Sc. Simon Goisser

Freising, 21. Oktober 2020

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung .....	4
2 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	5
2.1 Stand der Wissenschaft .....	5
2.2 Untersuchte Produkte und Qualitätsparameter und verwendete Food-Scanner .....	6
2.3 Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen und Handelsunternehmen .....	7
2.4 Messtechnische Vorgehensweise .....	7
3 Ergebnisse .....	9
3.1 Vorhersage von Qualitätsparametern von Obst und Gemüse mittels Food-Scanner.....	9
3.2 Einsatzmöglichkeiten entlang der Supply Chain Obst und Gemüse .....	12
3.2.1 Fallbeispiel: Bestimmung des Trauben-Zuckergehalts vom Feld bis in den Einzelhandel....	12
3.2.2 Fallbeispiel: Kontrolle der Fruchtqualität im Wareneingang .....	13
3.2.3 Weitere konkrete Einsatzmöglichkeiten entlang der Supply Chain .....	14
3.3 Erste Erkenntnisse zur Vorhersage von Geschmacksparametern .....	15
4 Diskussion .....	17
4.1 Potentielle Anwendungsgebiete entlang der Wertschöpfungskette Obst und Gemüse .....	17
4.2 Wirtschaftliche Verwertbarkeit der Forschungsergebnisse .....	18
4.3 Wissenschaftliche Verwertbarkeit der Forschungsergebnisse .....	18
5 Literaturverzeichnis .....	21
6 Anhang .....	24
Erklärung zur Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung.....	25

### Erstellung von NIR-Vorhersagemodellen am Beispiel des F-750 Produce Quality Meter

Verlinkungen zu Video-Tutorials (Zum Öffnen bitte auf einzelne Lektionen klicken):

- [Lektion I - Einführung](#)
- [Lektion II - Erfassung von Spektren](#)
- [Lektion III - Modellerstellung](#)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verwendung von Food-Scannern zur Messung der internen Fruchtqualität von verpackter Ware (A) sowie Früchten mit dicker Schale (B) .....	6
Abbildung 2: Korrelation zwischen NIR-Food-Scanner Spektren und Qualitätsparametern für A) Trockenmasse-gehalt in Avocado; B) Relativer Wassergehalt in Ingwer; C) Zuckergehalt in Mango; D) Zuckergehalt in Tomaten durch Verpackungsfolie .....	10
Abbildung 3: Vorgehensweise beim Food-Scanner Einsatz in der Wareneingangskontrolle am Beispiel Kiwi .....	13
Abbildung 4: Weitere Einsatzmöglichkeiten von Food-Scannern entlang der Wertschöpfungskette ..	14
Abbildung 5: Beispiele für identifizierte Geschmacks-Cluster im Zuge der Panelverkostung .....	15
Abbildung 6: Zusammenhang zwischen F-750 Brix-Vorhersagewerten und Blaubeer-Verkostungsergebnissen. Varianten mit unterschiedlich gekennzeichneten Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $p = 0,05$ nach Tukey. ....	16
Abbildung 7: Anwendungsbereich von Food-Scannern entlang der Wertschöpfungskette für Obst und Gemüse in der gegenwärtigen und zukünftigen Qualitätskontrolle .....	17

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Betriebsparameter der drei verwendeten kommerziellen Food-Scanner .....	7
Tabelle 2: Erfasste Qualitätsparameter sowie verwendete Messgeräte und Messverfahren und zugehörige Einheiten .....	8
Tabelle 3: Vorhersagegenauigkeit der internen Fruchtqualität verschiedener Food-Scanner. $r^2_{CV}$ : $r^2$ der Kreuzvalidierung; $RMSE_{CV}$ : Root Mean Square Error der Kreuzvalidierung; PC: Principal Components (Hauptkomponenten) .....	9
Tabelle 4: Modelle mit niedriger Vorhersagegenauigkeit der internen Fruchtqualität durch Food-Scanner Messungen. $r^2_{CV}$ : $r^2$ der Kreuzvalidierung; $RMSE_{CV}$ : Root Mean Square Error der Kreuzvalidierung; PC: Principal Components .....	12
Tabelle 5: Genauigkeit der Vorhersagemodelle zum Zuckergehalt an Tafeltrauben auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette .....	12
Tabelle 6: Auflistung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema des Forschungsprojekts .....	18
Tabelle 7: Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts .....	19

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Pflanzliche Lebensmittel wie Obst und Gemüse gehören auf Grund ihres hohen Wassergehaltes und der nach der Ernte anhaltenden Stoffwechselaktivität zu den leicht verderblichen Lebensmitteln. Ab dem Zeitpunkt der Ernte treten qualitätsmindernde Prozesse ein, welche entsprechend des Reifegrades und den produktspezifischen Eigenschaften (z.B. Respiration, Nachreifung), den Lagerbedingungen (z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Ethylenkonzentration) sowie der Verpackung (z.B. Verpackungsmaterialien, Verpackungsatmosphäre) unterschiedlich schnell ablaufen können. Insbesondere der Reifegrad hat bei vielen pflanzlichen Lebensmitteln einen wesentlichen Einfluss auf die Lagerdauer. Produzenten und Handelsunternehmen sind bestrebt, dem Endverbraucher reife und verzehrsfähige Produkte mit den charakteristischen sensorischen Eigenschaften (z.B. Geschmack, Geruch, Textur) anzubieten. Bei vielen pflanzlichen Lebensmitteln lässt sich der Reifegrad auch aufgrund einer großen Sortenvielfalt und damit verbundenen Variabilität nicht ausreichend über das Aussehen sowie den Geruch oder die Textur bewerten. Hinzu kommt, dass klimakterische Früchte (z.B. Tomaten, Mangos, Bananen) einer Nachreifung unterliegen, welche einerseits die Lagerfähigkeit der Lebensmittel durch die Möglichkeit einer frühzeitigen Ernte erhöht, jedoch auch zu sensorischen Veränderungen entlang der Wertschöpfungskette führt. Im Gegensatz hierzu reifen nicht klimakterische Früchte (z.B. Beerenfrüchte) nicht nach und müssen im vollreifen Zustand geerntet werden, was demzufolge ein deutlich verringertes Lagerpotential bedeutet. Eine Messgröße für den Reifegrad und oftmals auch den Geschmack von vielen Obst- und Gemüsearten ist neben dem Zuckergehalt (Brix) der Gehalt der Trockenmasse. Durch eine frühzeitige Bestimmung des entsprechenden Reifegrades sowie einer Abschätzung der weiteren Haltbarkeit entlang der Wertschöpfungskette von Obst und Gemüse kann, bei einer zeitnahen Erfassung abweichender Qualitäten, ein alternativer Verwertungsweg als die Frischetheke im Lebensmitteleinzelhandel angestrebt werden (z.B. Verarbeitung zu Suppen, Smoothies, Trockenfrüchten). Gleichmaßen können entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden, um Lebensmittelverluste zu reduzieren (z.B. Abverkauf durch gezielte Werbemaßnahmen). In den letzten Jahren wurden verschiedenste bis dato lediglich im Labormaßstab verfügbare Messgeräte und Technologien durch den Fortschritt der Forschung stetig verkleinert. Hierzu zählen beispielsweise auch portable und zum Teil miniaturisierte Nah-Infrarot (NIR)-Spektrometer, welche oftmals unter dem Namen Food-Scanner angeboten werden. Die Ergebnisse erster Forschungsarbeiten zeigen, dass mit Hilfe dieser kompakten Messgeräte sehr genaue Modelle zur Vorhersage der inneren Fruchtqualität einer Vielzahl von Früchten erstellt werden können (dos Santos et al. 2013; Kaur et al. 2017).

Ziel des Forschungsprojekts war die Erarbeitung von Nutzungsmöglichkeiten von Food-Scannern zur schnellen und zerstörungsfreien Erfassung von Qualitätsparametern für ausgewählte Obstarten auf den verschiedenen Stufen der Supply Chain. Im Fokus standen dabei insbesondere positiv besetzte Qualitätsmerkmale (z. B. Festigkeit, Wasser-, Zucker-, Säuregehalt, Trockenmasse, spezielle Inhaltsstoffe), welche für die Beurteilung des Reifegrades sowie Geschmacks von großer Bedeutung sind. Insbesondere im Bereich der Reifebeurteilung, welche bei vielen Produkten äußerlich nicht möglich ist (z. B. Avocado, Mango), sowie der geschmacklichen Bewertung (z. B. Zucker-Säure Verhältnis, Saftgehalt), können gegebenenfalls auch anhand dieser Merkmale Qualitätsmängel erkannt werden. Beispielhaft sollten positive Merkmale (z. B. Trockenmasse, Festigkeit) zur Reifebestimmung an Avocado und Mango analysiert werden. Um praktische Nutzungsmöglichkeiten aufzuzeigen wurde an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette die Nachweisbarkeit der vorher definierten Qualitätsparameter mittels Food-Scannern in Praxisversuchen untersucht.

