

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

„Einsatz von NIR-Food Scannern zur Bestimmung und Optimierung relevanter Qualitätsparameter von Avocado und Mango“

QS-Wissenschaftsfond Obst, Gemüse, Kartoffeln



**QS. Ihr Prüfsystem
für Lebensmittel.**

Beteiligte Personen (HSWT):

Prof. Dr. Heike Mempel
M. Sc. Sabine Wittmann
B. Sc. Simon Gürbüz

Datum:

30.09.2022

1 Inhaltsverzeichnis

2	Abbildungsverzeichnis	4
3	Tabellenverzeichnis	8
4	Einleitung und Zielsetzung	9
5	Projektablauf	11
5.1	Datenerfassung der Qualitäts- und Reifeparameter	11
5.2	Datenerfassung relevanter Parameter.....	11
5.2.1	Erhebung der NIR-Spektren und Referenzparameter an Versuchstagen 14	
5.2.2	NIR-Modellierung.....	18
5.3	Entwicklung von Grenzwerten mit Optimalbereichen für relevante Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos.....	19
6	Ergebnisse	21
6.1	Qualitäts- und Reifeparameter - Daten aus Literatur und Praxis	21
6.1.1	Trockenmasse (Avocado und Mango)	21
6.1.2	Fruchtfleischfestigkeit (Avocado und Mango)	22
6.1.3	Fruchtfleischfarbe (Mango)	23
6.1.4	°Brix (Mango).....	23
6.1.5	Fruchtschalenfarbe (Avocado).....	24
6.2	Ergebnisse der NIR-Vorhersagemodelle zur Schätzung der Qualitäts- und Reifeparameter der Früchte	24
6.2.1	NIR-Vorhersagemodelle für Avocado	24
6.2.2	NIR-Vorhersagemodelle für Mango	25
6.3	Entwicklung von Grenzwerten und Optimalbereichen der relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados u. Mangos.....	28
6.3.1	Reifeverläufe der Mango.....	28
6.3.2	Grenzwertmodelle Mango	29
6.3.3	Reifeverläufe der Avocado.....	33

6.3.4	Grenzwertmodelle Avocado.....	36
6.4	Handlungsempfehlungen für den Einsatz von NIR-Scannern zur Optimierung der Reifeparameter entlang der kontrollierten Reifung von Avocados und Mangos	42
6.4.1	NIR-Scanner zur Optimierung der gezielten Reifung mittels spezifischer Grenzwertmodelle.....	42
6.4.2	NIR-Scanner zur Wareneingangskontrolle von Avocados und Mangos	43
6.4.3	Verbesserung der Nacherntereifung sowie der Qualität von Mangos durch gezielte Reifung	45
6.4.4	Weiterführende Forschung und Entwicklung.....	48
7	Fazit und Ausblick.....	52
8	Abschlussarbeiten und Verwertung.....	54
9	Vorläufiger Kostennachweis	55
10	Literaturverzeichnis	56

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete des vom QS-Wissenschaftsfond geförderten Projektes „Einsatz von NIR-Food Scannern zur Bestimmung und Optimierung relevanter Qualitätsparameter von Avocado und Mango“	10
Abbildung 2: Erste Vorgehensweise zur Identifikation der relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos.....	11
Abbildung 3: Schema der durchgeführten Lagertests.....	12
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Versuchsreihen entlang der kontrollierten Reifung mit repräsentativen Probennahmen.....	13
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Avocadoproben und dessen Untersuchungsparameter und –orte.....	15
Abbildung 6 Schematischer Versuchsablauf mit Avocados.....	15
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Mangoproben und dessen Untersuchungsparameter und –orte.....	16
Abbildung 8: Schematischer Versuchsablauf mit Mangos.....	17
Abbildung 9: Schematische Darstellung der kooperativen Entwicklung von Optimalbereichen	20
Abbildung 10: Steuerung der Mangodistribution mittels des Reifeparameters Fruchtfleischfestigkeit (Eigene Darstellung nach National Mango Board (2021a)	22
Abbildung 11: Veränderung der Fruchtfleischfarbe von Mangos der Sorte Kent entlang der Reifung (National Mango Board 2021b)	23
Abbildung 12:Veränderung der Fruchtschalenfarbe entlang der Nacherntereifung von Avocados der Sorte Hass (Arzate-Vázquez et al. 2011).....	24
Abbildung 13: Verläufe der relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter von Mangos der Sorte Kent, die mittels der Versuchsreihen während der Nachreifung in der Reifekammer beim Projektpartner vanWylick untersucht wurden. Dargestellt sind die Parameter (A) L*, (B) Fruchtfleischfestigkeit [kg], (C) °Brix und (D) Trockenmasse [%]	28
Abbildung 14: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit [kg] von Mangos für den europäischen Großhandel. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung.....	30

Abbildung 15: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfarbe (L^*) von Mangos für den europäischen Großhandel der Sorte Kent aus Peru. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung.....	31
Abbildung 16: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfarbe (L^*) von Mangos für den europäischen Großhandel der Sorte Kent aus der Elfenbeinküste. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung	32
Abbildung 17: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter °Brix von Mangos für den europäischen Großhandel der Sorte Kent. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung.....	33
Abbildung 18: Verläufe der Qualitäts- und Reifeparameter (A) L^* , (B) a^* , (C) b^* , (D) C^* und (E) h° der Fruchtschale von Avocados der Sorte Hass während der Nachreifung bei Raumtemperatur an der HSWT untersucht wurden	34
Abbildung 19: Leicht überreife Avocado von außen (Schale) am siebten Versuchstag	35
Abbildung 20: Überreife Avocado von innen (Fruchtfleisch) (links). Überreife Avocado von außen (Schale) (rechts) am zwölften Versuchstag	35
Abbildung 21: Verläufe der Qualitäts- und Reifeparameter (A) Trockenmasse [%] und (B) Fruchtfleischfestigkeit [kg] von Avocados der Sorte Hass die mittels Lagertests während der Nachreifung bei Raumtemperatur an der HSWT untersucht wurden.....	36
Abbildung 22: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung.....	37
Abbildung 23: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (L^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung.....	38

Abbildung 24: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (a^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung.....	39
Abbildung 25: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (b^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung.....	40
Abbildung 26: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (C^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung.....	41
Abbildung 27: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (h°) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung.....	42
Abbildung 28: Möglicher Arbeitsablauf einer zerstörungsfreien Wareneingangskontrolle von Avocados mittels dem Parameter Trockenmasse (TM) [%].....	43
Abbildung 29: Beispielhafte Darstellung eines Lieferantenvergleichs mit drei Lieferanten hinsichtlich der Trockenmasse [%] zu Wareneingang. Die rote Linie stellt die Mindesttrockenmasse nach Gonzalez-Moscorso (2014) dar, die Mangos der Sorte Kent aus Peru aufweisen sollten.....	45
Abbildung 30: Vergleich zweier Reifemethoden (Reifung mit Reifekammer und ohne Reifekammer) von Mangos der Sorte Kent aus Peru.	46
Abbildung 31: Vergleich des Fruchtfleischfestigkeitsverlaufes über fünf Tage zwischen mittels Reifekammer ((A), (B) und (C)) und bei Raumtemperatur ((D), (E) und (F)) nachgereiften Mangos. Die Mangos wurden an den Tagen 0, 3 und 5 hinsichtlich der Fruchtfleischfestigkeit analysiert.....	47
Abbildung 32: Regressionsanalyse zwischen der vorherzusagenden Variabel Fruchtfleischfestigkeit und der Variabel Temperatursumme. Die Regressionsanalyse beruht auf den Datensätzen der Versuchsreihe 4 mit Mangos der Sorte Kent aus der Elfenbeinküste	49

Abbildung 33: Darstellung der Vorteile eines (C) Reifeindexes (RPI) zur Beurteilung der Reife von Mangos gegenüber der einzelnen Betrachtung von Parametern wie (A) Fruchtfleischfestigkeit und (B) °Brix..... 51

3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Durchgeführte Versuche mit Avocados und Mangos	12
Tabelle 2: Randparameter der mit Mangos durchgeführten Versuchsreihen.....	14
Tabelle 3: Kennzahlen zur Interpretation der Vorhersagemodelle	18
Tabelle 4: Darstellung der verschiedenen in diesem Projekt entwickelten NIR- Vorhersagemodelle	19
Tabelle 5: Für Reife- und Großhandelszentren relevante Qualitäts- und Reifeparameter von Avocado und Mango	21
Tabelle 6: Bedeutung der Trockenmasse für die Nacherntequalität	22
Tabelle 7: NIR-Vorhersagemodelle für Avocados der Sorte Hass aus dem Ursprung Israel. Die NIR-Spektren wurden durch die Fruchtschale hindurch aufgenommen (n = 150 Avocados)	25
Tabelle 8: NIR-Universalmodelle für Mangos der Sorte Kent. Die NIR-Spektren wurden durch die Schale hindurch, ohne Zerstörung der Frucht, aufgenommen (n = 697 Mangos).....	26
Tabelle 9: NIR-Perumodelle für Mangos der Sorte Kent. Die NIR-Spektren wurden durch die Schale hindurch, ohne Zerstörung der Frucht, aufgenommen (n = 517 Mangos).....	26
Tabelle 10: NIR-Elfenbeinküstemodelle I für Mangos der Sorte Kent. Die NIR- Spektren wurden durch die Schale hindurch, ohne Zerstörung der Frucht, aufgenommen (n =180 Mangos).....	27
Tabelle 11: NIR-Elfenbeinküstemodelle II für Mangos der Sorte Kent. Die NIR- Spektren wurden auf dem Fruchtfleisch nach dem Entfernen der Schale aufgenommen (n = 180 Mangos).....	27
Tabelle 12: Mindesttrockenmassenanteil für Exportmangos verschiedenster Sorte sowie Ursprungs (Gonzalez-Moscorso 2014).....	44

4 Einleitung und Zielsetzung

Der Großteil, der nach Europa importierten Avocados und Mangos kommt aus Südamerika und Afrika. Kommerzieller Weise werden diese im Ursprungsland im physiologisch reifen Zustand geerntet und erst am Bestimmungsort, beim Importeur oder Nachreifeunternehmen, zur gewünschten Reife in speziellen Reifekammern nachgereift (Saranwong et al. 2004). In Europa gibt es jedoch zum heutigen Stand keine einheitlichen Qualitätsstandards, die sich auf die relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Mangos oder Avocados beziehen und an denen sich Importeure und Nachreifeunternehmen orientieren könnten (UNECE 2017, 2009). Dies erschwert eine systematische Nachreifung. Eine weitere Erschwernis ist, dass der Reifegrad von z.B. Mangos bzw. die Qualität von Avocados nicht von der äußeren Erscheinung abgeleitet werden kann. Daher müssen geschulte Qualitätskontrolleure die Reife und Qualität beim Wareneingang sowie entlang der kontrollierten Reifung, an zahlreichen Früchten mittels destruktiver Analysemethoden ressourcenintensiv ermitteln (Mishra et al. 2020).

In enger Kooperation zwischen dem Praxisbetrieb **Fruchtimport vanWylick GmbH** (im Folgenden vanWylick) und der **Hochschule Weihenstephan-Triesdorf** (im Folgenden HSWT) wurde in diesem vom QS-Wissenschaftsfond geförderten Projekt der Einsatz von Nahinfrarotspektrometern zur zerstörungsfreien Bestimmung der Qualität und Reife der Früchte praxisnah erforscht. Dabei wurden die relevanten Qualitäts- und Reifeparameter sowie die Nahinfrarotspektren von Mangos direkt beim Fruchtimporteur im Großhandelslager in 82140 Olching entlang der kontrollierten Reifung erfasst und bewertet. VanWylick verfügt über eine hochmoderne Ausstattung an Nachreife-technik für exotische Früchte sowie jahrelanges Know How auf diesem Gebiet, was von der HSWT für dieses Projekt genutzt und in die Erkenntnisse integriert wurde.

Das übergeordnete Projektziel bestand darin, NIR-Modelle zur zerstörungsfreien Messung von Qualitätsparametern für Avocados und Mangos zu entwickeln. Außerdem sollte die Reifung der Früchte dahingehen erforscht werden, dass die Reifeentwicklung von Avocados und Mangos vorhergesagt werden kann. Daraus leiteten sich drei Unterziele ab. Zunächst sollten im ersten Unterziel die relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos evaluiert und während der Reife, bzw. der Lagerung erfasst werden. Parallel dazu sollten die NIR-Spektren der Früchte analysiert

werden, um diese mit den Referenzparametern zu korrelieren. Daraus sollten die NIR-Vorhersagemodelle entwickelt werden. Ein weiteres Unterziel bestand darin, aus den Reifeverläufen entlang der gezielten Reifung typische Reifestadien mit dazugehörigen Grenzwerten zu entwickeln. Im letzten Unterziel sollten spezifische Handlungsempfehlungen für den Einsatz der verwendeten Foodscanner herausgearbeitet werden. Dabei sollte insbesondere die Auswirkung der gezielten Reifung auf das Shelflife bzw. Reifeverhalten der Früchte herausgearbeitet werden. Eine schematische Darstellung der drei Unterziele ist in der folgenden Abbildung dargestellt

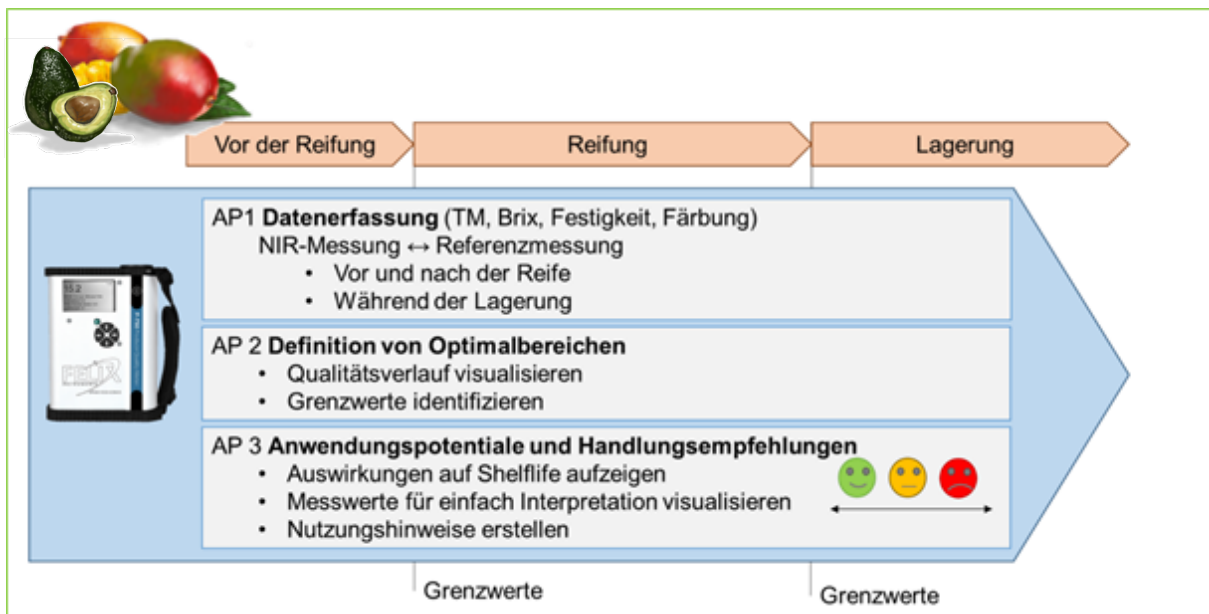


Abbildung 1: Arbeitspakete des vom QS-Wissenschaftsfond geförderten Projektes „Einsatz von NIR-Food Scannern zur Bestimmung und Optimierung relevanter Qualitätsparameter von Avocado und Mango“

5 Projekttablauf

5.1 Datenerfassung der Qualitäts- und Reifeparameter

Zu Beginn des Projektes wurden mittels Literaturrecherchen umfassende Informationen über die relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos ermittelt. Außerdem wurde dabei das typische Reifeverhalten dieser Früchte erforscht.