## 2 Planung und Ablauf des Vorhabens

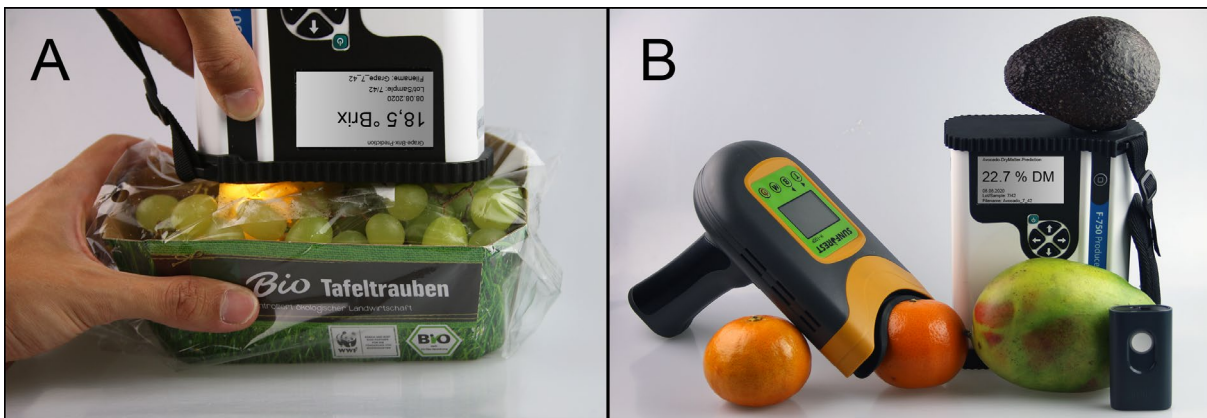
### 2.1 Stand der Wissenschaft

Herkömmliche Messmethoden für die Bestimmung der Fruchtqualität sind in den meisten Fällen zerstörerisch, zeitaufwendig, erfordern geschultes Personal und benötigen je nach Fruchtparameter verschiedenste Messgeräte. Für die Bestimmung des Zuckergehalts mittels Refraktometer müssen Früchte aufgeschnitten und ausgepresst werden, bei der Messung der Fruchtsäure muss neben dem Einsatz von Chemikalien ein zeitaufwendiges Titrationsverfahren angewendet werden (OECD 2018). Anstelle dieser zerstörerischen Messungen der internen Qualitätsparameter wurden in den vergangenen Jahren vermehrt optische Messmethoden wie beispielsweise die visuelle und Nah-Infrarot-Spektroskopie (Vsi/NIR) zur Bestimmung von wichtigen Qualitätsparametern für gartenbauliche Produkte eingesetzt (Nicolai et al. 2007). Mit Hilfe dieser Technologie können verschiedenste Qualitätsmerkmale zerstörungsfrei und innerhalb kurzer Zeit ermittelt werden, oftmals lassen sich in einem Messvorgang mehrere Qualitätsmerkmale gleichzeitig bestimmen. Die Verwendung unterschiedlicher verschiedener Messgeräte zur Qualitätsbestimmung, welche zudem zerstörerisch arbeiten wird bei der Verwendung von NIR-Spektrometern an ganzen Früchten überflüssig.

Anstelle herkömmlicher Labor-Spektrometer finden vermehrt tragbare NIR-Spektrometer Einzug in die Forschung und Praxis für die Analyse verschiedenster Qualitätsmerkmale von Obst und Gemüse (dos Santos et al. 2013). Die anhaltende technologische Entwicklung fördert die Miniaturisierung und Kommerzialisierung von NIR-Sensoren, die oftmals unter dem Namen Food-Scanner angeboten werden. Einige dieser Geräte sind speziell für den Endverbraucher konzipiert und sollen neben Makronährstoffen auch Allergene sowie Kontaminationen in Lebensmitteln identifizieren können (Rateni et al. 2017). Einige Unternehmen haben sich bereits in diese Richtung spezialisiert und bieten tragbare NIR-Sensoren zur Messung der Fruchtqualität an der Pflanze auf dem Feld an (Felix Instruments 2020). Andere Firmen spezialisieren sich bereits in der Qualitätsbestimmung in der Nachernte von Obst und Gemüse durch den Einsatz von portablen NIR-Spektrometern in der Qualitätskontrolle (Sunforest 2020). Erste Studien, welche die Leistungsfähigkeit dieser miniaturisierten NIR-Sensoren für die zerstörungsfreie Vorhersage wichtiger Qualitätsparameter von Obst- und Gemüse untersuchten, zeigten vielversprechende Ergebnisse. Neben der Bestimmung des Trockenmassegehalts von Äpfeln, Steinfrüchten sowie Kiwis (Kaur et al. 2017) konnten gute Vorhersagen für den Öl-, Feuchtigkeits- sowie Trockenmassegehalt von Avocados erzielt werden (Ncama et al. 2018). In einem zuvor an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf durchgeführten Projekt zum Thema Food-Scanner ("Zerstörungsfreie Messmethode zur schnellen Qualitätsbewertung und Haltbarkeitsabschätzung von Lebensmitteln mit Hilfe von Food-Scannern") wurden an der Beispielfrucht Tomate bereits sehr gute Ergebnisse zur Vorhersage wichtiger Qualitätsparameter, wie beispielsweise Festigkeit, Zuckergehalt sowie Lycopingehalt, ermittelt (Goisser et al. 2020b, weitere Publikation in Arbeit). Diese Erkenntnisse verdeutlichen das Potential von Food-Scannern für eine schnelle und zerstörungsfreie Qualitätsmessung. Im Hinblick auf den praktischen Einsatz dieser Geräte entlang der Wertschöpfungskette von Obst und Gemüse konnten in einer qualitativen Studie wichtige Anforderungen von Seiten des Handels, wie beispielsweise die Benutzerfreundlichkeit der Geräte sowie Genauigkeit der Vorhersagemodelle, ermittelt werden (Goisser et al. 2020a).

## 2.2 Untersuchte Produkte und Qualitätsparameter und verwendete Food-Scanner

Aufbauend auf den vielversprechenden Ergebnissen aus der Fachliteratur sowie dem Vorgängerprojekt zum Thema Food-Scanner wurden im Zuge dieser Forschungsarbeit mehrere Food-Scanner auf ihre Anwendbarkeit in der Breite des Obst- und Gemüsesortiments hin untersucht. Im Fokus standen einerseits wichtige Handelsartikel, welche zum Teil einen langen Transportweg vom Ursprung bis in den deutschen Einzelhandel zurücklegen (Blaubeeren, Ingwer). Zudem wurde die Leistungsfähigkeit des Food-Scanner Einsatzes gezielt bei Früchten mit dicker Schale, wie beispielsweise Mango, Avocado oder Zitrusfrüchten überprüft, da bei diesen Produkten oftmals kein Zusammenhang zwischen der äußeren optischen und der inneren Fruchtqualität besteht. In weiteren Versuchen wurde überprüft, inwiefern die Qualitätsbestimmung mittels portabler NIR-Sensoren auch durch vorhandene Verpackungsmaterialien, wie beispielsweise Folie, möglich ist (Abbildung 1). Eine vollständige Auflistung der untersuchten Produkte findet sich in Kapitel 3.1.



**Abbildung 1:** Verwendung von Food-Scannern zur Messung der internen Fruchtqualität von verpackter Ware (A) sowie Früchten mit dicker Schale (B)

Im Fokus der Versuche stand die Bestimmung wichtiger Qualitätsparameter wie Zucker- und Säuregehalt, Festigkeit sowie Trockenmasse, da diese oftmals als Indikatoren für den Reifegrad beziehungsweise die Genussqualität der entsprechenden Frucht herangezogen werden (OECD 2018). Neben Messungen an Ware aus dem Lebensmitteleinzelhandel wurden im Zuge verschiedener Kooperationen (s. Kapitel 2.3) Versuche auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette, von der Produktion in Obstanlagen bis hin zur Qualitätskontrolle im Wareneingang, durchgeführt. Neben der Ermittlung der Vorhersagegenauigkeit konnte so auch die praktische Handhabung sowie der Gebrauch im Arbeitsalltag evaluiert werden. In weiteren Versuchen wurden zudem erste Erkenntnisse zur Bestimmung von Geschmacksparemetern mittels NIR-Sensoren ermittelt.

Für die Messungen wurden drei kommerziell verfügbare NIR-Sensoren, welche von den jeweiligen Herstellern explizit zur Ermittlung der Fruchtqualität an Obst- und Gemüse beworben werden, verwendet (siehe Abbildung 1B und Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Betriebsparameter der drei verwendeten kommerziellen Food-Scanner

Instrument	Spektrometer	Wellenlängenbereich (nm)	Auflösung (nm)	Messzeit <sup>b</sup> (s)
F-750 r	Carl Zeiss MMS-1	310 - 1100	8 - 13	10
H-100F	CMOS	650 - 950	< 20 <sup>a</sup>	2
SCiO™ Molecular Sensor	Bildsensor	740 - 1070	< 1	8

<sup>a</sup>Nach Schätzungen von Kaur et al. (2017) <sup>b</sup>Basierend auf eigenen Messungen

### 2.3 Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen und Handelsunternehmen

Im Laufe des Forschungsprojekts konnten verschiedene Kooperationen mit Forschungspartnern und interessierten Unternehmen sowie Start-Ups geknüpft werden. In einer Kooperation mit der Landesanstalt für Wein und Gartenbau (LWG) in Bamberg konnte ein erster Ansatz zur Verknüpfung von Food-Scanner Messungen und einer humansensorischen Verkostung verfolgt werden. Hierfür wurden über 1000 Tomaten zunächst spektrometrisch analysiert und anschließend von einem trainierten Sensorikpanel auf zahlreiche sensorische Parameter hin evaluiert. Somit konnten weitere über die Ziele des eigentlichen Forschungsprojektes hinausreichende Themen bearbeitet werden. Im Zuge einer Zusammenarbeit mit der American Farm School in Thessaloniki, Griechenland, wurde der Einsatz von portablen NIR-Scannern in der Praxis des Tafeltraubenanbaus erprobt. Hierfür wurden vor Ort Messungen in den Kulturflächen der Tafeltrauben während der Reifezeit durchgeführt und wichtige Qualitätsparameter auf Korrelationen mit den erfassten NIR-Spektren überprüft. Ziel war es, die Eignung von Food-Scannern zur Überwachung der Fruchtreife sowie zur Bestimmung des richtigen Erntezeitpunktes zu evaluieren.

Auf die Anfrage eines deutschen Handelsunternehmens hin wurden Versuche zum Food-Scanner Einsatz in der Wareneingangskontrolle von Obst und Gemüse durchgeführt. Hierbei wurde zum Einen die Vorhersagegenauigkeit der zerstörungsfreien Messungen überprüft, zum Anderen wurde der Einsatz in der täglichen Praxis und die damit verbundene Akzeptanz dieser neuen Technologie durch das zuständige Prüfpersonal evaluiert.

Eine weitere Zusammenarbeit konnte mit einem deutschen Sensor-Hersteller (Senorics, Dresden) durchgeführt werden. Im Gegensatz zu NIR-Sensoren mit einem herkömmlichen kontinuierlichen Spektrum arbeitet die Firma Senorics mit einem monolithischen Chip, welcher einzelne Pixel in größeren Wellenlängenintervallen aufzeichnet. Durch die Zusammenarbeit wurden erste Erkenntnisse zur Nutzung dieser neuartigen Sensoren im Bereich der Qualitätsbestimmung von Obst und Gemüse gesammelt.

### 2.4 Messtechnische Vorgehensweise

Die Vorgehensweise bei der Erstellung von Vorhersagemodellen mittels NIR-Food-Scanner teilt sich in zwei Arbeitsschritte. In einem ersten Arbeitsgang werden die NIR-Spektren der intakten Früchte mit Hilfe der Food-Scanner erfasst. Im zweiten Schritt erfolgt die zerstörerische Messung der Qualitätsparameter mittels Referenzmessgeräten (siehe Tabelle 2). Abschließend werden die Spektren und Referenzwerte mittels multivariater Datenanalyse auf Korrelationen überprüft. Bei einer

ausreichenden hohen Korrelation können Vorhersagemodelle erstellt werden, welche anschließend zur zerstörungsfreien Vorhersage des entsprechenden Qualitätsparameters zur Verfügung stehen.

**Tabelle 2:** Erfasste Qualitätsparameter sowie verwendete Messgeräte und Messverfahren und zugehörige Einheiten

<b>Qualitätsparameter</b>	<b>Messgerät / Messverfahren</b>	<b>Einheit</b>
Zuckergehalt	Refraktometer	°Brix
Säuregehalt	Titration	g / L
Trockenmasse	Trocknung im Trockenschrank	%
Festigkeit	Penetrometer	N
Festigkeit (Blaubeeren)	FirmTech 2 - Messgerät	g / mm <sup>2</sup>
Farbwerte	Colorimeter	L*, a*, b*, C*, h°
Saftgehalt	Saftpresse	%
Lycopingehalt (Tomate)	Extraktion und Laboranalyse	mg / kg












### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Vorhersage von Qualitätsparametern von Obst und Gemüse mittels Food-Scanner

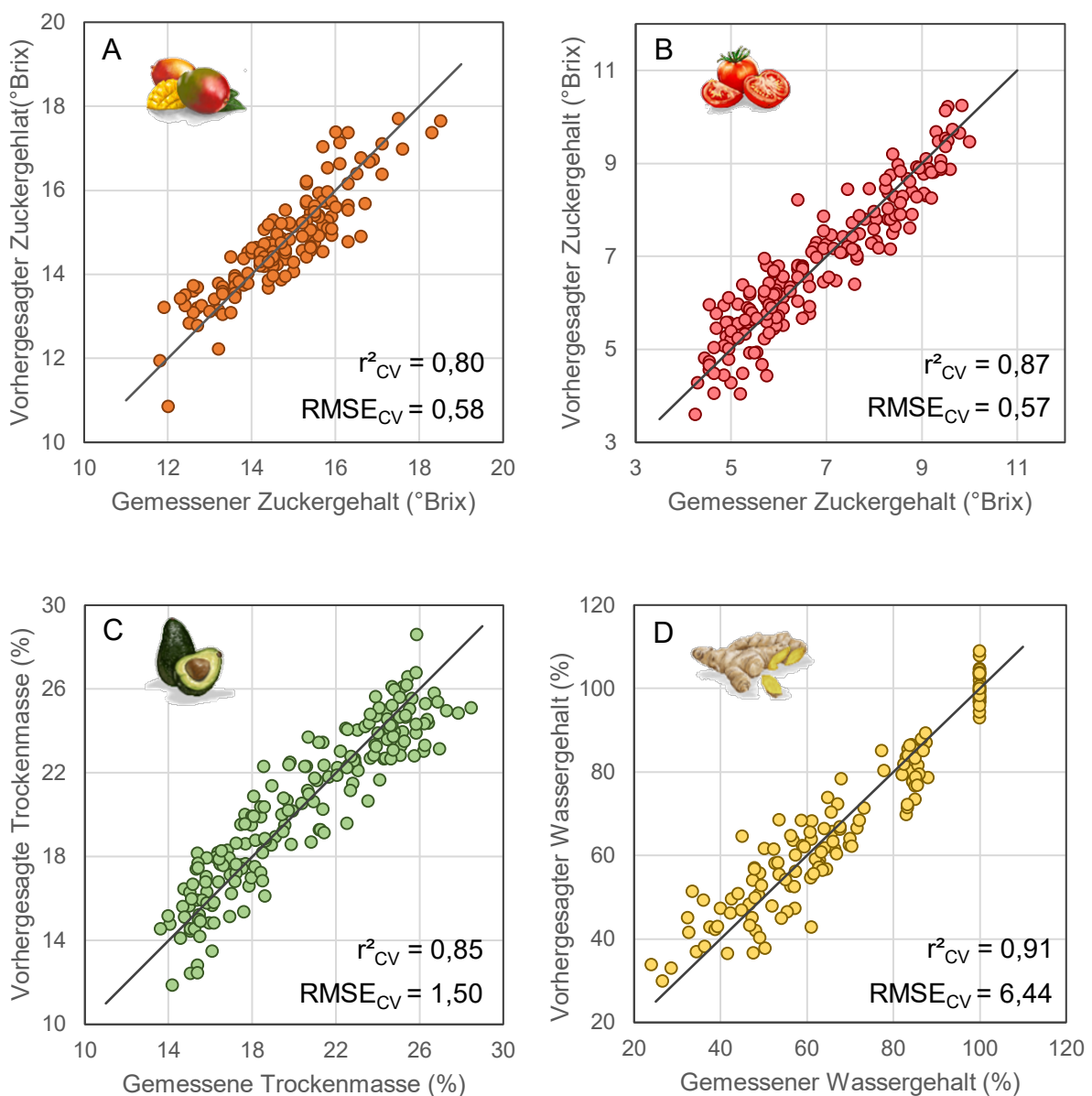
Insgesamt ergaben die Korrelationen der Spektren mit dem Zuckergehalt der Früchte gute Ergebnisse (Tabelle 3). Für Blaubeeren und Tafeltrauben konnten Vorhersagemodelle mit hoher Genauigkeit ( $r^2_{cv} > 0,90$ ) erzielt werden. Gleichermaßen lieferte die Messung des Zuckergehalts für dickhäutige Früchte, wie beispielsweise Mandarinen, sehr gute Ergebnisse. Weitere gute Korrelationen zeigten sich bei Mango (Abbildung 2A) und Kiwi ( $r^2_{cv} = 0,78 - 0,84$ ), während die Vorhersage des Zuckergehalts an Kaki mit dem F-750 ( $r^2_{cv} = 0,75$ ) im Vergleich zum SciO™ ( $r^2_{cv} = 0,63$ ) bessere Ergebnisse lieferte.

**Tabelle 3:** Vorhersagegenauigkeit der internen Fruchtqualität verschiedener Food-Scanner.  $r^2_{cv}$ :  $r^2$  der Kreuzvalidierung; RMSE<sub>cv</sub>: Root Mean Square Error der Kreuzvalidierung; PC: Principal Components (Hauptkomponenten)

Fruchtart	Parameter	F-750	SciO™	H-100F	n	$r^2_{cv}$	RMSE <sub>cv</sub>
Apfel <sup>1</sup> 	Trockenmasse (%)	X			100	0,95	0,53
	Trockenmasse (%)		X		195	0,87	1,42
Blaubeere <sup>1</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)	X			275	0,90	0,68
	Zuckergehalt (°Brix)		X		275	0,95	0,47
	Trockenmasse (%)	X			100	0,92	0,59
	Trockenmasse (%)		X		100	0,94	0,51
Ingwer <sup>2</sup> 	Relativer Wassergehalt (%)	X			150	0,91	6,44
Kaki <sup>1</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)	X			45	0,75	0,76
	Zuckergehalt (°Brix)		X		45	0,63	0,92
Kiwi (grün) <sup>1</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)	X			120	0,84	0,63
Kiwi (gelb) <sup>1</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)	X			120	0,78	0,80
Mango <sup>1</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)	X			140	0,80	0,58
Mandarine <sup>1</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)			X	80	0,93	0,36
	Trockenmasse (%)			X	174	0,92	0,53
Tomate <sup>1,3</sup> 	Zuckergehalt (°Brix)	X			120	0,92	0,51
	Zuckergehalt (durch Folie)	X			177	0,87	0,57
	Festigkeit (N)	X			245	0,93	5,31
	Trockenmasse (%)	X			80	0,94	0,43
	Lycopingehalt (mg/kg)	X			165	0,96	12,06

<sup>1)</sup> Verschiedene Sorten zur Modellbildung genutzt <sup>2)</sup> Einzelne Sorten zur Modellbildung genutzt <sup>3)</sup> Für Tomaten wurden weitere Modelle mittels SciO™ und H-100F sowie für Farbwert-Parameter erstellt (Veröffentlichung in Arbeit)

Nichtsdestotrotz lagen alle Werte der quadratischen Mittelwertfehler ( $RMSE_{CV}$ ), welche als Indikator für den Vorhersagefehler dienen, in einem Bereich von 0,36 bis 0,92 °Brix und können demnach für eine zerstörungsfreie Bewertung der Fruchtqualität als akzeptabel angesehen werden. Die Ergebnisse dieser Versuche sind vergleichbar mit bisher in der Fachliteratur ermittelten Resultaten für die Verwendung von NIR-Spektrometern, wie beispielsweise der Bestimmung des Zuckergehalts an Kiwi (McGlone und Kawano 1998), Mango (Schmilovitch et al. 2000), Tafeltrauben (Donis-González et al. 2020) sowie Mandarinen (McGlone et al. 2003a). Vorhersagemodelle für den Zuckergehalt in Kaki erzielten in diesen Versuchen die niedrigste Genauigkeit und liegen unter den Ergebnissen früherer Literaturberichten (Jannok et al. 2014). Untersuchungen zur Vorhersagefähigkeit des Zuckergehalts von Tomaten durch Verpackungsfolie mit Hilfe des F-750 erzielten Vorhersagemodelle ähnlich denen ohne Verpackung (Abbildung 2B). Eine ausführliche Literaturrecherche ergab, dass eine Vorhersage interner Qualitätsparameter von Früchten durch Verpackungsmaterial noch nicht untersucht wurde.