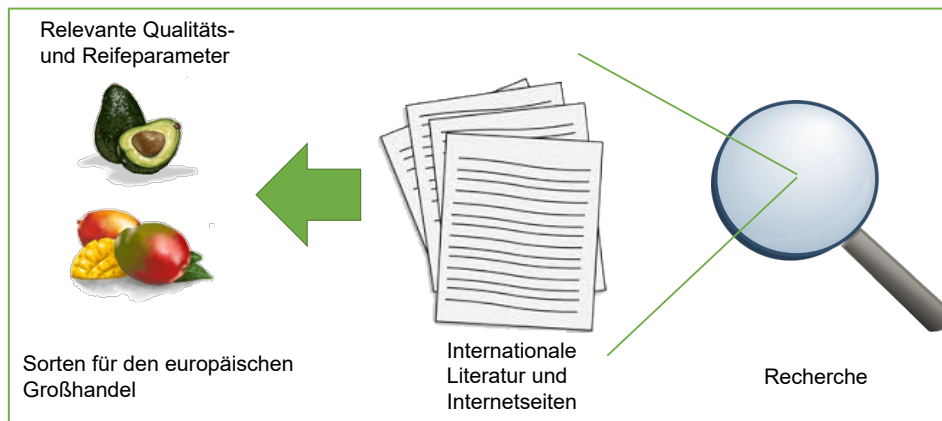


Abbildung 2: Erste Vorgehensweise zur Identifikation der relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos

Neben den Literaturrecherchen zu Beginn des Projektes wurde außerdem ein Informationsaustausch zwischen den im Projekt beteiligten Wissenschaftlern der HSWT und der Unternehmensleitung sowie den Experten für Reifung und Produktqualität des Projektpartners vanWylick durchgeführt. Hierbei wurden Kundenanforderungen des Handels sowie bereits bekannte Kennzahlen zur Überwachung/Bewertung der Qualität und Reife ausgetauscht.

5.2 Datenerfassung relevanter Parameter

Mit Hilfe der durchgeführten Literaturrecherchen sowie mittels des von vanWylick bereitgestellten, fachspezifischen Wissens wurden die relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter (auch Referenzparameter) von Avocados und Mangos evaluiert (vgl. dafür Tabelle 1: Untersuchte Parameter).

Tabelle 1 Durchgeführte Versuche mit Avocados und Mangos

Frucht	Durchgeführte Versuchsart	Untersuchte Parameter	Anzahl Früchte
Mango	4 x Lagertests	NIR, °Brix, Fruchtfleischfestigkeit, -farbe,	273
	5 x Versuchsreihe	Trockenmasse	420
Avocado	2 x Lagertests	NIR, Fruchtschalenfarbe, -fleischfarbe, Trockenmasse	150

Die Referenzparameter sowie die NIR-Spektren der Früchte wurden sowohl während der Lagerung bei Raumtemperatur (siehe dafür Abbildung 3) als auch während der gezielten Reifung in Reifekammern untersucht (siehe dafür Abbildung 4).

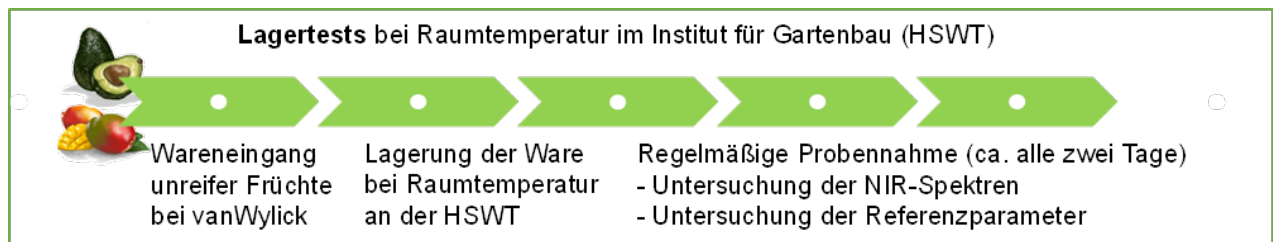


Abbildung 3: Schema der durchgeführten Lagertests

Die in diesem Projekt durchgeführten Versuche sind schematisch in der nachstehenden Tabelle aufgelistet. Der Untersuchungsschwerpunkt lag bei der Untersuchung der Mango (693 Früchte).

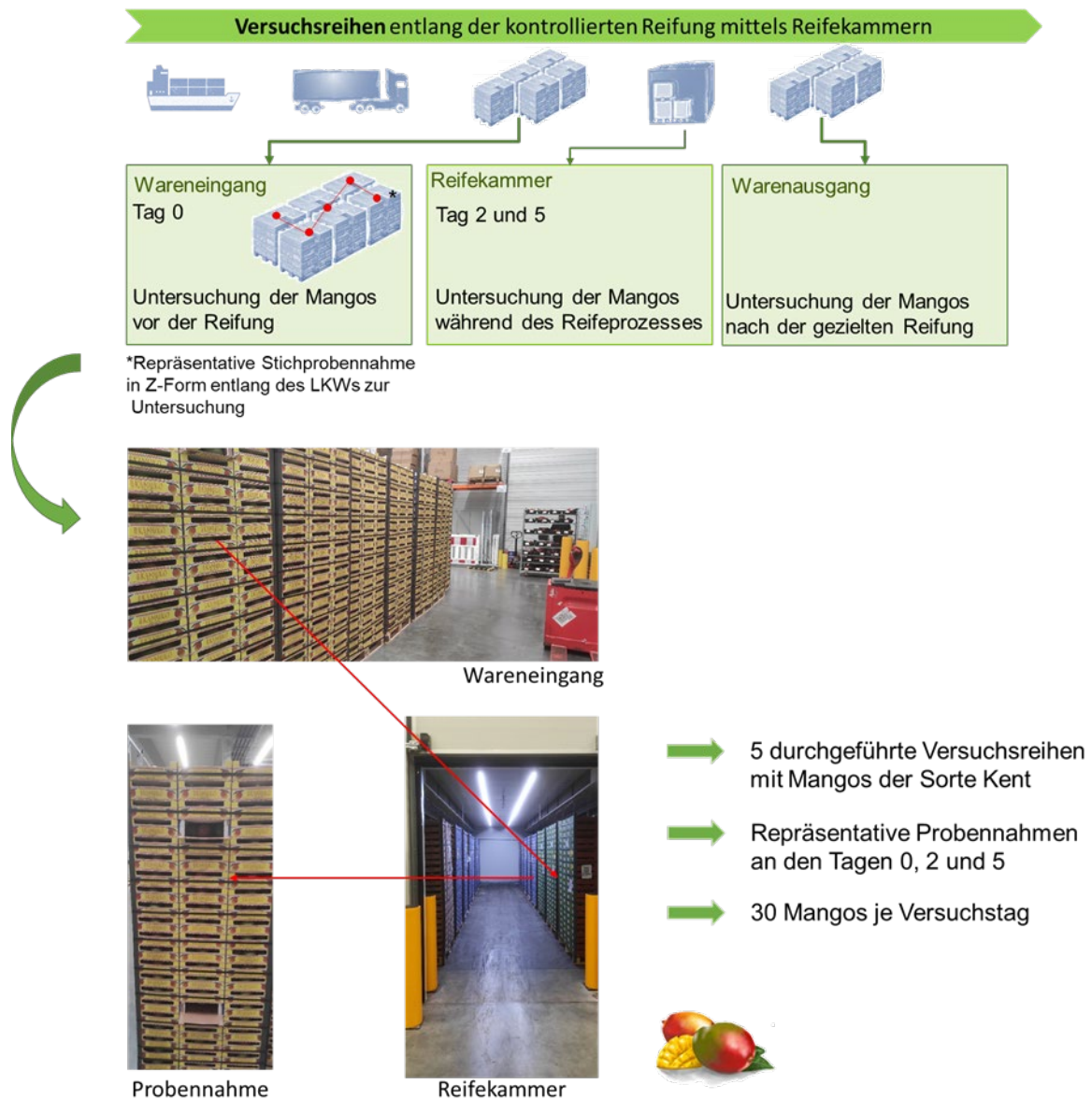


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Versuchsreihen entlang der kontrollierten Reifung mit repräsentativen Probennahmen

Die Reifeparameter der fünf durchgeführten Versuchsreihen mit Mangos sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2: Reifeparameter der mit Mangos durchgeführten Versuchsreihen

Versuchs- bezeichnung	Sorte / Ursprung	Reifeprotokoll	Anzahl Mangos
Versuchsreihe 1	Kent / Peru	48 h bei 23 °C, 72 h bei 10 °C mit 500 ppm Ethylen	90
Versuchsreihe 2	Kent / Peru	24 h bei 10 °C, 96 h bei 23 °C ohne Ethylen	60
Versuchsreihe 3	Kent / Peru	48 h bei 23 °C, 72 h bei 22 °C mit 500 ppm Ethylen	90
Versuchsreihe 4	Kent / Elfenbeinküste	96 h bei 24 °C, 48 h bei 10 °C ohne Ethylen	90
Versuchsreihe 5	Kent / Elfenbeinküste	48 h bei 22 °C, 72 h bei 10 °C ohne Ethylen	90

5.2.1 Erhebung der NIR-Spektren und Referenzparameter an Versuchstagen

Avocado

Die NIR-Spektren und Referenzparameter bei den Avocados wurden jeweils punktuell an zwei gegenüberliegenden Seiten (1 und 2) untersucht. An diesen Punkten wurden sämtliche Parameter (Fruchtschalen- und -fleischfarbe, Fruchtfleischfestigkeit und Trockenmasse) analysiert (Abbildung 5). Jeder der Parameter wurde dementsprechend, je Avocado, zwei Mal analysiert. Die NIR-Spektren wurden dabei durch die Schale hindurch aufgenommen, ohne die Frucht zu beschädigen.

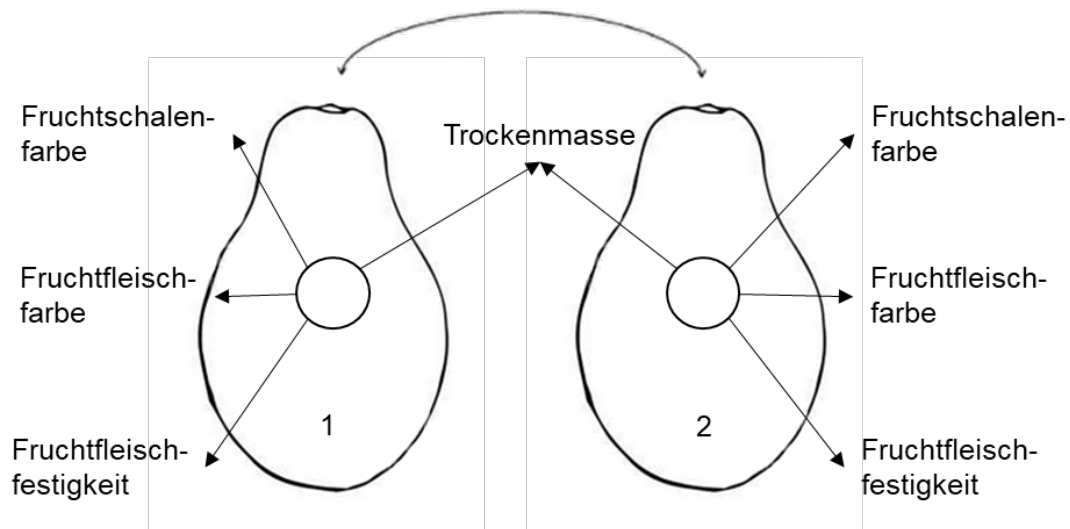


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Avocadoprobe und deren Untersuchungsparameter und -orte

Eine schematische Darstellung der Probennahme mit Avocados wird in der folgenden Abbildung aufgezeigt.

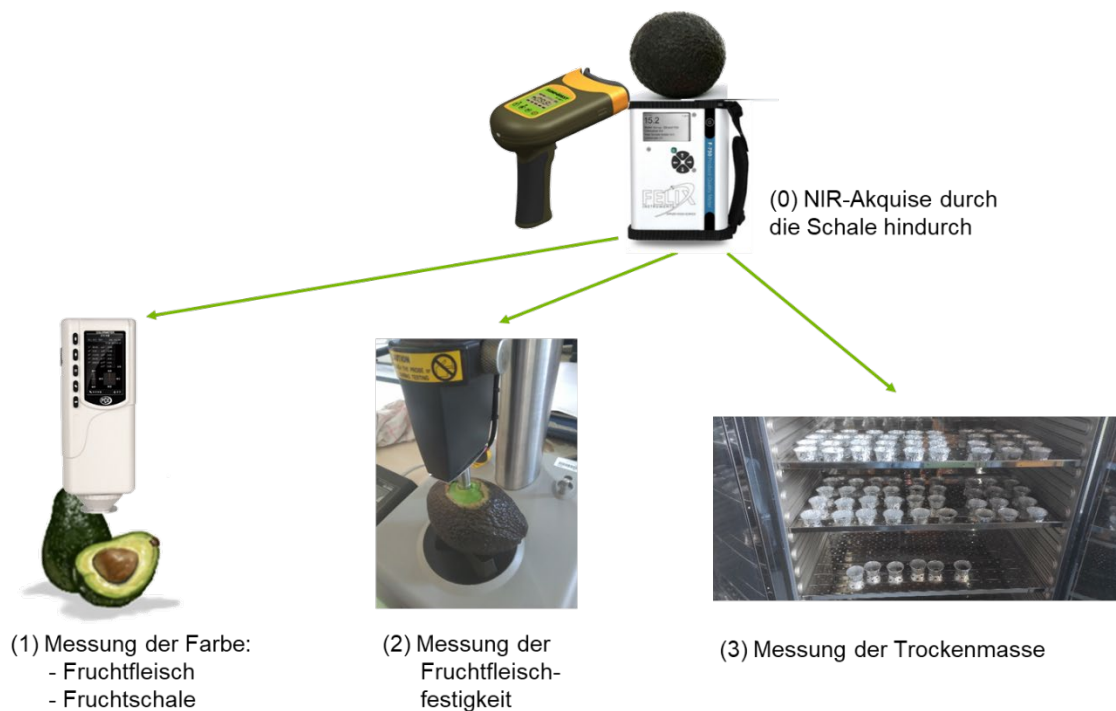


Abbildung 6: Schematischer Versuchsablauf mit Avocados

Mango

Jede Mango wurde an beiden Backenseiten (1 und 2), jeweils an zwei Punkten (A und B), separat untersucht. Die Referenzparameter °Brix, Fruchtfleischfestigkeit und

Fruchtfleischfarbe wurden jeweils an den A-Punkten und die Parameter Fruchtfleischfarbe und Trockenmasse jeweils an den B-Punkten beider Seiten der Mango untersucht (Abbildung 7). Somit wurden je Mango zwei Mal °Brix, Fruchtfleischfestigkeit und Trockenmasse sowie vier Mal die Fruchtfleischfarbe ermittelt. Die NIR-Spektren wurden zum Teil durch die Schale hindurch und zum Teil auch nach dem Entfernen der Schale aufgenommen.

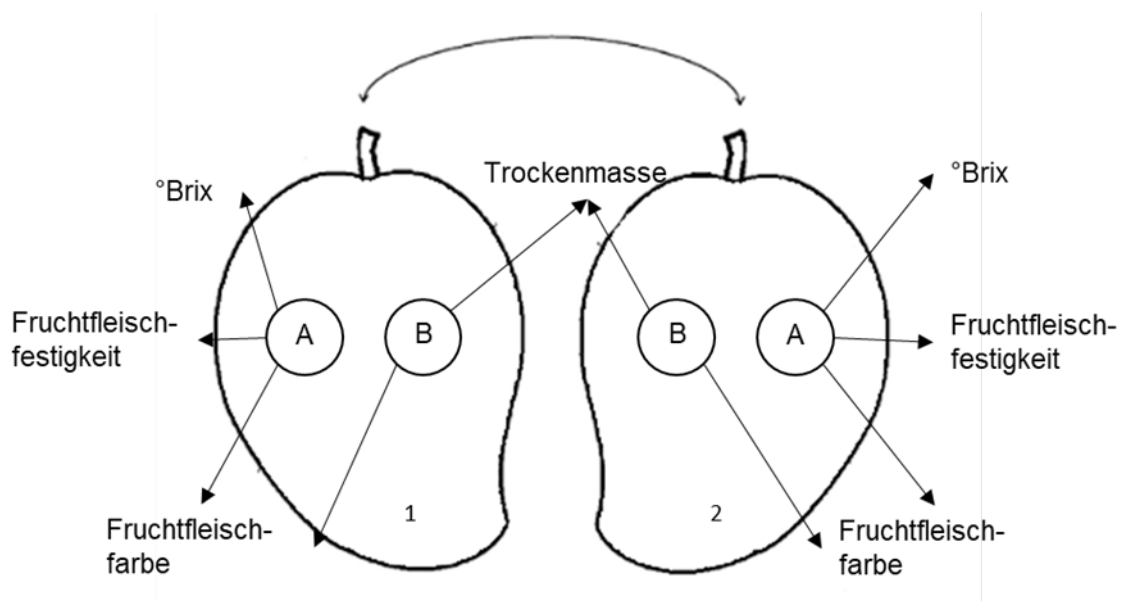


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Mangoproben und deren Untersuchungsparameter und -orte

Eine schematische Darstellung der Probennahme mit Mangos ist in der folgenden Abbildung aufgezeigt.

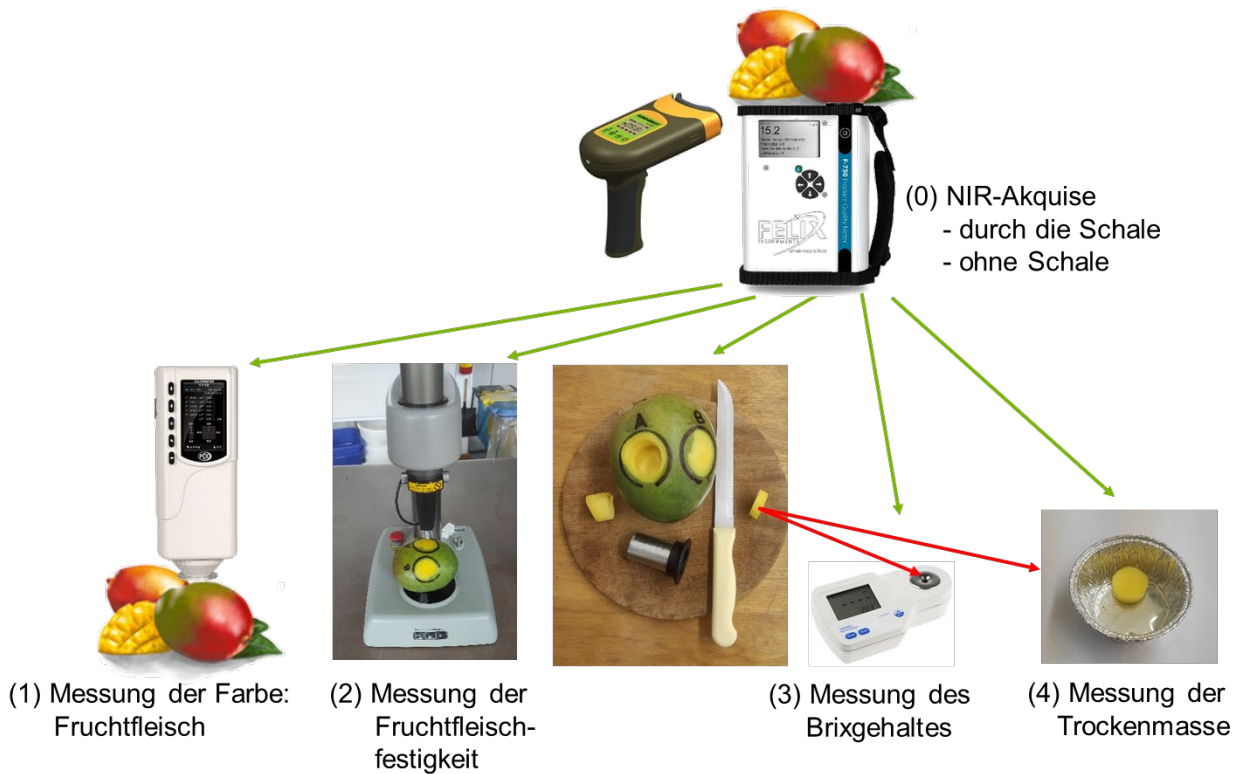


Abbildung 8: Schematischer Versuchsablauf mit Mangos

Verwendete Messgeräte

Die NIR-Spektren wurden mittels zwei verschiedener portabler NIR-Spektrometer untersucht. Zum einen wurde das F-750 Produce Quality Meter, Felix Instrumentts Inc., USA, und zum anderen das H-100F, SUNFOREST Co., Ltd, KOR, verwendet. Zur Ermittlung des °Brixgehaltes wurde das digitale Refraktometer HI 96801, Hanna Instruments Deutschland GmbH, Vöhringen, DEU, verwendet. Die Fruchtfleischfestigkeit wurde mittels des Fruchtpenetrometers GS-15, Guess Manufacturing (Pty) Ltd., Strand, ZAF, ermittelt. Mit dem Colorimeter PCE-CSM 2, PCE Instruments UK Ltd, Southampton, UK, wurde die Farbe der Früchte untersucht. Die Analyse der Trockenmasse wurde über den Gewichtsverlust durch Trocknung ermittelt. Dafür wurden Fruchtfleischproben gewogen, getrocknet (105 °C, 24 h) und erneut gewogen. Zum Abwiegen wurde die Präzisionswaage KB 3600-2N, Kern & Sohn GmbH, Balingen, DEU, verwendet.

5.2.2 NIR-Modellierung

Um Vorhersagemodelle für die Früchte und deren Referenzparameter zu entwickeln, wurden die untersuchten NIR-Spektren und Referenzwerte mittels chemometrischer Methoden (Partielle Kleinstquadratschätzung) korreliert. Dafür wurde das Statistikprogramm Minitab® verwendet. Zur Interpretation der Vorhersagemodelle sind zwei statistische Kennzahlen notwendig. Das Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung (**R² CV**) sowie die Standardabweichung der Fehler der Kreuzvalidierung (**RMSECV**).

Tabelle 3: Kennzahlen zur Interpretation der Vorhersagemodelle

Kennzahl	Interpretation
R² CV	Gibt an, mit welcher Güte (0 – 100 %) sich das entwickelte Modell auf einen externen Datensatz übertragen lässt
RMSECV	Gibt an, mit welcher Streuung das jeweilige Modell, Parameter in einen externen Datensatz vorhersagen kann

Zur Bewertung der Güte von NIR-Vorhersagemodellen werden hier lediglich die Ergebnisse der Kreuzvalidierung (*eng.: Crossvalidation* (CV)) herangezogen, da diese Werte einen externen Datensatz simulieren (hier: Avocado- und Mangoprobe, die nicht für die Entwicklung der Modelle herangezogen wurden). Dies hat für die Anwendung in der Praxis einen weitaus höheren Stellenwert, als die Ergebnisse der reinen Korrelation ohne Validierung. Zur Beurteilung der Güte gibt es in der Literatur keine definierten Vorgaben, weswegen für dieses Projekt NIR-Vorhersagemodelle mit einem R² CV ab 0,70 als „gut für eine Vorhersage geeignet“ betrachtet wurden.

In diesem Projekt wurden verschiedene NIR-Vorhersagemodelle für Avocados und Mangos entwickelt. Generell wurden für jeden hier untersuchten Parameter jeweils mindestens ein NIR-Vorhersagemodell entwickelt. Eine Übersicht über die verschiedenen hier entwickelten NIR-Modelle ist in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 4: Darstellung der verschiedenen in diesem Projekt entwickelten NIR-Vorhersagemodelle

Frucht	Modellbezeichnung	Referenzparameter	Besonderheiten
Avocado	Hass-Vorhersagemodelle	Fruchtfleischfarbe, Fruchtschalenfarbe, Trockenmasse [%]	NIR-Spektren wurden durch die Schale aufgenommen
Mango	Kent-Universalmodelle	°Brix, Fruchtfleischfarbe, Fruchtfleischfestigkeit, Trockenmasse [%]	NIR-Spektren wurden durch die Schale aufgenommen, Modell enthält sämtliche erhobenen Daten
	Perumodelle		NIR-Spektren wurden durch die Schale aufgenommen, Modell enthält nur Datensätze von Kent Mangos aus Peru
	Elfenbeinküstemodelle I		NIR-Spektren wurden durch die Schale aufgenommen, Modell enthält nur Datensätze von Kent Mangos aus Elfenbeinküste
	Elfenbeinküstemodelle II		NIR-Spektren wurden nach Entfernung der Schale aufgenommen, Modell enthält nur Datensätze von Kent Mangos aus Elfenbeinküste

5.3 Entwicklung von Grenzwerten mit Optimalbereichen für relevante Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos

Nach der Entwicklung der NIR-Vorhersagemodelle wurde ein weiterer Informationsaustausch mit dem Praxisbetrieb durchgeführt. Hierbei wurde eine Bewertung und Einordnung der Ergebnisse durchgeführt. Außerdem wurden darauf aufbauend, für die relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter, erste Modelle zu Reifestadien/Optimalbereichen mit dazugehörigen Grenzwerten entwickelt.

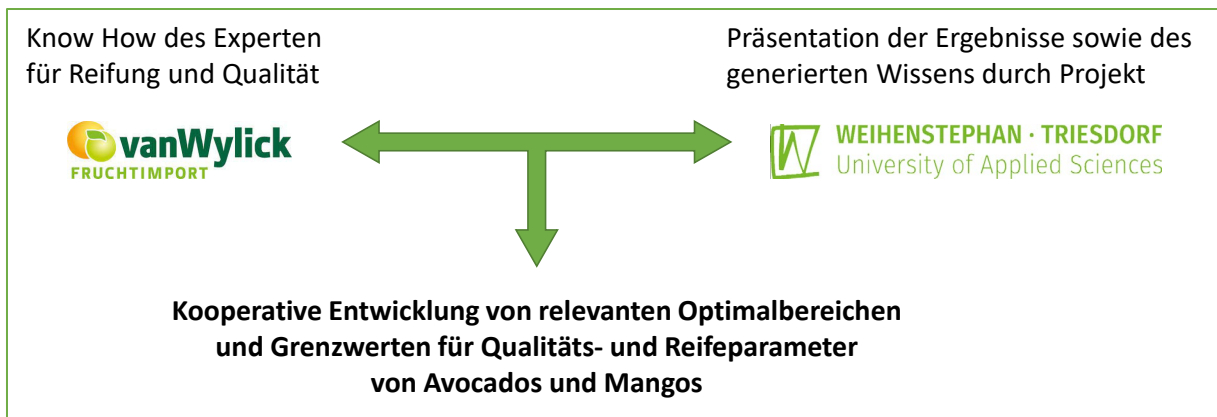


Abbildung 9: Schematische Darstellung der kooperativen Entwicklung von Optimalbereichen

6 Ergebnisse

6.1 Qualitäts- und Reifeparameter - Daten aus Literatur und Praxis

Für die optimale Beschreibung der Reife von Avocados und Mangos wurden umfangreiche Literaturrecherchen sowie ein Informationsaustausch zwischen den Projektpartnern durchgeführt. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die dabei identifizierten relevanten Parameter. Für diese Parameter sollten im Idealfall NIR-Modelle zur zerstörungsfreien Vorhersage entwickelt werden.