**Abbildung 2:** Korrelation zwischen NIR-Food-Scanner Spektren und Qualitätsparametern für A) Trockenmasse-gehalt in Avocado; B) Relativer Wassergehalt in Ingwer; C) Zuckergehalt in Mango; D) Zuckergehalt in Tomaten durch Verpackungsfolie

Die Auswertung der Vorhersagemodelle für den Trockenmassegehalt verschiedener Obstarten lieferte gute Ergebnisse ( $r^2_{CV} = 0,85 - 0,95$ ). Insbesondere für Äpfel, Blaubeeren, Tafeltrauben und Mandarinen konnten Modelle mit einer sehr hohen Genauigkeit abgeleitet werden ( $r^2_{CV} > 0,92$ ;  $RMSE_{CV} = 0,46 - 0,59$ ). Dabei übertreffen die Vorhersagemodelle der Apfel-Trockenmasse bisherige Ergebnisse von Møller et al. (2013) und sind vergleichbar mit Resultaten von McGlone et al. (2003b). Im Vergleich zu den in der Literatur angegebenen Ergebnissen für die Vorhersage der Trockenmasse von Tafeltrauben konnten bessere Ergebnisse erzielt werden (Donis-González et al. 2020), die Trockenmasse-Vorhersage an intakten Mandarinen war hingegen analog zu bisherigen Ergebnissen von Guthrie et al. (2005). Die verwendeten Food-Scanner erzielten gute Vorhersagen für die Trockenmasse von Blaubeeren ( $r^2_{CV} > 0,92$ ). Vergleichbare Berichte hierzu konnten in der Fachliteratur nicht gefunden werden. Die Modelle zur Vorhersage der Avocado-Trockenmasse (Abbildung 2C) wiesen etwas geringere Genauigkeiten ( $r^2_{CV} = 0,85 - 0,87$ ) und höhere Vorhersagefehler ( $RMSE_{CV} = 1,42 - 1,50$ ) auf. Diese geringfügige Abweichung der Modellgenauigkeit im Vergleich zu anderen Früchten könnte durch die dunkle Haut der Avocados erklärt werden, da ein großer Teil der NIR-Strahlung abgefangen wird, was zum Verlust von Spektralinformationen führt. Nichtsdestotrotz stimmen die erzielten Ergebnisse mit bisherigen Literaturberichten überein (Olawaju et al. 2016). Die Bestimmung des relativen Wassergehalts an frischem Ingwer (Abbildung 2D) mittels Food-Scanner erzielte gute Ergebnisse ( $r^2_{CV} = 0,91$ ;  $RMSE_{CV} = 6,44$ ). Vergleichbare Ergebnisse an Ingwer wurden bisher nur zur Bestimmung des Feuchtegehalts unter Verwendung eines Laborspektrometers erzielt (Li et al. 2011).

Während für Tomaten sehr gute Vorhersagemodelle zur Festigkeitsbestimmung erstellt werden konnten (Tabelle 3) zeigten Versuche an anderen Fruchtarten wie beispielsweise Blaubeere, Kaki sowie Kiwi keine ausreichenden Korrelationen für gute Prognose (Tabelle 4). Angaben aus der Literatur deuten darauf hin, dass prinzipiell höhere Genauigkeiten für die Festigkeitsvorhersage von Kaki sowie Kiwi mittels NIR-Spektroskopie erzielt werden können (Altieri et al. 2017; McGlone und Kawano 1998). Eine Verbesserung der Modelle könnte durch weitere Integration verschiedener Qualitätsabstufungen (sehr harte bis sehr weiche Früchte) in zukünftigen Versuchen erzielt werden. Vergleichbare Studien zur Festigkeitsbestimmung an Blaubeeren mittels NIR konnten nicht gefunden werden. Versuche von Guthrie et al. (2005), welche ebenfalls mangelhafte Modelle zur Saftgehalts-Vorhersage an Mandarinen erzielten, deuten darauf hin dass die NIR-Spektroskopie keine geeignete Messmethode dieses Fruchtparameters darstellt. Studien mit NIR-Laborinstrumenten verdeutlichen die Schwierigkeit, den Säuregehalt in intakten Tomatenfrüchten zerstörungsfrei vorherzusagen (Flores et al. 2009; Oliveira et al. 2014) und erzielten Vorhersagegenauigkeiten, welche mit den Projektergebnissen vergleichbar sind. Nach Ausführungen von Oliveira et al. (2014) weisen Tomaten im Allgemeinen eine sehr niedrige Konzentration an Säure auf, zudem zeigen die Früchte keine homogene Fruchtfleischzusammensetzung, da sie in verschiedene Fruchtkammern unterteilt sind. Diese Struktur kann zu Störungen bei der Messung führen und könnte der Grund für diese moderaten Korrelationen von NIR-Spektren und Säuregehalt sein.

Die vorgestellten Ergebnisse veranschaulichen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Food-Scannern im Obst- und Gemüsesortiment. Für wichtige Qualitätsparameter, insbesondere Zuckergehalt und Trockenmasse verschiedener Fruchtarten, ergaben die entwickelten Vorhersagemodelle eine hohe und damit praxistaugliche Genauigkeit. Im Vergleich zu zerstörenden Messungen, die normalerweise zur Bestimmung der jeweiligen Qualitätsparameter erforderlich sind, sind Food-Scanner vergleichsweise einfach zu handhaben und können durch ihre schnelle Arbeitsweise helfen, Arbeitszeit zu sparen. Die Möglichkeit der Messung durch die Verpackungsfolie macht diese Geräte für den Einsatz entlang der Wertschöpfungskette Obst- und Gemüse besonders attraktiv.

**Tabelle 4:** Modelle mit niedriger Vorhersagegenauigkeit der internen Fruchtqualität durch Food-Scanner Messungen.  $r^2_{CV}$ :  $r^2$  der Kreuzvalidierung; RMSECV: Root Mean Square Error der Kreuzvalidierung; PC: Principal Components

Fruchtart	Parameter	F-750	SciO™	H-100F	n	$r^2_{CV}$	RMSE <sub>CV</sub>
 Blaubeere	Festigkeit (g/mm <sup>2</sup> )	X			230	0,05	38,82
	Festigkeit (g/mm <sup>2</sup> )		X		230	0,02	30,04
 Kaki	Festigkeit (N)	X			90	0,48	22,68
Kiwi (grün)	Festigkeit (N)	X			240	0,24	1,91
Kiwi (gelb)	Festigkeit (N)	X			80	0,37	1,04
 Mandarine	Saftgehalt (%)			X	144	0,37	3,43
 Tomate	Säuregehalt (g/L)	X			165	0,51	0,54
	Säuregehalt (g/L)		X		165	0,57	0,51

### 3.2 Einsatzmöglichkeiten entlang der Supply Chain Obst und Gemüse

#### 3.2.1 Fallbeispiel: Bestimmung des Trauben-Zuckergehalts vom Feld bis in den Einzelhandel

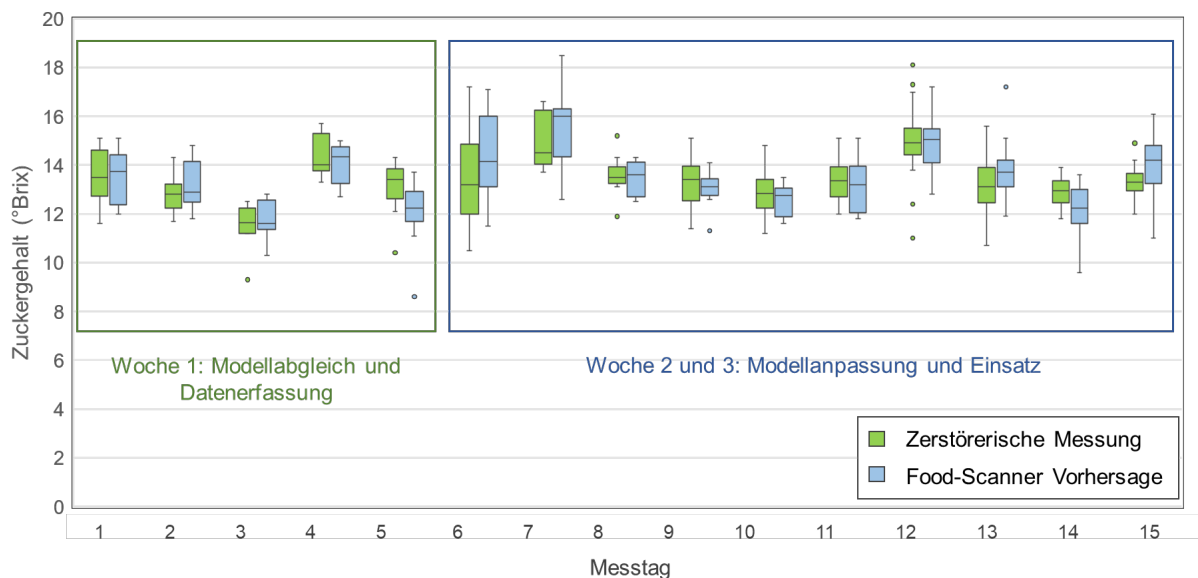
Im Laufe des Forschungsprojekts konnten Food-Scanner an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette zur Bestimmung des Zuckergehalts von Tafeltrauben eingesetzt werden. Durch die Kooperation mit der American Farm School in Thessaloniki konnte so ein Food-Scanner (F-750) während der Fruchtentwicklung und Reifung in den Obstanlagen eingesetzt werden. In einer weiteren Zusammenarbeit mit einem deutschen Handelsunternehmen wurde der Einsatz und die Leistungsfähigkeit desselben Gerätes im Wareneingang evaluiert. Hier wurden zudem Versuche zur Vorhersagegenauigkeit durch Verpackungsfolie hindurch durchgeführt. Zusätzliche Messungen an der HSWT mit Ware aus dem Lebensmitteleinzelhandel dienten zur Evaluierung des Einsatzes auf der letzten Stufe der Wertschöpfungskette. Wie in Tabelle 5 veranschaulicht zeigten die für den Zuckergehalt der Tafeltraube ermittelten Vorhersagemodelle auf allen Stufen der Wertschöpfungskette sehr gute und vergleichbare Genauigkeiten ( $r^2_{CV}$  und RMSE<sub>CV</sub>). Folglich können die Food-Scanner wertschöpfungskettenübergreifend mit hoher Verlässlichkeit zur zerstörungsfreien Vorhersage des Zuckergehalts eingesetzt werden. Die Ergebnisse zur Messung durch Verpackungsfolie deuten zudem auf neue und bis dato nicht berücksichtigte Einsatzgebiete.