Tabelle 5: Für Reife- und Großhandelszentren relevante Qualitäts- und Reifeparameter von Avocado und Mango

Quelle/Frucht	Avocado	Mango
Literaturrecherche und Informationsaustausch	<u>Vor der Fruchtreifung:</u> Trockenmasse	<u>Vor der Fruchtreifung:</u> Trockenmasse
	<u>Während der Reifung:</u> Fruchtfleischfestigkeit, Fruchtschalenfarbe	<u>Während der Reifung:</u> °Brix Fruchtfleischfarbe Fruchtfleischfestigkeit

Nachfolgend werden die dargestellten Parameter von Avocados und Mangos und dessen Bedeutung hinsichtlich der Qualität sowie Reife beschrieben.

6.1.1 Trockenmasse (Avocado und Mango)

Die Trockenmasse ist sowohl bei der Avocado als auch bei der Mango, insbesondere während der Reifung am Baum und dementsprechend auch für die Nacherntezeit, ein entscheidendes Qualitätsmerkmal. Nach der Ernte findet stoffwechselbedingt, keine Änderung der Trockenmasse mehr statt. Die folgende Tabelle zeigt, welche Bedeutung die Trockenmasse für die Früchte hat sowie, falls vorhanden, die dabei einzuhaltenen Regularien für den Handel.

Tabelle 6: Bedeutung der Trockenmasse für die Nacherntequalität

Frucht	Bedeutung für die Qualität in der Nacherntereifung	Vorgabe für den Handel
Avocado	Hohe Gehalt an Trockenmasse führt zu hoher Qualität in der Nacherntereifung	Avocados der Sorte Hass: mind. 21 %
Mango	Hohe Gehalt an Trockenmasse führt zu hoher Ausprägung von Zucker in der Nacherntereifung	Keine gesetzlichen Vorgaben

6.1.2 Fruchtfleischfestigkeit (Avocado und Mango)

Die Fruchtfleischfestigkeit von Avocados und Mangos gehört zu den aussagekräftigsten Parametern zur Bestimmung der Frucht reife. Wenn die Früchte im physiologisch reifen Zustand geerntet werden, ist die Fruchtfleischfestigkeit hoch (> 15 kg). In der Nacherntephase kommt es mit zunehmender Reifung zu einer strukturellen, von biochemischen Mechanismen angetriebenen Abnahme der Festigkeit (Ahmed et al. 2010; Ibarra-Garza et al. 2015). Zum heutigen Stand gibt es keine Vorgaben einer minimalen bzw. maximalen Fruchtfleischfestigkeit, welche die Früchte bei der Vermarktung aufweisen sollten. Bezüglich der Mango aber, gaben Experten an, dass Nachreifezentren den Parameter Fruchtfleischfestigkeit unbedingt als Indikator für den Fortschritt der Reife heranziehen sollten (National Mango Board 2021a). Für die Auslieferung an den LEH, bzw. den Kunden wird eine Fruchtfleischfestigkeit von etwa 5 kg (8 mm Stempel) als ideal angegeben. Dann bleiben noch wenige Tage Zeit, bis die Mangos die optimale Genussreife erreichen, was einer Fruchtfleischfestigkeit von 2 kg entspricht (vgl. Abbildung 10). Vergleichbare Informationen bezüglich der Avocado waren in der Literatur nicht verfügbar.

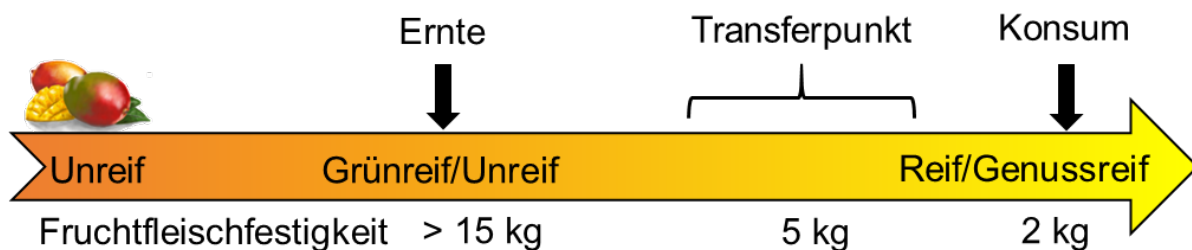


Abbildung 10: Steuerung der Mangodistribution mittels des Reifeparameters Fruchtfleischfestigkeit (Eigene Darstellung nach National Mango Board (2021a))

6.1.3 Fruchtfleischfarbe (Mango)

Das Fruchtfleisch ist bei der Mango ebenfalls ein guter Indikator für den Zustand der Reife. Nach der Ernte, im physiologisch reifen Zustand, ist das Fruchtfleisch der Mango weißlich und hell. Dieses wird im Laufe der Nacherntereife dunkler und wird, je nach Sorte, dunkel- bis goldgelb (National Mango Board 2021b). Dies lässt sich auch im CIE-Lab- sowie LCh-Farbraum darstellen. Hierbei steht der L^* -Wert für die Helligkeit, wobei 0 schwarz und 100 weiß bedeutet. Der Parameter a^* zeigt das Verhältnis von grün zu roter Farbe, wobei zunehmende Werte einen Anstieg der roten Pigmente bedeuten. Der b^* -Wert steht für das Verhältnis zwischen blau zu gelb. Hier bedeutet eine Zunahme des Wertes eine Steigerung der gelben Farbe. Der C^* -Wert ist eine Kombination aus a^* - und b^* -Wert und steht für die Buntheit, wobei 0 grau und 100 lebhafte Farben darstellen. Der Parameter h° steht für den Farbtonwinkel. 180° stehen für grün, 90° für gelb und 0° für rot (Padda et al. 2011). Für die Farbparameter gibt zum heutigen Stand weder für Avocados noch für Mangos klare Richtlinien oder Empfehlungen. Ein beispielhafter Reifeverlauf, bezogen auf die Fruchtfleischfarbe von Mangos der Sorte Kent ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

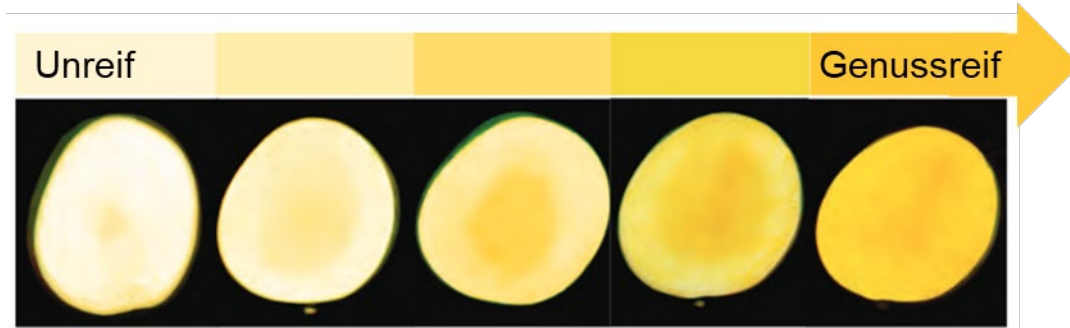


Abbildung 11: Veränderung der Fruchtfleischfarbe von Mangos der Sorte Kent entlang der Reifung (National Mango Board 2021b)

6.1.4 °Brix (Mango)

Während der Reifung kommt es im Fruchtfleisch von Mangos zu einem erheblichen Anstieg von löslichen Feststoffen (°Brix), welche sich überwiegend aus niedermolekularen Zuckern wie Saccharose, Glukose und Fruktose zusammensetzen (Yahia 2011). Das Ausmaß, in dem sich der Zuckergehalt ausbildet ist abhängig vom Trockenmassegehalt bzw. vom Anteil der Stärke, die beim Heranwachsen am Baum akkumuliert wurde. Für den °Brixwert konnten keine Standards oder Vorgaben gefunden werden,

in welcher Spanne sich dieser bei der Auslieferung befinden sollte. Laut Aussage des Kooperationspartners vanWylick bestehen seitens einiger Kunden aus dem LEH sortenspezifische °Brix-Vorgaben. Dies verdeutlicht, dass dieser Wert in der Praxis durchaus von Bedeutung ist.

6.1.5 Fruchtschalenfarbe (Avocado)

Die Schale von Hass-Avocados verfärbt sich während der Reifung von grün zu violett/schwarz. Dieser Farbwechsel ist sowohl für die Industrie als auch für den Endverbraucher ein wichtiger Indikator für den Reifegrad (Cox et al. 2004). Die Fruchtschalenfarbe lässt sich ebenfalls im CIE-Lab- sowie im LCh-Farbraum darstellen. Die Erläuterungen dazu wurden bereits weiter oben gegeben. Einen derartigen Farbverlauf entlang der Nacherntereifung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

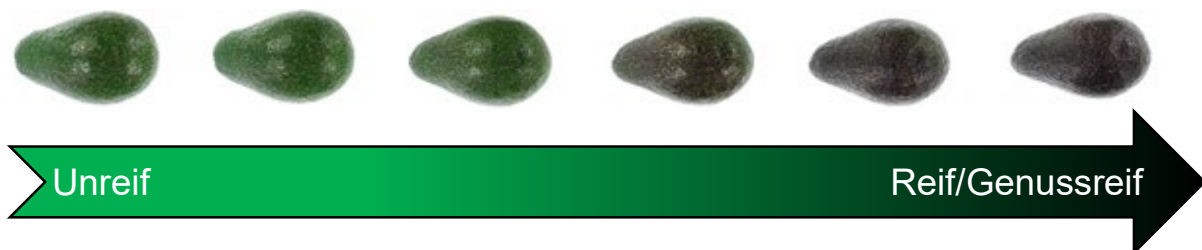


Abbildung 12: Veränderung der Fruchtschalenfarbe entlang der Nacherntereifung von Avocados der Sorte Hass (Arzate-Vázquez et al. 2011)

6.2 Ergebnisse der NIR-Vorhersagemodelle zur Schätzung der Qualitäts- und Reifeparameter der Früchte

6.2.1 NIR-Vorhersagemodelle für Avocado

Sämtliche Avocados stammten aus dem Ursprungsland Israel und waren von der Sorte Hass. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt. Für sämtliche Farbparameter (L^* , a^* , b^* , C^* und h°) konnten erfolgreich NIR-Vorhersagemodelle zur zerstörungsfreien Schätzung der Fruchtschalenfarbe mittels NIR-Scannern, entwickelt werden. Außerdem ist es gelungen für den Qualitäts- und Reifeparameter Trockenmasse [%] ein robustes NIR-Vorhersagemodell zur zerstörungsfreien Schätzung dieses Parameters zu entwickeln.

Tabelle 7: NIR-Vorhersagemodelle für Avocados der Sorte Hass aus dem Ursprung Israel. Die NIR-Spektren wurden durch die Fruchtschale hindurch aufgenommen (n = 150 Avocados)

Parameter	N _{Spektren}	R ² CV	RMSECV
Fruchtfleischfarbe L*	150	0,42	3,11
Fruchtfleischfarbe (a*)	150	0,24	1,93
Fruchtfleischfarbe (b*)	150	0,20	2,73
Fruchtfleischfarbe (C*)	150	0,23	2,94
Fruchtfleischfarbe (h°)	150	0,15	2,18
Fruchtschalenfarbe (L*)	300	0,74	2,19
Fruchtschalenfarbe (a*)	300	0,69	2,34
Fruchtschalenfarbe (b*)	300	0,77	2,97
Fruchtschalenfarbe (C*)	300	0,74	3,20
Fruchtschalenfarbe (h°)	300	0,76	12,52
Fruchtfleischfestigkeit [kg]	268	0,53	0,85
Trockenmasse [%]	300	0,77	1,87

In grüner Schrift: Werte mit Korrelation > 0,7

6.2.2 NIR-Vorhersagemodelle für Mango

Die Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der NIR-Vorhersagemodelle, welche mittels der Datensätze aller in diesem Projekt untersuchten Mangos entwickelt wurden (Universalmodelle). Bei den Universalmodellen wurden für die Referenzparameter Fruchtfleischfarbe (L*) und Trockenmasse [%] Modelle mit einer ausreichend hohen Güte entwickelt, sodass diese Parameter mittels NIR-Scanner, durch die Mangoschale hindurch, zerstörungsfrei geschätzt werden können.

Tabelle 8: NIR-Universalmodelle für Mangos der Sorte Kent. Die NIR-Spektren wurden durch die Schale hindurch, ohne Zerstörung der Frucht, aufgenommen (n = 697 Mangos)

Parameter	N _{Spektren}	R ² CV	RMSECV
Fruchtfleischfarbe (L*)	2.683	0,77	3,49
Fruchtfleischfarbe (a*)	2.683	0,54	3,45
Fruchtfleischfarbe (b*)	2.683	0,57	5,24
Fruchtfleischfarbe (C*)	2.683	0,58	5,36
Fruchtfleischfarbe (h°)	2.683	0,53	3,82
Fruchtfleischfestigkeit [kg]	1.116	0,45	2,80
°Brix	1.216	0,54	1,24
Trockenmasse	1.386	0,73	1,14

In grüner Schrift: Werte mit Korrelation > 0,7

Die Ergebnisse der NIR-Vorhersagemodelle, die mittels der Mangos aus dem Ursprung Peru (Sorte Kent) entwickelt wurden (Perumodelle) sind in Tabelle 9 dargestellt. Für den Parameter Trockenmasse [%] konnte ein gutes NIR-Vorhersagemodell zur zerstörungsfreien Schätzung entwickelt werden.

Tabelle 9: NIR-Perumodelle für Mangos der Sorte Kent. Die NIR-Spektren wurden durch die Schale hindurch, ohne Zerstörung der Frucht, aufgenommen (n = 517 Mangos)

Parameter	N _{Spektren}	R ² CV	RMSECV
Fruchtfleischfarbe (L*)	1.970	0,45	3,25
Fruchtfleischfarbe (a*)	1.970	0,56	3,83
Fruchtfleischfarbe (b*)	1.970	0,42	5,02
Fruchtfleischfarbe (C*)	1.970	0,42	5,15
Fruchtfleischfarbe (h°)	1.970	0,55	4,23
Fruchtfleischfestigkeit [kg]	798	0,50	2,66
°Brix	858	0,61	1,14
Trockenmasse	1.026	0,78	1,11

In grüner Schrift: Werte mit Korrelation > 0,7

In der Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Modelle für Mangos der Sorte Kent aus der Elfenbeinküste dargestellt. Die Erfassung der Spektren erfolgte zerstörungsfrei durch

die Mangoschale hindurch. Für den Qualitäts- und Reifeparameter Trockenmasse [%] konnte ein präzises Vorhersagemodell zur zerstörungsfreien Schätzung entwickelt werden.