**Tabelle 5:** Genauigkeit der Vorhersagemodelle zum Zuckergehalt an Tafeltrauben auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette

Stufe der Wertschöpfungskette	Untersuchte Anzahl Trauben	$r^2_{CV}$	RMSE <sub>CV</sub>
Produktion	424	0,98	0,54
Großhandel	419	0,94	0,59
Großhandel (durch Verpackungsfolie)	75	0,93	0,65
Einzelhandel	120	0,97	0,30

### 3.2.2 Fallbeispiel: Kontrolle der Fruchtqualität im Wareneingang

Durch die Zusammenarbeit mit einem deutschen Handelsunternehmen konnte die Eignung von Food-Scannern in der Praxis überprüft werden. Das Ziel eines für drei Wochen angelegten Versuchs war die Erstellung von Vorhersagemodellen zum Zuckergehalt ausgewählter Fruchtarten (Tomaten, Weintrauben, Kiwi) und damit verbunden die Evaluierung der Vorhersagemöglichkeit der Fruchtqualität während der Wareneingangskontrollen mit Hilfe von Food-Scannern. Die Vorgehensweise des Versuchs ist in Abbildung 5 exemplarisch am Beispiel der grünen Kiwi dargestellt.



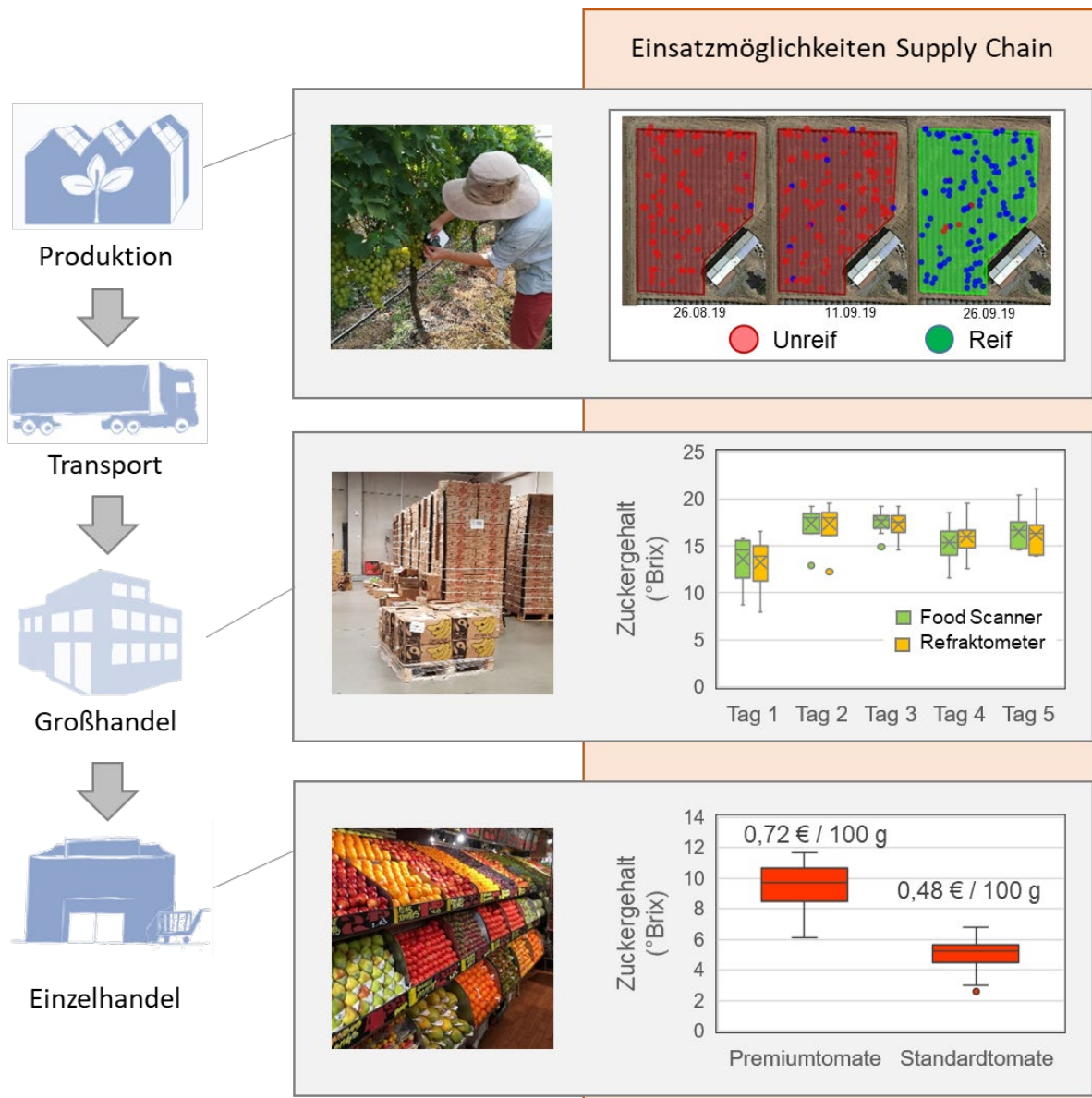
**Abbildung 3:** Vorgehensweise beim Food-Scanner Einsatz in der Wareneingangskontrolle am Beispiel Kiwi

Basierend auf bereits bestehenden Modellen für die Vorhersage des Zuckergehalts der grünen Kiwi wurden innerhalb der ersten Woche ein Abgleich der Vorhersagen des bestehenden Modells und der tatsächlichen zerstörerischen Messungen durchgeführt. Die erhobenen neuen Referenzdaten wurden anschließend in das bestehende Vorhersagemodell eingepflegt und das Modell somit auf die neuen Fruchtchargen angepasst. Wie in Abbildung 3 zu erkennen stimmen die Vorhersagen der Chargenqualitäten durch den Food-Scanner an jedem einzelnen untersuchten Tag sehr gut mit den tatsächlich zerstörerisch gemessenen Zuckergehalten überein. Das Ergebnis dieses Feldtests deutet darauf hin, dass bereits innerhalb eines kurzen Zeitraum bereits bestehende Vorhersagemodelle im Wareneingang angepasst und für die zerstörungsfreie Bewertung der Fruchtqualität verwendet werden können.

Neben den am Beispiel der grünen Kiwi exemplarisch erläuterten Messungen konnten innerhalb der drei Wochen des Versuchszeitraums weitere Fruchtarten (Kiwi gelb, Tomaten, Trauben grün und blau) analysiert werden. Für alle der getesteten Obstarten konnten sehr gute Vorhersagemodelle im Hinblick auf den Zuckergehalt erstellt werden. An Tafeltrauben wurden zu den normalen Messungen an der Frucht außerdem Messungen durch Verpackungsfolie hindurch durchgeführt, um diese Messmethode und die damit verbundene Erleichterung der Handhabbarkeit der Food-Scanner während der Wareneingangskontrolle in Zukunft zu evaluieren. Die Ergebnisse (s. Kapitel 3.2.1) deuten darauf hin, dass eine solche Messung durch die Verpackungsfolie ebenfalls zu validen und verwendbaren Vorhersagemodellen führt.

### 3.2.3 Weitere konkrete Einsatzmöglichkeiten entlang der Supply Chain

Neben den erläuterten Fallbeispielen ergeben sich auf Grund der hohen Vorhersagegenauigkeiten weitere konkrete Einsatzmöglichkeiten entlang der Wertschöpfungskette von Obst und Gemüse. So können die in den Obstanlagen während der Fruchtreife durchgeführten Messungen der Fruchtqualität dazu verwendet werden, den Fruchtentwicklungsfortschritt sowie den Reifegrad kompletter Obstanlagen zu überwachen. Somit können Food-Scanner helfen, den Erntezeitpunkt zu bestimmen und Erntearbeiten innerhalb der Obstanlagen verlässlich zu koordinieren (Abbildung 4).



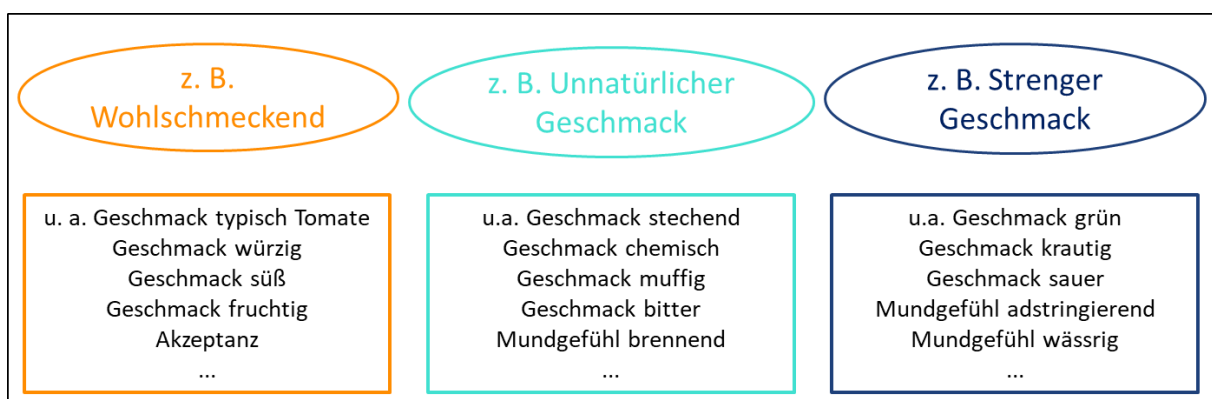
**Abbildung 4:** Weitere Einsatzmöglichkeiten von Food-Scannern entlang der Wertschöpfungskette

Food-Scanner können sowohl für Endverbraucher als auch für Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte verwendet werden, um Premiumprodukte von Preiseinstiegsprodukten innerhalb des Obst- und Gemüsesortiments zu unterscheiden. Aktuell werden Unterschiede zwischen diesen Produkten hauptsächlich durch das Layout und Design der Verpackung kommuniziert. Die während der Wareneingangskontrollen gesammelten Daten der zerstörerisch ermittelten Zuckergehalte

verschiedener kommerzieller Tomatensorten wurden im Zuge des Projekts mit den jeweiligen Einzelhandelspreisen kombiniert (Abbildung 4). Wie grafisch dargestellt werden Fruchtqualitäten, welche sich deutlich voneinander unterscheiden, bereits zu unterschiedlichen Preisen angeboten. Oft sind diese Unterschiede in der internen Fruchtqualität für unerfahrene Endverbraucher nicht sichtbar, was das Verständnis für verschiedenen Preisstrategien erschwert. Durch die Verwendung von Food-Scannern in Einzelhandelsgeschäften können diese Unterschiede in der internen Fruchtqualität dem Endverbraucher nahegebracht werden, z. durch Demonstration von Live-Messungen in Kombination mit sensorischer Verkostung von Früchten. In Zukunft können so dynamische Preisstrategien, wie sie von Duan und Liu (2019) beschrieben werden und welche auf einer transparenten Fruchtqualität basieren, dem Lebensmitteleinzelhandel helfen gezielter von qualitativ hochwertiger Ware zu profitieren.