Tabelle 10: NIR-Elfenbeinküstemodelle I für Mangos der Sorte Kent. Die NIR-Spektren wurden durch die Schale hindurch, ohne Zerstörung der Frucht, aufgenommen (n = 180 Mangos)

Parameter	N _{Spektren}	R ² CV	RMSECV
Fruchtfleischfarbe (L*)	713	0,55	3,17
Fruchtfleischfarbe (a*)	713	0,59	1,50
Fruchtfleischfarbe (b*)	713	0,58	4,76
Fruchtfleischfarbe (C*)	713	0,58	4,83
Fruchtfleischfarbe (h°)	713	0,60	1,62
Fruchtfleischfestigkeit [kg]	318	0,55	2,55
°Brix	358	0,52	1,00
Trockenmasse	360	0,70	0,89

In grüner Schrift: Werte mit Korrelation > 0,7

Die Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse für Mangos der Sorte Kent (Ursprungsland Elfenbeinküste) bei denen die Akquise der NIR-Spektren am Mangofruchtfleisch stattgefunden hat, nachdem an der beprobten Stelle die Mangoschale entfernt wurde. Dabei wurden sehr präzise NIR-Vorhersagemodelle für die Parameter Trockenmasse [%] und Fruchtfleischfestigkeit [kg] entwickelt.

Tabelle 11: NIR-Elfenbeinküstemodelle II für Mangos der Sorte Kent. Die NIR-Spektren wurden auf dem Fruchtfleisch nach dem Entfernen der Schale aufgenommen (n = 180 Mangos)

Parameter	N _{Spektren}	R ² CV	RMSECV
Fruchtfleischfarbe (L*)	713	0,53	3,26
Fruchtfleischfarbe (a*)	713	0,60	1,47
Fruchtfleischfarbe (b*)	713	0,59	4,70
Fruchtfleischfarbe (C*)	713	0,59	4,77
Fruchtfleischfarbe (h°)	713	0,60	1,61
Fruchtfleischfestigkeit [kg]	318	0,74	1,95
°Brix	358	0,63	0,88
Trockenmasse	360	0,79	0,75

In grüner Schrift: Werte mit Korrelation > 0,7

6.3 Entwicklung von Grenzwerten und Optimalbereichen der relevanten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados u. Mangos

6.3.1 Reifeverläufe der Mango

In der folgenden Abbildung werden zunächst die Verläufe der relevantesten untersuchten Qualitäts- und Reifeparameter von Mangos mittels Reifekammern dargestellt. Die Parameter sind deshalb so relevant, da für diese NIR-Vorhersagemodelle mit hoher Güte entwickelt werden konnten. Auf dieser Grundlage sollen die Grenzwertmodelle mit zugehörigen Optimalbereichen entwickelt werden. Die farbigen Symbole stellen jeweils eine der fünf durchgeführten Versuchsreihen dar.

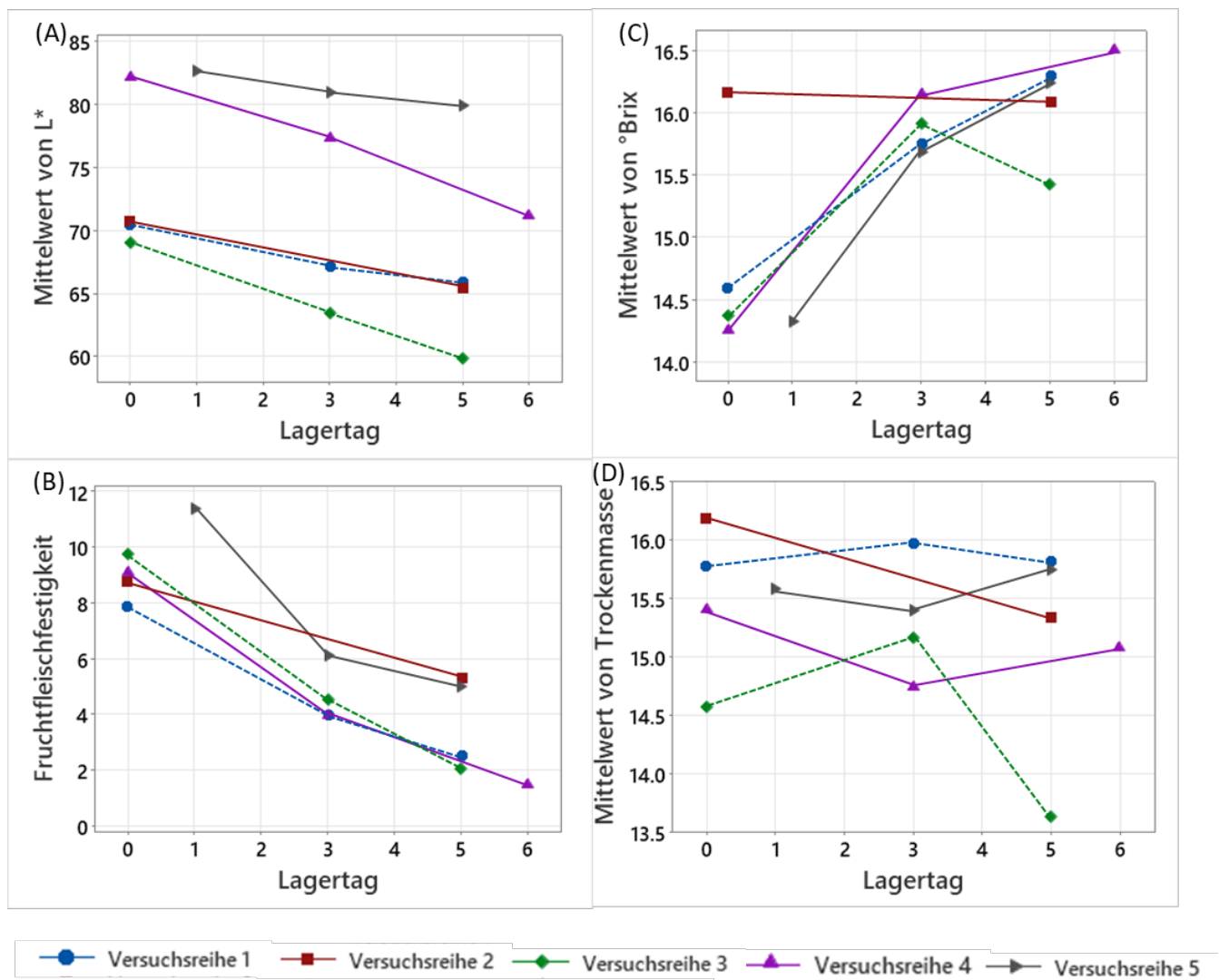


Abbildung 13: Verläufe der relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter von Mangos der Sorte Kent. Dargestellt sind die Parameter L* (A), Fruchtfleischfestigkeit [kg] (B), °Brix (C) und Trockenmasse [%] (D)

Die Verläufe der Parameter stimmen dabei mit den Erkenntnissen aus der Literatur überein. So wurde von Araiza et al. (2005) und Siller-Cepeda et al. (2009) ebenfalls festgestellt, dass der °Brixgehalt mit zunehmender Reifung ansteigt. Außerdem wurde in den beiden Studien belegt, dass die Fruchtfleischfestigkeit von Mangos der Sorte Kent entlang der Reifung, abnimmt. Damit konnte bestätigt werden, dass die Parameter Fruchtfleischfarbe (L), °Brix und Fruchtfleischfestigkeit [kg] sich im Verlaufe der Reifung verändern und somit gute Indikatoren für den Reifefortschritt von Mangos darstellen. Die Fruchtfleischtrockenmasse [%] stellt einen wichtigen Parameter für den Wareneingang dar, weswegen eine zerstörungsfreie Vorhersage für den Fruchthandel ebenfalls von wesentlicher Bedeutung ist.

6.3.2 Grenzwertmodelle Mango

Fruchtfleischfestigkeit [kg]

Für Mangos wurde die Fruchtfleischfestigkeit [kg] auf Basis der Literatur und dem Austausch mit den Reifeexperten des Projektpartners vanWylick als einer der aussagekräftigsten Indikatoren für den Fortschritt der Mangoreife identifiziert. Unter Berücksichtigung der Angaben des National Mango Board (2021a) sowie den eigens erhobenen Daten wurde ein allgemeingültiges Grenzwertmodell für Mangos, die nach Europa importiert wurden, entwickelt (Abbildung 14). Die Mangos wurden mit einer Fruchtfleischfestigkeit von 8 – 12 kg beim deutschen Fruchthändler angeliefert, bevor die gezielte Nachreifung startet. Nach der Reifung sollten die Mangos eine Fruchtfleischfestigkeit von in etwa 4 – 7 kg aufweisen und an den LEH geliefert werden. Ab diesem Punkt ist die Frucht noch nicht komplett Genussreif, würde aber in wenigen Tagen bei Raumtemperatur die Vollreife erreichen.

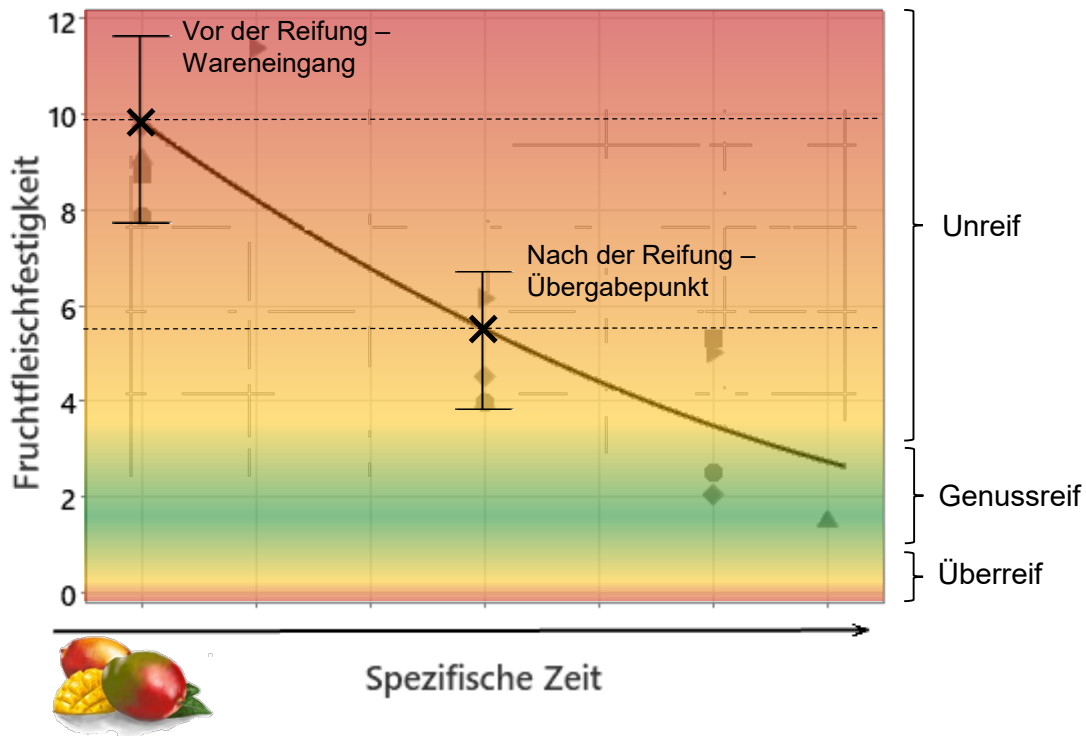


Abbildung 14: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit [kg] von Mangos für den europäischen Großhandel. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung

Fruchtfleischfarbe (L^*)

Innerhalb eines Ursprunges (Peru/Elfenbeinküste) war eine sehr hohe Homogenität hinsichtlich des Verlaufes des L^* -Wertes (Fruchtfleischhelligkeit) erkennbar. Zwischen den beiden Ursprüngen hingegen wiesen die L^* -Werte entlang der Reifung, unterschiedliche Ausprägungen auf. Daher wurde hier versucht, für den L^* -Wert beider Ursprünge – Peru und Elfenbeinküste – separate Grenzwertmodelle zu entwickeln (Peru: Abbildung 15 und Elfenbeinküste: Abbildung 16). Die Mangos, die aus Peru den Fruchthändler vanWylick erreichten, wiesen beim Wareneingang und vor der Reifung einen L^* -Wert von 68 – 72. Gute Werte, um die Mangos aus der Reifekammer zu entnehmen und diese an den LEH zu versenden sind L^* -Werte von 63 – 67,5.

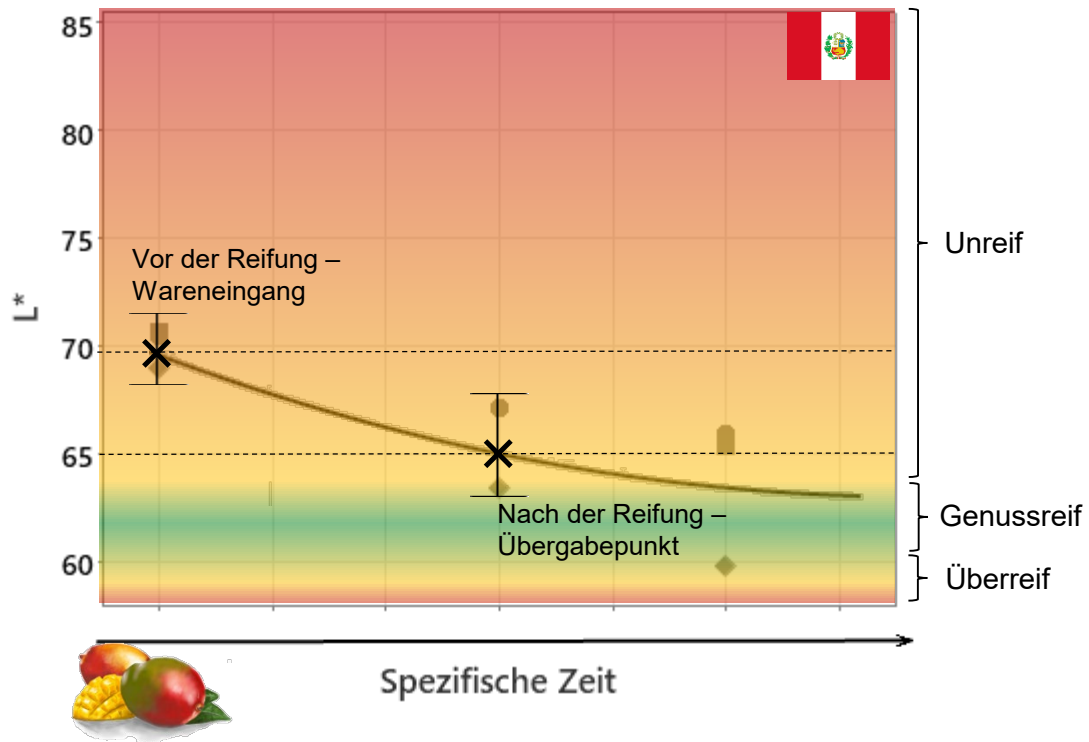


Abbildung 15: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfarbe (L^*) von Mangos für den europäischen Großhandel der Sorte Kent aus Peru. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung

Die Mangos mit Ursprung Elfenbeinküste, wiesen am Tag des Wareneingangs ein L^* -Wert von 82 – 84 auf, bevor sie in die Reifekammer überführt wurden. Diese Werte lagen deutlich über den L^* -Werten der Mangos aus Peru. Für diese Ware wurden als Optimalbereiche zum Versand an den LEH L^* -Werte von 76 – 82 identifiziert.