### 3.3 Erste Erkenntnisse zur Vorhersage von Geschmacksparametern

Zusätzlich zu den im Forschungsprojekt veranschlagten quantitativen Messungen spezieller Qualitätsmerkmale wie beispielsweise dem Zucker- sowie Trockenmassegehalt wurde in einer weiteren Versuchsreihe in Kooperation mit der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Bamberg der Zusammenhang zwischen Food-Scanner Messungen und einer humansensorischen Verkostung von Tomaten evaluiert. Ziel war es dabei herauszufinden, inwieweit von einem geschulten Sensorikpanel bewertete Geschmacksmuster von Tomaten mit Hilfe von Food-Scannern modelliert und vorhergesagt werden können. In dem Sensorikzentrum der LWG in Veitshöchheim konnten im Zuge des Versuchs über 1000 Tomaten verkostet und die zugehörigen Spektren mittels Food-Scanner erfasst werden. Die Datenauswertung erfolgte in Abstimmung mit der TH Deggendorf. Die Ergebnisse des Versuches deuten auf der einen Seite auf eine schwache Korrelation der Spektralinformationen mit den Ergebnissen der Panelbewertung hin, auf der anderen Seite ergab die Faktorenanalyse für jeden der betrachteten Messtage ähnliche Geschmacks-Cluster (Abbildung 5).



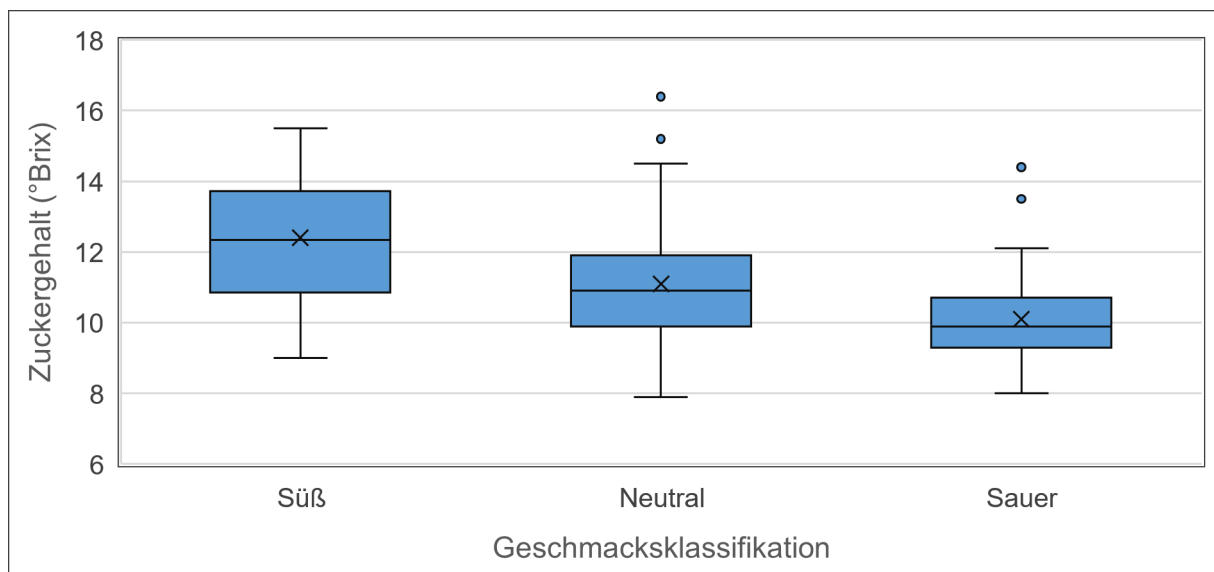
**Abbildung 5:** Beispiele für identifizierte Geschmacks-Cluster im Zuge der Panelverkostung

Die schwache Korrelation der Spektralinformationen mit den Ergebnissen der Panelbewertung lässt sich vermutlich dadurch begründen, dass für den gesamten Geschmacksversuch lediglich eine Tomatensorte verkostet wurde und hierbei die notwendige Variation, die für die Bildung



aussagekräftiger Vorhersagemodelle notwendig ist, nicht vorhanden war. Aufbauend auf diesen ersten Ergebnissen werden weiterführende Sensorikversuche in Verbindung mit Food-Scanner Messungen in Kooperation mit der LWG Bamberg angestrebt. Valide und aussagekräftige Vorhersagen des Fruchtgeschmacks mittels Food-Scanner könnten in Zukunft zum einen die Arbeit in der Pflanzenzüchtung erleichtern, zum anderen können Endverbraucher in ihrer Kaufentscheidung unterstützt werden. Durch eine zusätzliche Bewertungsmöglichkeit der Genussqualität bereits gescannter Früchte durch den Endverbraucher könnte zudem in Zukunft ein rückwärtsgerichtetes Feedbacksystem entlang der Obst- und Gemüse-Supply-Chain eingerichtet werden.

In einem weiteren an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf durchgeführten Verkostungsversuch wurden Blaubeeren auf den Zusammenhang zwischen einer sensorischen Geschmacksklassifikation nach den Attributen "Süß - Neutral - Sauer" und den zerstörungsfrei mittels Food-Scanner vorhergesagten Zuckergehaltswerten untersucht. Wie in Abbildung 6 veranschaulicht zeigte sich eine deutliche Abstufung zwischen den drei Geschmacksklassen. Blaubeeren mit dem durchschnittlich höchsten Zuckergehalt wurden demnach als Süß bewertet, wohingegen als Sauer beschriebene Beeren im Schnitt den geringsten Zuckergehalt aufwiesen. Eine Einteilung der Beeren anhand der aufgezeichneten Fruchtspektren in Geschmacks- sowie Aromaklassen erzielte in dieser Studie keine zufriedenstellenden Ergebnisse, da zum Teil ein hoher Prozentsatz der Beeren von den verwendeten Algorithmen in falsche Klassen eingeordnet wurden (Daten nicht dargestellt).



**Abbildung 6:** Zusammenhang zwischen F-750 Brix-Vorhersagewerten und Blaubeer-Verkostungsergebnissen. Varianten mit unterschiedlich gekennzeichneten Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p = 0,05$  nach Tukey.

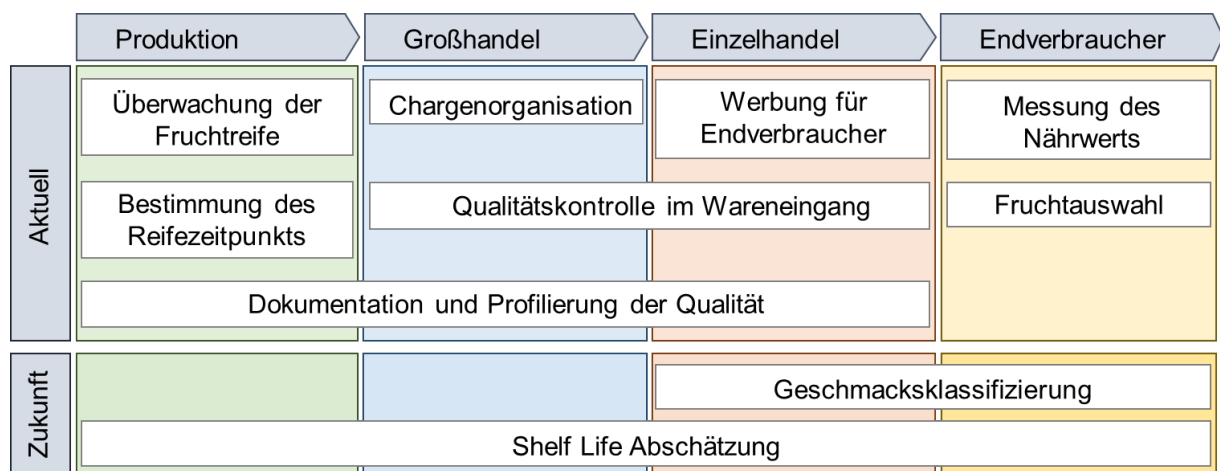


## 4 Diskussion

### 4.1 Potentielle Anwendungsgebiete entlang der Wertschöpfungskette Obst und Gemüse

Die im Rahmen des Forschungsprojekts identifizierten Anwendungsgebiete für Food-Scanner entlang der Wertschöpfungskette von Obst und Gemüse sind in Abbildung 7 zusammengefasst. Neben den in konkreten Fallbeispielen ausführlich beschriebenen Einsatzmöglichkeiten (Kapitel 3.2) sind so weitere Anwendungen auf verschiedenen Stufen entlang der Lieferkette denkbar. Durch den Einsatz der Messgeräte in Wareneingangskontrollprozessen können mit Hilfe der Ergebnisse zeitnah Entscheidung zur weiteren Distribution der Ware getroffen werden. Insbesondere auf den Produktions- und Handelsstufen der Wertschöpfungskette dienen die ermittelten Messwerte der Dokumentation der Produktqualität und können so Aufschlüsse über Qualitätsunterschiede entsprechend der Saison, den Ursprungsländern und Lieferanten sowie verschiedener Sorten innerhalb einer Fruchtart liefern. Ware mit besonders guter Qualität kann so hervorgehoben und diese Qualitätsgüte objektiv entlang der Wertschöpfungskette kommuniziert werden.

Darüber hinaus sind weitere Anwendungen auf Endverbraucherebene, wie beispielsweise die Bestimmung des Nährwertes oder der Nachweis von Allergenen denkbar (Spectral Engines 2020; Tellspec 2020). Um eine angemessene Handhabung durch Endverbraucher zu ermöglichen, müssen zusätzliche Aspekte wie der Umgang mit Food-Scannern durch unerfahrene Personen und die korrekte Interpretation der angezeigten Messungen berücksichtigt werden (Popping und Bourdichon 2018). Im Hinblick auf zukünftige Anwendungsbereiche dieser Messgeräte besteht großes Interesse zur Haltbarkeitsabschätzung von Obst und Gemüse. Erste Studien an ausgewählten Produkten wie Apfel (Correa et al. 2015) sowie Spargel (Sánchez et al. 2009) zeigen das Potential, die Haltbarkeit von Frischeprodukten mit Hilfe der in NIR-Spektren vorhandenen Informationen zu modellieren. Ein weiterer Bereich für zukünftige Food-Scanner Anwendungen könnte die Vorhersage sensorischer Geschmacksmuster sein. Die Ergebnisse erster Studien zur Kombination von NIR-Spektren mit sensorischen Analysen an Äpfeln und Trauben zeigen, dass Geschmacksmuster und Verbraucherpräferenzen mithilfe der NIR-Spektroskopie korreliert werden können (Mehinagic et al. 2003; Parpinello et al. 2013).



**Abbildung 7:** Anwendungsbereich von Food-Scannern entlang der Wertschöpfungskette für Obst und Gemüse in der gegenwärtigen und zukünftigen Qualitätskontrolle

#### 4.2 Wirtschaftliche Verwertbarkeit der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts unterstreichen die aktuell bereits durch Food-Scanner möglichen Einsatzgebiete auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette. Bei einer Anwendung in der Praxis, wie beispielsweise im Wareneingang des Groß- sowie Einzelhandels, gewinnen die Unternehmen erhebliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen Messmethoden der Qualitätserfassung. So kann durch jede einzelne Messung wertvolle Arbeitszeit eingespart werden, zudem muss keine Ware für die Messung zerstört werden. Auf lange Sicht können durch die gewonnenen Daten wertvolle Informationen zu internen Fruchtqualitäten entsprechend der Saison, den Herkunftsländern, Lieferanten sowie spezieller Fruchtsorten gewonnen werden.

Im Hinblick auf zukünftige Anwendungen könnte die Kombination von Informationen aus der NIR-Spektroskopie mit zusätzlichen Daten aus der Lagerung, wie beispielsweise Temperatur und Luftfeuchtigkeit, eine neue Methode zur Abschätzung der Haltbarkeit von Obst und Gemüse darstellen. Durch eine frühzeitige Bewertung der Haltbarkeit können die Warenströme entlang der Lieferkette genauer gesteuert werden. Folglich können Produkte, welche nicht mehr für den Frischmarkt geeignet sind, auf alternative Wegen verarbeitet werden (z.B. Smoothies, Säfte, Suppen, Trockenfrüchte). Somit können einerseits wertvolle Ressourcen eingespart und unnötige Lebensmittelverluste reduziert werden.

#### 4.3 Wissenschaftliche Verwertbarkeit der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts unterstützen die bis dato gesammelten guten Ergebnisse und unterstreichen das große Potential von Food-Scannern zur zerstörungsfreien Qualitätsbestimmung an verschiedensten Obst- und Gemüsearten. Im Rahmen des Projekts wurden bzw. werden zudem mehrere wissenschaftliche Veröffentlichungen erstellt (Tabelle 6).

**Tabelle 6:** Auflistung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema des Forschungsprojekts

<b>Journal</b>	<b>Titel der Veröffentlichung</b>
<b>Postharvest Biology and Technology</b>	Using food-scanners for non-destructive determination of lycopene content and additional quality parameters of tomato fruit
<b>Journal of Applied Botany and Food Quality (accepted)</b>	Evaluating the practicability of commercial food-scanners for non-destructive quality assessment of tomato fruit
<b>Landtechnik (im Review)</b>	Food-scanner applications in the fruit and vegetable sector

Zusätzliche Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit, welche während der Projektlaufzeit durchgeführt wurden, sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

**Tabelle 7:** Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts

<b>Beitrag</b>	<b>Medium / Anlass</b>
Poster	Besuch einer thailändischen Delegation an der HSWT
Podcast	Befootec( <a href="https://befootec.de/">https://befootec.de/</a> ) - Interview für einen Podcast der Lebensmittelindustrie (derzeit in Arbeit)
Video	Projektpräsentation im Rahmen des Imagefilms zur 50-Jahrfeier der HSWT (derzeit in Arbeit) (soll nächstes Jahr ausgestrahlt werden zur 50 Jahr-Feier)
Video	Erstellung von Video-Tutorials zur selbstständigen Modellerstellung

Zudem wurden die Forschungsergebnisse im Rahmen von Lehrveranstaltungen an der HSWT Studierenden der Bachelor- und Masterstudiengänge im Fachbereich Gartenbau sowie Lebensmitteltechnologie vorgestellt. Weiterhin wurden bzw. werden im Laufe der Projektlaufzeit innerhalb des Themenfelds des Food-Scanners insgesamt zwei Bachelorarbeiten und zwei Masterarbeiten durchgeführt:

- Trockenmassebestimmung von Avocados mittels portabler NIRS unter Berücksichtigung verschiedener Herkunftsländer (Bachelorarbeit - gemeinsam mit einem Fruchthandelsunternehmen)
- Food-Scanner-Einsatz zur Qualitätsbestimmung und Geschmacksklassifizierung von Blaubeeren (Bachelorarbeit)
- Einsatz eines portablen NIR-Spektrometers während der Fruchtreife von Tafeltrauben (Masterarbeit, in Kooperation mit der American Farm School in Thessaloniki, Griechenland)
- Verwendung eines NIR-Handmessgerätes im Wareneingang zur schnellen und zerstörungsfreien Abschätzung der Fruchtqualität ausgewählter Obstarten (Masterarbeit in Zusammenarbeit mit einem Partner aus dem LEH)

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten, insbesondere in bis dato noch wenig erforschte Bereiche wie beispielsweise die Verwendung von Food-Scannern zur Geschmacksklassifizierung. Durch die Kombination von NIR-Messungen mit zusätzlichen Messgrößen aus der Nachernte, wie beispielsweise der Lagertemperatur- sowie Luftfeuchtigkeit, könnten zudem neue Modelle und selbstlernende Systeme zur Abschätzung des Shelf Life von Früchten entwickelt werden. So ist derzeit eine Integration von Food-Scanner Messungen in das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Forschungsprojekt "Freshanalytics" geplant, um die Frische, Qualität sowie Sicherheit von Lebensmitteln entlang der Lieferkette zu optimieren.

Darüber hinaus war ein Ziel des Projektes die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Herr Simon Goisser hat inzwischen alle wissenschaftlichen Veröffentlichungen für seine Promotion eingereicht und schreibt derzeit an der Dissertation.

Folgende Veröffentlichungen, die im Rahmen des zu Beginn vom Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten zweijährigen Forschungsprojekt und im Anschluss in dem von QS Wissenschaftsfond geförderten Projektes entstanden sind, bilden die Grundlage für die Dissertation:

1. Goisser, S.; Fernandes, M.; Ulrichs, C.; Mempel, H. (2018): Non-destructive measurement method for a fast quality evaluation of fruit and vegetables by using food-scanner. DGG-Proceedings 8 (13), S.1-5. DOI: <https://doi.org/10.5288/dgg-pr-sg-2018>
2. Goisser, S.; Krause, J.; Fernandes, M.; Mempel, H. (2019): Determination of tomato quality attributes using portable NIR-sensors. 4th International Conference on Optical Characterization of Materials (OCM), March 13th - 14th, 2019, Karlsruhe, Germany, S.1-12. DOI: <https://doi.org/10.5445/KSP/1000087509>
3. Goisser, S.; Mempel, H.; Bitsch, V. (2020): Food-Scanners as a Radical Innovation in German Fresh Produce Supply Chains. International Journal on Food System Dynamics 11 (2), S.101-116. DOI: <https://doi.org/10.18461/ijfsd.v11i2.43>
4. Goisser, S.; Wittmann, S.; Fernandes, M.; Mempel, H.; Ulrichs, C. (2020): Comparison of colorimeter and different portable food-scanners for non-destructive prediction of lycopene content in tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 167 (111232), S.1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111232>
5. Goisser, S.; Fernandes, M.; Wittmann, S.; Ulrichs, C.; Mempel, H. (2020): Evaluating the practicability of commercial food-scanners for non-destructive quality assessment of tomato fruit (Accepted: Journal of Applied Botany and Food Quality)
1. Goisser, S.; Wittmann, S.; Mempel, H. (2020): Food-scanner applications in the fruit and vegetable sector (Im Review-Prozess: Landtechnik)