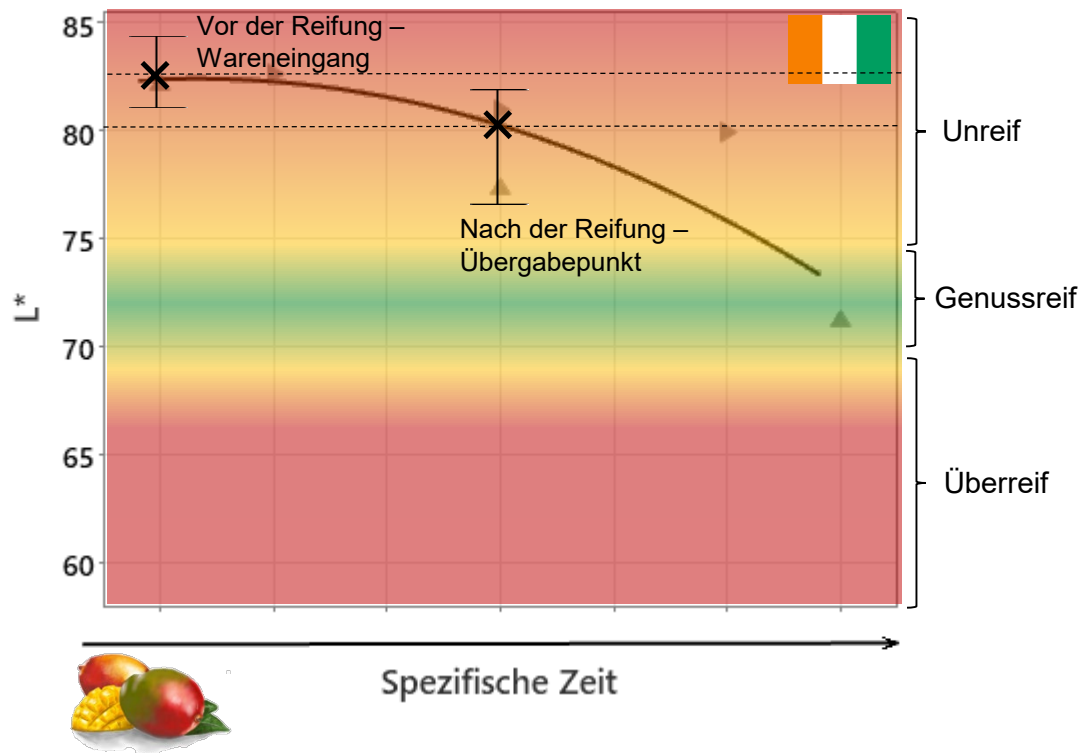


Abbildung 16: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfarbe (L^*) von Mangos für den europäischen Großhandel der Sorte Kent aus der Elfenbeinküste. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung

Brix-Werte

Die Mangos der Sorte Kent, die den Fruchthändler vanWylick erreichten, wiesen am Tag des Wareneingangs °Brixwerte von 14,5 – 14,7 auf. Als Optimalbereiche, um diese an den LEH, zu überführen, wurden °Brixwerte von 15,5 – 16,3 identifiziert. Ein entsprechendes Modell für Grenzwerte mit den dazugehörigen Optimalbereichen ist in der Abbildung 17 dargestellt.

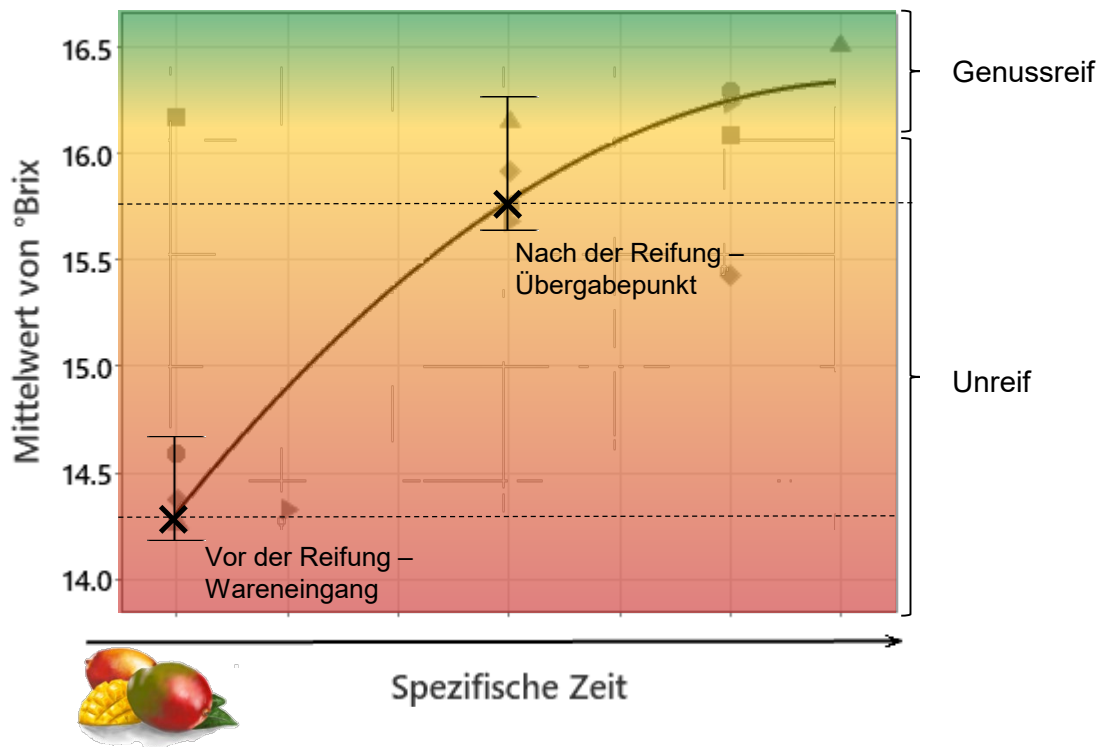


Abbildung 17: Grenzwertmodelle mit Optimalbereichen für den Qualitäts- und Reifeparameter °Brix von Mangos für den europäischen Großhandel der Sorte Kent. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte und die Intervallbalken die spezifischen Optimalbereiche entlang der Reifung

6.3.3 Reifeverläufe der Avocado

In den folgenden Abbildungen werden zunächst die Verläufe der untersuchten Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados bei Raumtemperatur dargestellt. Auf der Grundlage dieser Qualitäts- und Reifeverläufe wurden Grenzwertmodelle ohne Optimalbereiche entwickelt. Zur Entwicklung von Optimalbereichen war die Datengrundlage zu gering, da nur zwei Lagerversuche mit 150 Avocados durchgeführt wurden. Die farbigen Symbole die beiden durchgeführten Lagerversuche dar (L1 und L2). Die Avocados wurden bei Raumtemperatur gelagert.

Die NIR-Vorhersagemodellierungen für die Parameter der Fruchtfleischfarbe erreichten in diesem Projekt nicht die gewünschte Präzision von $R^2 CV > 0,70$ ($R^2 CV_{L^*} = 0,42$; $R^2 CV_{a^*} = 0,24$; $R^2 CV_{b^*} = 0,20$; $R^2 CV_{C^*} = 0,23$; $R^2 CV_{h^\circ} = 0,15$), weswegen keine Versuche unternommen, für diese Parameter Grenzwertmodelle aufzustellen.

Fruchtschalenfarbe (L^* , a^* , b^* , C^* und h°)

Die untenstehende Abbildung zeigt die Parameter L^* , a^* , b^* , C^* und h° der Fruchtschalenfarbe der untersuchten Avocados der Sorte Hass. Es wurden über sämtliche hier dargestellte Parameter eine Homogenität hinsichtlich des Verlaufes beobachtet. Dieser kontinuierliche Trend war zu erwarten (vor allem für den L^* -Wert), da die Schale im Laufe der Nacherntereifung deutlich dunkler wird. Außerdem wurden für die Farbparameter der Fruchtschale äußerst präzise Vorhersagemodelle entwickelt, weswegen Modelle für Grenzwerte entwickelt wurden, mit denen die kontrollierte Reifung optimiert werden kann.

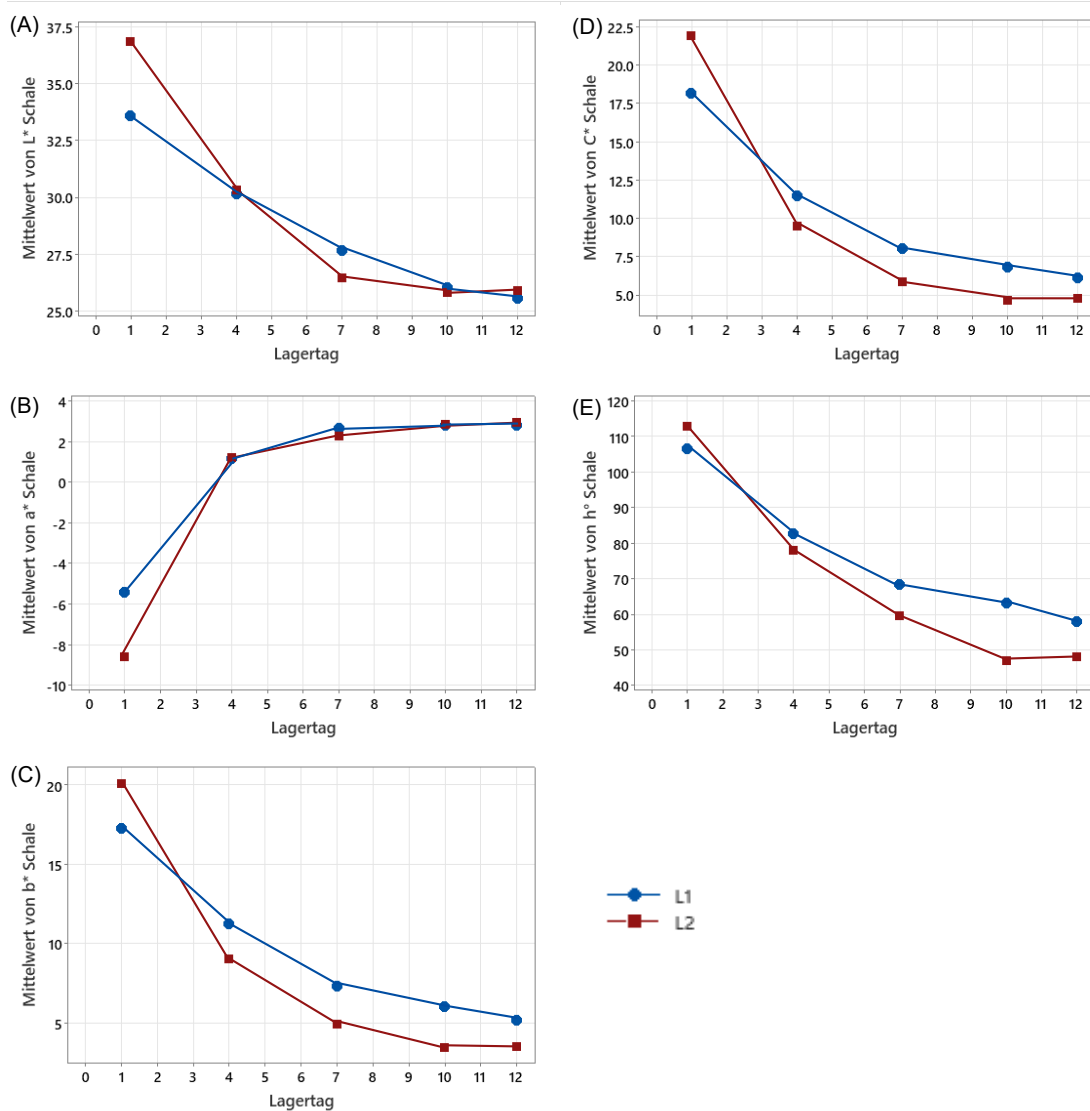


Abbildung 18: Verläufe der Farbparameter L^* (A), a^* (B), b^* (C), C^* (D) und h° (E) der Fruchtschale von Avocados der Sorte Hass während der Nachreifung.

Ab dem siebten Tag begannen vereinzelt Veränderungen auf der Schale der Avocados aufzutreten (vgl. Abbildung 19) Dieser Verderb war bis zu diesem Zeitpunkt nicht im Fruchtfleisch erkennbar. Ab dem zehnten sowie zwölften Tag in der Nachertreifung waren deutliche Verfärbungen auf der Fruchtschale erkennbar (Abbildung 20), die bis ins Fruchtfleisch sichtbar waren. Daher wurden die Ausprägungen der Parameter, die gemittelt am siebten Versuchstag vorlagen, als Indikator für die Genussreife herangezogen. In Bezug darauf wurde die Reife, die am dritten Tag der Versuchsreihen vorlag, als optimaler Zeitpunkt zur Distribution an den LEH definiert.



Abbildung 19: Leicht überreife Avocado von außen (Schale) am siebten Versuchstag



Abbildung 20: Überreife Avocado von innen (Fruchtfleisch) (links). Überreife Avocado von außen (Schale) (rechts) am zwölften Versuchstag

Trockenmasse [%] und Fruchtfleischfestigkeit [kg]

Die nächste Abbildung zeigt die Verläufe der Qualitäts- und Reifeparameter Trockenmasse [%] und Fruchtfleischfestigkeit [kg] (11 mm Stempel) von Avocados der Sorte Hass. Die Veränderung des Trockenmassenanteils wurde auf den Wasserverlust entlang der Reifung bei Raumtemperatur und relativ geringer Luftfeuchte (ca. 50 %) zurückgeführt. Hier ist anzumerken, dass i.d.R. während der gezielten Reifung, eine hohe Luftfeuchtigkeit (> 95 %) (bei vanWylick) eingesetzt wird, um diesen Effekt entgegenzuwirken. Die Fruchtfleischfestigkeit nahm entlang der Reifung dagegen ab, was für einen eindeutigen Indikator für den Fortschritt der Reifung spricht. Ab dem siebten Tag trat bei der Festigkeit keine signifikante Veränderung mehr auf, was die Annahme bekräftigt, dass hier die Genussreife ausgebildet war.

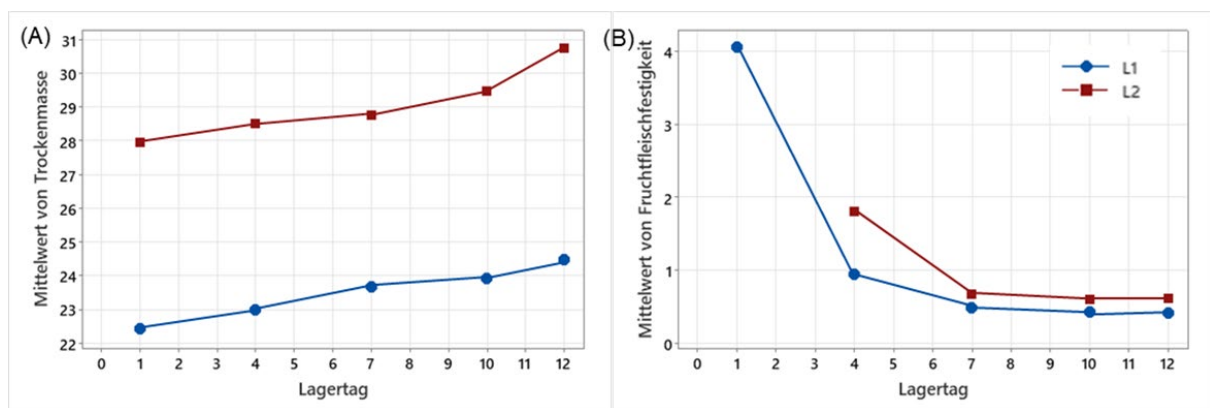


Abbildung 21: Verläufe der Qualitäts- und Reifeparameter (A) Trockenmasse [%] und (B) Fruchtfleischfestigkeit [kg] von Avocados der Sorte Hass die mittels Lagertests während der Nachreifung bei Raumtemperatur an der HSWT untersucht wurden

Da die Fruchtfleischfestigkeit von Avocados eine hohe Aussagekraft über das Reifestadium hat, wurde ein erstes Grenzwertmodell für diesen Parameter entwickelt. Dieses kann zur Optimierung der Reifung herangezogen werden.

6.3.4 Grenzwertmodelle Avocado

In den folgenden Abbildungen sind die im Projekt, basierend auf Lagertests, entwickelten Grenzwertmodelle für nach Europa importierte Avocados der Sorte Hass dargestellt. Die Modelle können durch Messungen entlang der definierten Reifung in einer Reifekammer noch optimiert werden. Aufgrund der während der gezielten Reifung vorherrschenden definierten klimatischen Bedingungen mit höherer Luftfeuchtigkeit, sind hier Veränderungen zu erwarten. Die Daten bieten dennoch eine gute Basis, um erste

Grenzwertmodelle für die Parameter Fruchtfleischfestigkeit [kg] und Fruchtschalenfarbe (L^* , a^* , b^* , C^* und h°) zu entwickeln.

Fruchtfleischfestigkeit [kg]

In der Abbildung 22 sind die Grenzwerte für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit (11 mm Stempel) für Avocados der Sorte Hass dargestellt. Die Früchte kamen im Mittel mit einer Fruchtfleischfestigkeit von 4 kg bei vanWylick in der Niederlassung in 82140 Olching an. Eine Fruchtfleischfestigkeit von ca. 2 kg wurde als geeignet identifiziert, um die Früchte an den LEH zu versenden.

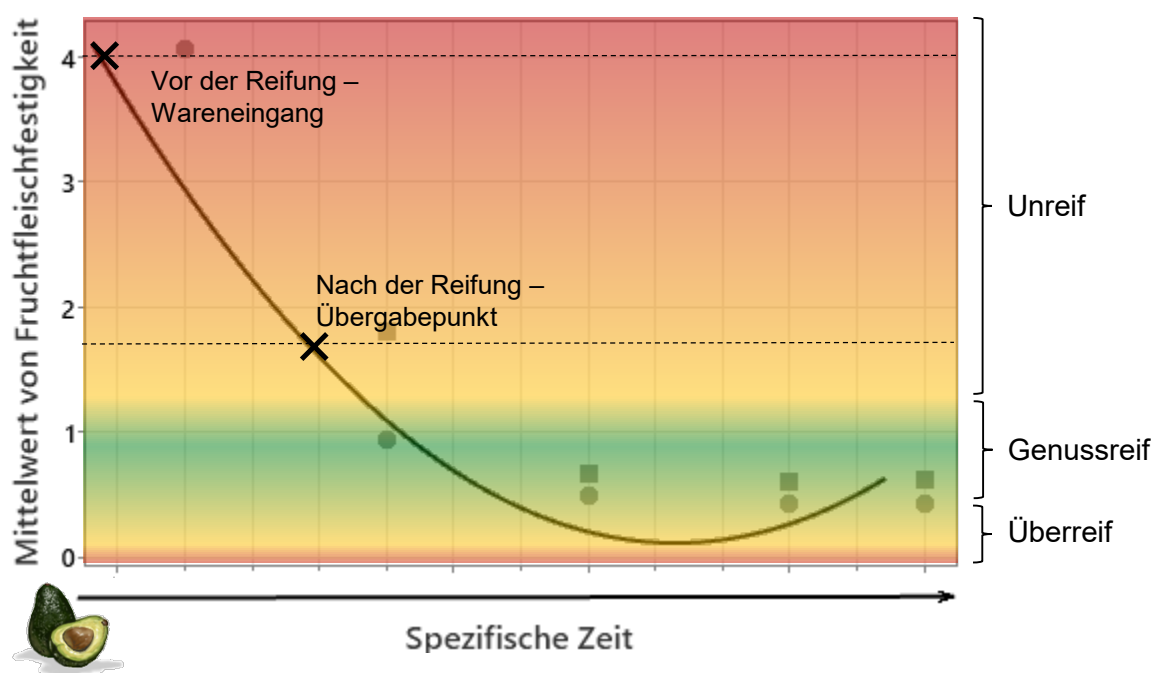


Abbildung 22: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung

Fruchtschalenfarbe (L^* , a^* , b^* , C^* , h°)

In der Abbildung 23 ist das Grenzwertmodell für den Fruchtschalenparameter L^* für Avocados der Sorte Hass dargestellt. Der mittlere L^* -Wert lag beim Wareneingang bei 37,5, bevor diese in die Reifekammer überführt werden können. Bei einer Fruchtschalenfarbe von $L^* = 31,8$ wäre ein optimaler Zeitpunkt die Avocados an den LEH auszuliefern.

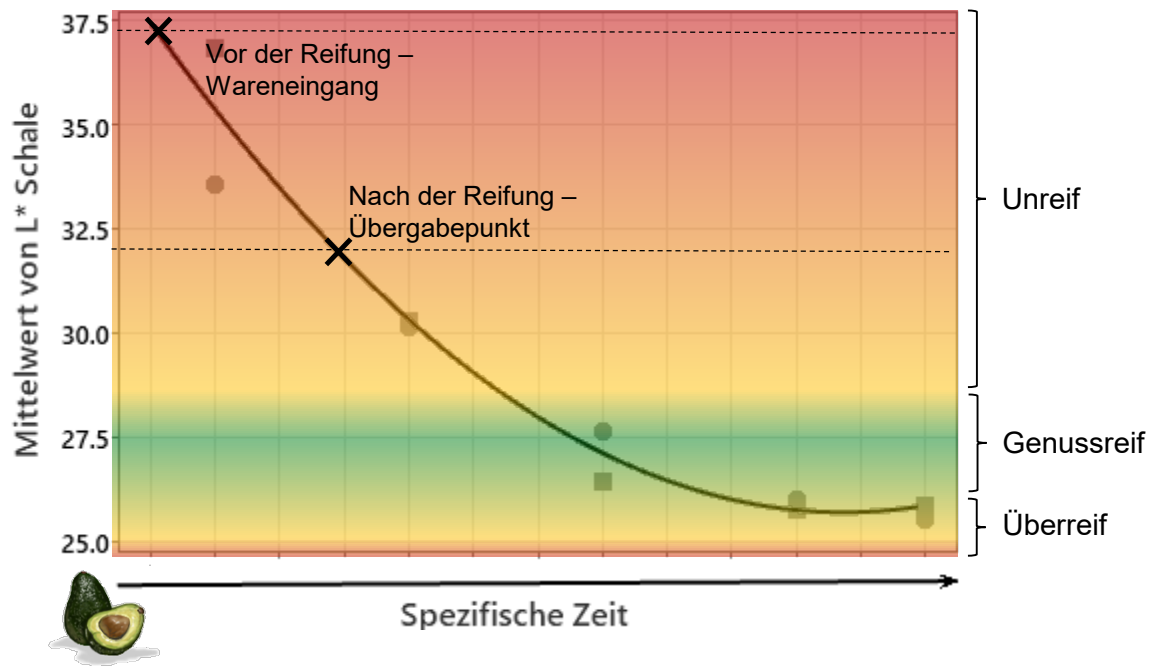


Abbildung 23: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (L^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung

In der Abbildung 24 ist das Grenzwertmodell für den Parameter Fruchtschalenfarbe (a^*) dargestellt. Die Avocados kamen im Mittel mit einem a^* -Wert von etwa -9 an. Im Rahmen der Lagertests wurde ein a^* -Wert von ca. -2 identifiziert, der nach dem Reifeprozess erreicht werden sollte und als Wert für die Auslieferung geeignet erscheint.

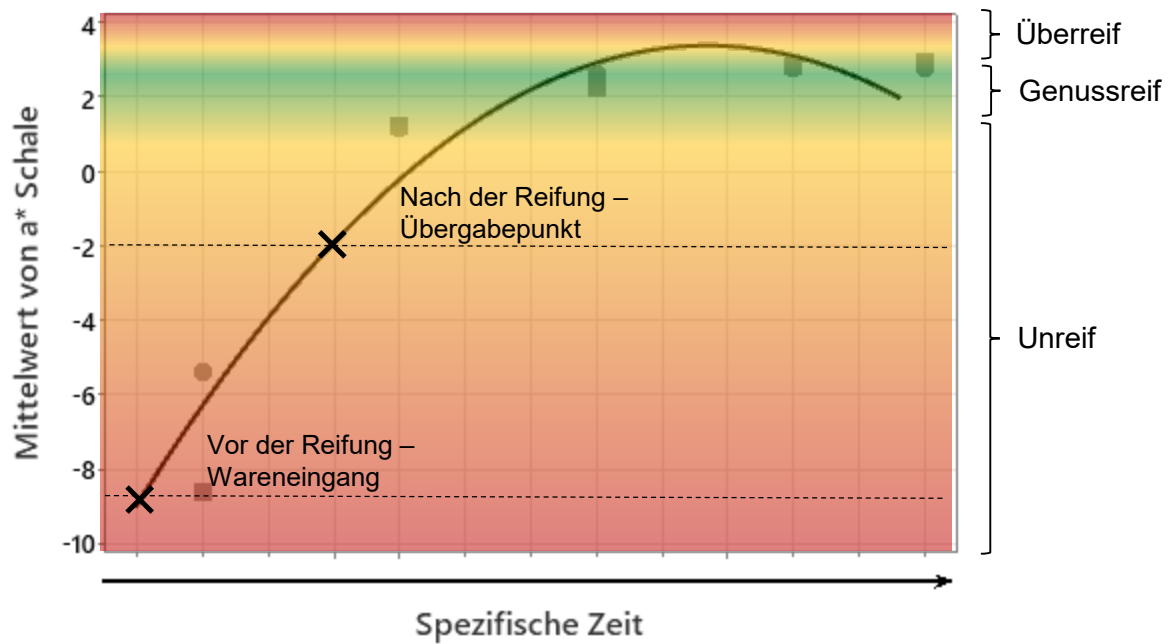


Abbildung 24: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (a^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung

Die Abbildung 25 bildet das entwickelte Grenzwertmodell für den Parameter Fruchtschalenfarbe (b^*) von Avocados der Sorte Hass ab. Beim Projektpartner vanWylick wurden die Avocados mit einem b^* -Wert von ca. 20 am Tag 0 angeliefert. Dies entspricht dem Wert, bei dem die Avocados die gezielte Nachreifung starten. Bei einem b^* -Wert von etwa 12 wäre ein optimaler Zeitpunkt diese aus der Reifekammer zu entfernen, um sie für den Transport zum LEH vorzubereiten.