## 5 Literaturverzeichnis

- Altieri, Giuseppe; Genovese, Francesco; Tauriello, Antonella; Di Renzo, Giovanni Carlo (2017): Models to improve the non-destructive analysis of persimmon fruit properties by VIS/NIR spectrometry. In: *Journal of the science of food and agriculture* 97 (15), S. 5302–5310. DOI: 10.1002/jsfa.8416.
- Correa, Ana R.; Quicazán, Marta C.; Hernandez, Claudia E. (2015): Modelling the Shelf-life of Apple Products According to their Water Activity. In: *Chemical Engineering Transactions* 43, S. 199–204. DOI: 10.3303/CET1543034.
- Donis-González, Irwin R.; Valero, Constantino; Momin, Md Abdul; Kaur, Amanjot; C. Slaughter, David (2020): Performance Evaluation of Two Commercially Available Portable Spectrometers to Non-Invasively Determine Table Grape and Peach Quality Attributes. In: *Agronomy* 10 (1), S. 148. DOI: 10.3390/agronomy10010148.
- dos Santos, Cláudia A. Teixeira; Lopo, Miguel; Páscoa, Ricardo N. M. J.; Lopes, João A. (2013): A review on the applications of portable near-infrared spectrometers in the agro-food industry. In: *Applied spectroscopy* 67 (11), S. 1215–1233. DOI: 10.1366/13-07228.
- Duan, Yongrui; Liu, Jingjing (2019): Optimal dynamic pricing for perishable foods with quality and quantity deteriorating simultaneously under reference price effects. In: *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics* 6 (4), S. 346–355. DOI: 10.1080/23302674.2018.1465618.
- Felix Instruments (2020): Food Science Instruments. Online verfügbar unter <https://www.felixinstruments.com/food-science-instruments/portable-nir-analyzers/>.
- Flores, Katherine; Sánchez, María-Teresa; Pérez-Marín, Dolores; Guerrero, José-Emilio; Garrido-Varo, Ana (2009): Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. In: *Journal of Food Engineering* 91 (2), S. 311–318. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.013.
- Goisser, Simon; Mempel, Heike; Bitsch, Vera (2020a): Food-Scanners as a Radical Innovation in German Fresh Produce Supply Chains. 101 - 116 Pages / *International Journal on Food System Dynamics*, Vol 11, No 2 (2020) / *International Journal on Food System Dynamics*, Vol 11, No 2 (2020). DOI: 10.18461/IJFSD.V11I2.43.
- Goisser, Simon; Wittmann, Sabine; Fernandes, Michael; Mempel, Heike; Ulrichs, Christian (2020b): Comparison of colorimeter and different portable food-scanners for non-destructive prediction of lycopene content in tomato fruit. In: *Postharvest Biology and Technology* 167, S. 111232. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2020.111232.
- Guthrie, J. A.; Walsh, K. B.; Reid, D. J.; Liebenberg, C. J. (2005): Assessment of internal quality attributes of mandarin fruit. 1. NIR calibration model development. In: *Aust. J. Agric. Res.* 56 (4), S. 405. DOI: 10.1071/AR04257.
- Jannok, Piyamart; Kamitani, Yoshinori; Kawano, Sumio (2014): Development of a Common Calibration Model for Determining the Brix Value of Intact Apple, Pear and Persimmon Fruits by near Infrared Spectroscopy. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 22 (5), S. 367–373. DOI: 10.1255/jnirs.1130.
- Kaur, Harpreet; Künnemeyer, Rainer; McGlone, Andrew (2017): Comparison of hand-held near infrared spectrophotometers for fruit dry matter assessment. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 25 (4), S. 267–277. DOI: 10.1177/0967033517725530.

Li, Jing; Xue, Long; Liu, Mu Hua; Lv, Ping; Yan, Lin Yuan (2011): Determination of Moisture Content in Ginger Using PSO Combined with Vis/NIR. In: *AMR* 320, S. 563–568. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.320.563.

McGlone, V. Andrew; Fraser, G. Daniel; Jordan, Robert B.; Künnemeyer, Rainer (2003a): Internal quality assessment of mandarin fruit by vis/NIR spectroscopy. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 11, S. 323–332. DOI: 10.1255/jnirs.383.

McGlone, V. Andrew; Jordan, Robert B.; Seelye, Richard; Clark, Christopher J. (2003b): Dry-matter—a better predictor of the post-storage soluble solids in apples? In: *Postharvest Biology and Technology* 28 (3), S. 431–435. DOI: 10.1016/S0925-5214(02)00207-7.

McGlone, V. Andrew; Kawano, Sumio (1998): Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. In: *Postharvest Biology and Technology* 13, S. 131–141.

Mehinagic, Emira; Royer, Gaëlle; Bertrand, Dominique; Symoneaux, Ronan; Laurens, François; Jourjon, Frédérique (2003): Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible–NIR spectroscopy of apples belonging to different cultivars. In: *Food Quality and Preference* 14 (5-6), S. 473–484. DOI: 10.1016/S0950-3293(03)00012-0.

Møller, Sandie M.; Travers, Sylvia; Bertram, Hanne C.; Bertelsen, Marianne G. (2013): Prediction of postharvest dry matter, soluble solids content, firmness and acidity in apples (cv. Elshof) using NMR and NIR spectroscopy: a comparative study. In: *Eur Food Res Technol* 237 (6), S. 1021–1024. DOI: 10.1007/s00217-013-2087-6.

Ncama, Khayelihle; Magwaza, Lembe S.; Poblete-Echeverría, Carlos A.; Nieuwoudt, Hélène H.; Tesfay, Samson Z.; Mditshwa, Asanda (2018): On-tree indexing of ‘Hass’ avocado fruit by non-destructive assessment of pulp dry matter and oil content. In: *Biosystems Engineering* 174, S. 41–49. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.06.011.

Nicolai, Bart M.; Beullens, Katrien; Bobelyn, Els; Peirs, Ann; Saeys, Wouter; Theron, Karen I.; Lammertyn, Jeroen (2007): Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. In: *Postharvest Biology and Technology* 46 (2), S. 99–118. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.06.024.

OECD (2018): OECD fruit and vegetables scheme. Guidelines on objective tests to determine quality of fruit and vegetables, dry and dried produce. Hg. v. OECD. Online verfügbar unter <http://www.oecd.org/agriculture/fruit-vegetables/>.

Olarewaju, Olaoluwa Omoniyi; Bertling, Isa; Magwaza, Lembe Samukelo (2016): Non-destructive evaluation of avocado fruit maturity using near infrared spectroscopy and PLS regression models. In: *Scientia Horticulturae* 199, S. 229–236. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.12.047.

Oliveira, Gabrieli Alves de; Bureau, Sylvie; Renard, Catherine Marie-Geneviève Claire; Pereira-Netto, Adaucto Bellarmino; Castilhos, Fernanda de (2014): Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species. In: *Food chemistry* 143, S. 223–230. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.122.

Parpinello, Giuseppina Paola; Nunziatini, Giulia; Rombolà, Adamo Domenico; Gottardi, Fernando; Versari, Andrea (2013): Relationship between sensory and NIR spectroscopy in consumer preference of table grape (cv Italia). In: *Postharvest Biology and Technology* 83, S. 47–53. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.03.013.

Popping, Bert; Bourdichon, Francois (2018): Consumer food testing devices: threat or opportunity? In: *Food Analysis In-Depth Focus* 21, 2018 (1), S. 30–33.

Rateni, Giovanni; Dario, Paolo; Cavallo, Filippo (2017): Smartphone-Based Food Diagnostic Technologies: A Review. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 17 (6). DOI: 10.3390/s17061453.

Sánchez, María-Teresa; Pérez-Marín, Dolores; Flores-Rojas, Katherine; Guerrero, José-Emilio; Garrido-Varo, Ana (2009): Use of near-infrared reflectance spectroscopy for shelf-life discrimination of green asparagus stored in a cool room under controlled atmosphere. In: *Talanta* 78 (2), S. 530–536. DOI: 10.1016/j.talanta.2008.12.004.

Schmilovitch, Ze'ev; Mizrach, Amos; Hoffman, Aharon; Egozi, Haim; Fuchs, Yoram (2000): Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. In: *Postharvest Biology and Technology* 19, S. 245–252.

Spectral Engines (2020): Food Scanner. The world's smartest, fastest and easiest way to measure food content. Online verfügbar unter <https://www.spectralengines.com/products/nirone-scanner/foodscanner>.

Sunforest (2020): Portable Nondestructive Fruit Quality Meter. Online verfügbar unter [http://sunforest.kr/index.php?sm\\_idx=eng](http://sunforest.kr/index.php?sm_idx=eng).

Tellspec (2020): Empowering a Healthier World. with Real-Time Analysis Using Portable Low-Cost Sensors. Online verfügbar unter <https://tellspec.com/>.

## **6 Anhang**

Die nachfolgend aufgeführten Anlagen werden als gesonderte Dokumente als Ergänzung zum Abschlussbericht zur Verfügung gestellt.

### **Fachpublikationen (veröffentlicht)**

Goisser, S.; Wittmann, S.; Fernandes, M.; Mempel, H.; Ulrichs, C. (2020): Comparison of colorimeter and different portable food-scanners for non-destructive prediction of lycopene content in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 167 (111232), S.1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111232>

### **Fachpublikationen (eingereicht und Accepted)**

Goisser, S.; Fernandes, M.; Wittmann, S.; Ulrichs, C.; Mempel, H. (2020): Evaluating the practicability of commercial food-scanners for non-destructive quality assessment of tomato fruit. *Journal of Applied Botany and Food Quality*

### **Fachpublikationen (eingereicht)**

Goisser, S.; Wittmann, S.; Mempel, H. (2020): Food-scanner applications in the fruit and vegetable sector. *Landtechnik*

### **Vorträge**

Goisser, S. (2019): Der Einsatz von Food-Scannern zu zerstörungsfreien Qualitätsmessung. Vortrag bei einer Weiterbildung für Erwerbsgärtner zum Thema "Neueste Entwicklungen im Unterglas-Gemüsebau" am 20.11.2019 an der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Bamberg.

Goisser, S.; Mempel, H. (2019): Mobile Nahinfrarottechnik im Post-Harvest-Management. Vortrag im Forum "Auf einer Wellenlänge" des Forschungsprojekts "Food-Scanner" am 26.10.2019 in Freising.

### **Info-Material**

Video-Tutorials zur selbstständigen Modellerstellung mittels Food-Scanner

### **Information über weitere Aktivitäten**

Posterbeitrag zum Besuch einer thailändischen Delegation an der HSWT 2020

Podcast-Beitrag: Befootec - Podcast der Lebensmittelindustrie (derzeit in Arbeit)

Kurzbeitrag im Imagefilm zur 50-Jahrfeier der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Veröffentlichung voraussichtlich im Jahr 2021)

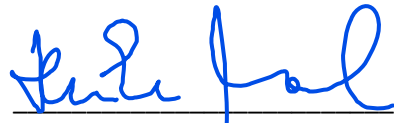
Voraussichtlich ab Februar 2021 Integration der HSWT in das Projekt Freshanalytics (<https://www.freshanalytics.eu/>) für das Themenfeld Obst und Gemüse



## Erklärung zur Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Im Laufe des Projekts wurden alle geplanten Teilziele entsprechend dem veranschlagten Zeitplan bearbeitet. Darüber hinaus konnten weitere Themengebiete und Fragestellungen bearbeitet werden, welche über den ursprünglichen Umfang des Forschungsprojektes hinausreichten. Die im Projektantrag veranschlagten Ausgaben wurden eingehalten.

Freising, den 21.10.2020



---

Prof. Dr. Heike Mempel