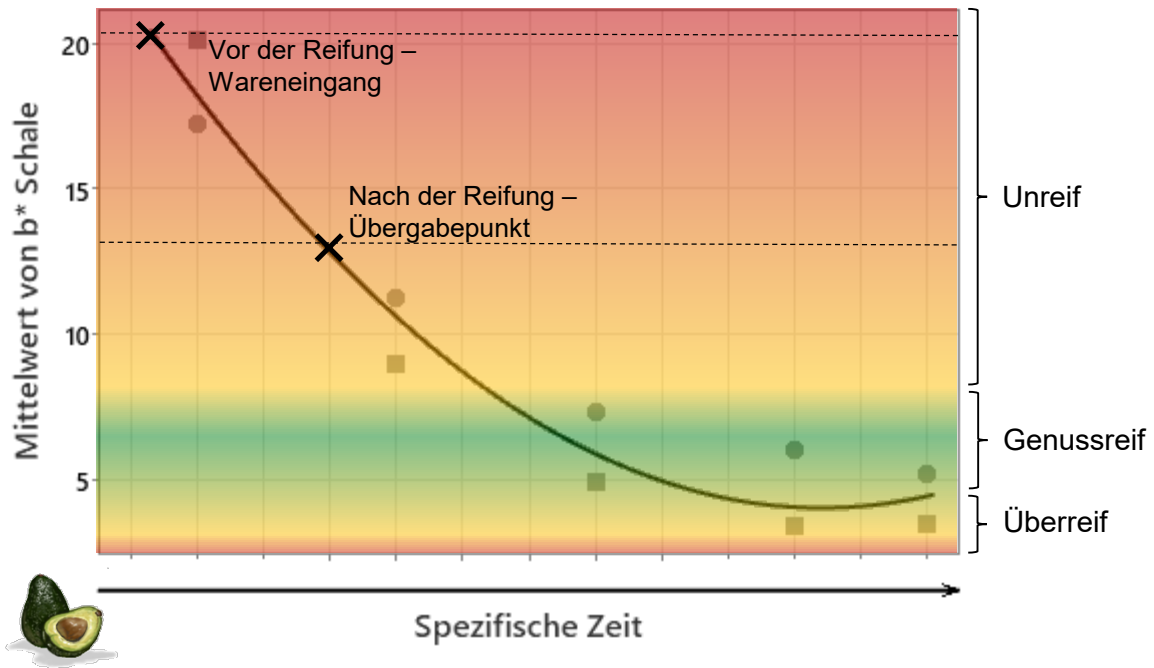


Abbildung 25: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (b^*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung

Das Grenzwertmodell für Avocados der Sorte Hass und den Parameter C^* der Fruchtschalenfarbe ist in der Abbildung 26 dargestellt. Die Avocados kamen bei vanWylick mit einem C^* -Wert von etwa 21 an (Tag 0). Ein C^* -Wert von 13,8 wurde im Rahmen der Lagerversuche als guter Wert für die Übergabe an den LEH identifiziert.

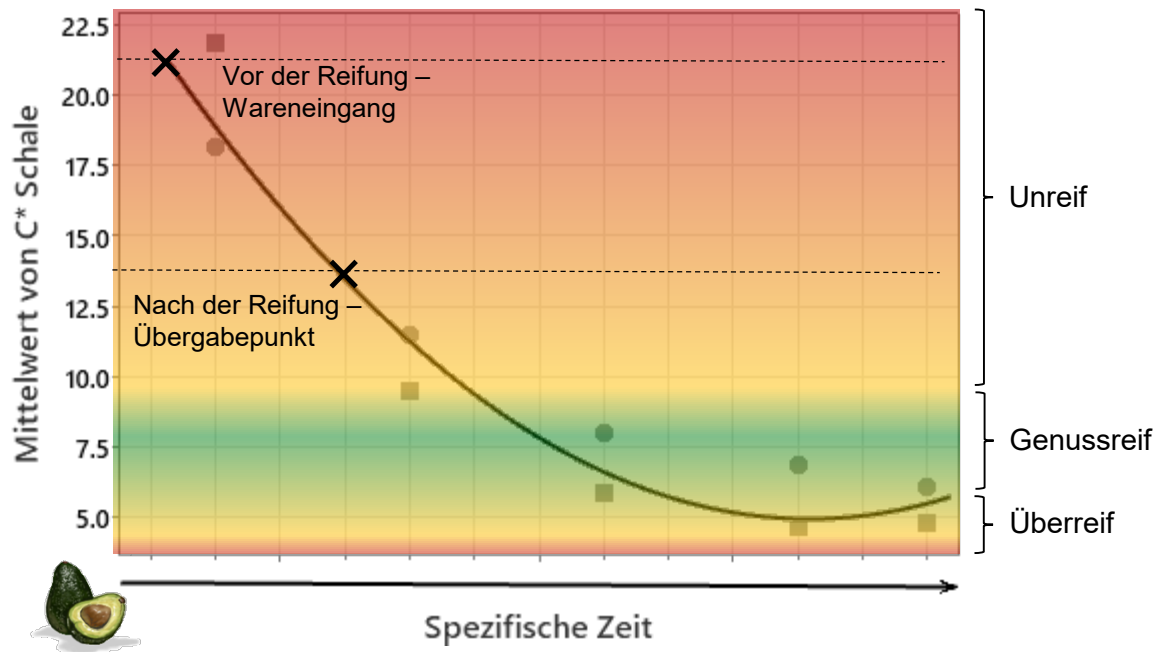


Abbildung 26: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (C*) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung

In der folgenden Abbildung ist das Grenzwertmodell für den Parameter h° dargestellt. Die Avocados wiesen am Tag des Wareneingangs einen h° -Wert von etwa 115 auf. Ein optimaler Zeitpunkt, die Avocados aus der Reifekammer zu entfernen, wäre basierend auf den Lagerversuchen bei einem h° -Wert von etwa 90 gegeben.

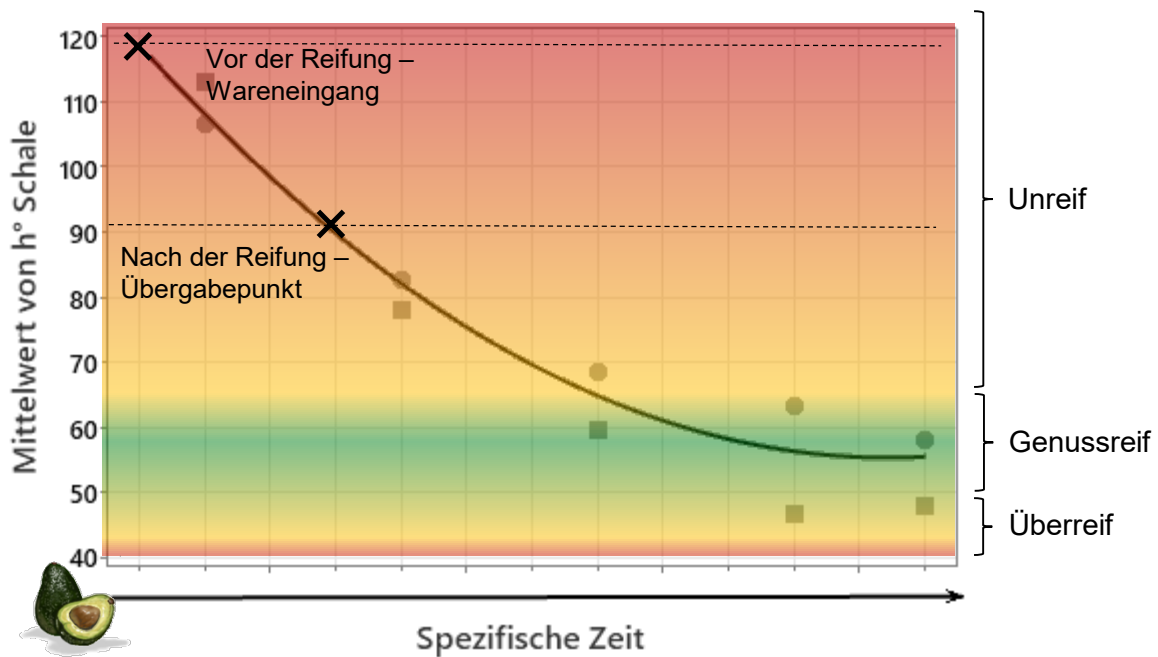


Abbildung 27: Grenzwertmodell für den Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtschalenfarbe (h°) von Avocados für den europäischen Großhandel der Sorte Hass. Die Kreuzmarkierungen sind dabei die Grenzwerte entlang der Reifung

6.4 Handlungsempfehlungen für den Einsatz von NIR-Scannern zur Optimierung der Reifeparameter entlang der kontrollierten Reifung von Avocados und Mangos

6.4.1 NIR-Scanner zur Optimierung der gezielten Reifung mittels spezifischer Grenzwertmodelle

In diesem Projekt wurden einige Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos identifiziert, welche von Großhandelszentren als Indikatoren für das Reifestadium herangezogen werden sollten. Diese beziehen sich für die Avocado auf die Fruchtfleischfestigkeit sowie auf die Farbparameter L^* -, a^* -, b^* -, C^* - und h° -Wert der Fruchtschale. Für die Mango waren diese Reifeindikatoren die Parameter L^* und vor allem die Fruchtfleischfestigkeit. Für diese Parameter wurden Grenzwertmodelle entwickelt, welche dazu geeignet sind, die gezielte Reifung von Avocados und Mangos optimal zu koordinieren. Mittels der Definition des Reifestadiums „Nach der Reifung – Übergabepunkt“, wurden Grenzwerte entwickelt, welche eine Orientierung für einen optimalen Zeitpunkt zur Auslieferung der Ware an den LEH geben. Der optimale Zeitpunkt wurde wenige Tage vor der Genussreife definiert, sodass die jeweilige Frucht

diese während der Transport- und Vermarktungszeit nicht überschreitet. Dementsprechend liegt dem Verbraucher eine Frucht in der optimalen Genussqualität vor. Um das Reifestadium der Früchte entlang der kontrollierten Reifung zu bewerten, können Importeure, Fruchtreifebetriebe und Handelszentren die in diesem Projekt erfolgreich entwickelten NIR-Vorhersagemodelle verwenden. Diese liegen für die Qualitäts- und Reifeparameter L^* und Fruchtfleischfestigkeit (Mango) sowie L^* - a^* , b^* , C^* und h° der Fruchtschale (Avocado) vor. Dadurch kann schnell eine große Stichprobe zerstörungsfrei an Früchten während der Nacherntereifung untersucht und bewertet werden.

6.4.2 NIR-Scanner zur Wareneingangskontrolle von Avocados und Mangos

Obwohl sich der Parameter Trockenmasse [%] nicht als Indikator für den Reifefortschritt in der Nacherntephase von Avocados und Mangos heranziehen lässt, bietet er sich als gut Qualitätskriterium bei der Wareneingangskontrolle an. Avocados benötigen, nach der Wirtschaftskommission der vereinten Nationen, einen Mindestanteil von 21 % Trockenmasse (Sorte Hass), bevor diese vermarktet werden dürfen (UNECE 2009). Diese Anforderung ließe sich also gut, schnell und ohne die Früchte zu zerstören durch den Einsatz von NIR-Scannern nachvollziehen. Dies wird in der folgenden Abbildung illustriert.

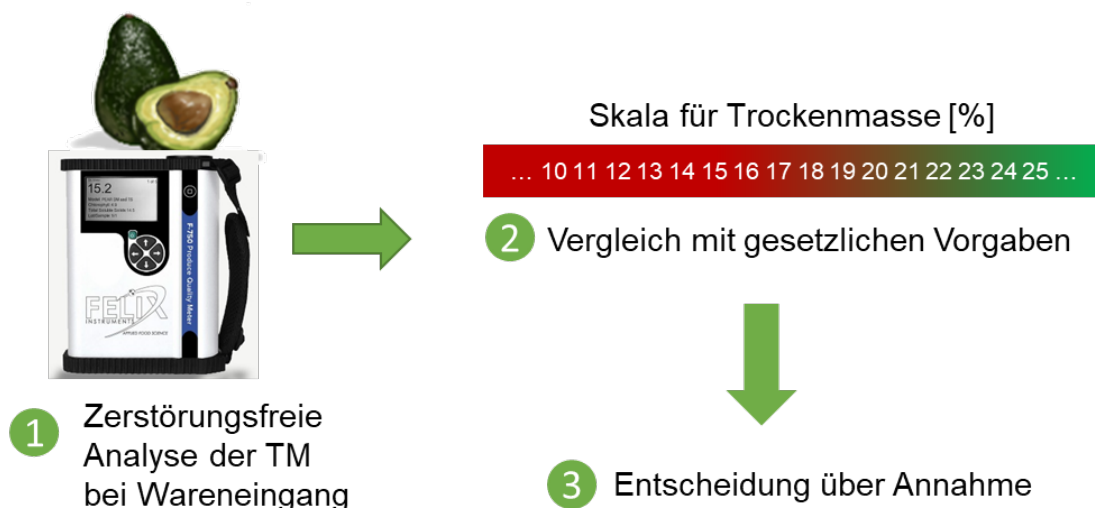


Abbildung 28: Möglicher Arbeitsablauf einer zerstörungsfreien Wareneingangskontrolle von Avocados mittels dem Parameter Trockenmasse (TM) [%].

Zum heutigen Stand gibt es für Mangos noch keine Vorgaben bezüglich des Trockenmassengehaltes, der zum Zeitpunkt der Vermarktung vorliegen muss. Dennoch ist bekannt, dass der Anteil von Trockenmasse zum Zeitpunkt der Ernte stark positiv mit den

Nachernteeigenschaften von Mangos korreliert (Gonzalez-Moscorso 2014). Daher hat Gonzalez-Moscorso (2014) für einige Exportmangos Mindestanteile von Trockenmasse vorgeschlagen. Derartige Werte oder aber auch eigens erhobenen Ansprüche an die Mindestqualität der Trockenmasse könnten zukünftig ebenfalls schnell und zerstörungsfrei, während des Wareneingangs erfasst und bewertet werden. Zur Übersicht zeigt die folgende Tabelle die von Gonzalez-Moscorso (2014) vorgeschlagenen Mindesttrockenmassengehälter [%] von Exportmangos, welche zur Wareneingangskontrolle herangezogen werden könnten.

Tabelle 12: Mindesttrockenmassenanteil für Exportmangos verschiedenster Sorte sowie Ursprungs (Gonzalez-Moscorso 2014)

Sorte / Ursprung	Mindesttrockenmassenanteil [%]
Ataulfo aus Brasilien	14,4
Haden aus Mexiko	12,3
Kent aus Peru	12,0
Tommy Atkins aus Mexiko	13,0
Tommy Atkins aus Guatemala	13,0
Tommy Atkins aus Ecuador	11,0

In der nachstehenden Abbildung ist eine mögliche Wareneingangskontrolle, die auf den Parameter Trockenmasse [%] basiert, dargestellt. In einem ersten Schritt scannt ein Mitarbeiter eines Fruchtimporteurs die Mangos während des Wareneingangs und ermittelt somit zerstörungsfrei die Trockenmasse einiger Mangos. Folgende Werte werden tabellarisch erfasst und z.B. mittels spezieller Statistiksoftware oder Excel ausgewertet. Schließlich kann z.B. ein Lieferant über eine oder mehrere Saisons hinweg anhand der Trockenmassequalität, welche die Mangos zum Wareneingang aufweisen, bewertet werden. Anstelle des Lieferanten kann auch die GGN-Nummer oder ein vergleichbarer Indikator für die Herkunft oder den Lieferanten herangezogen werden.

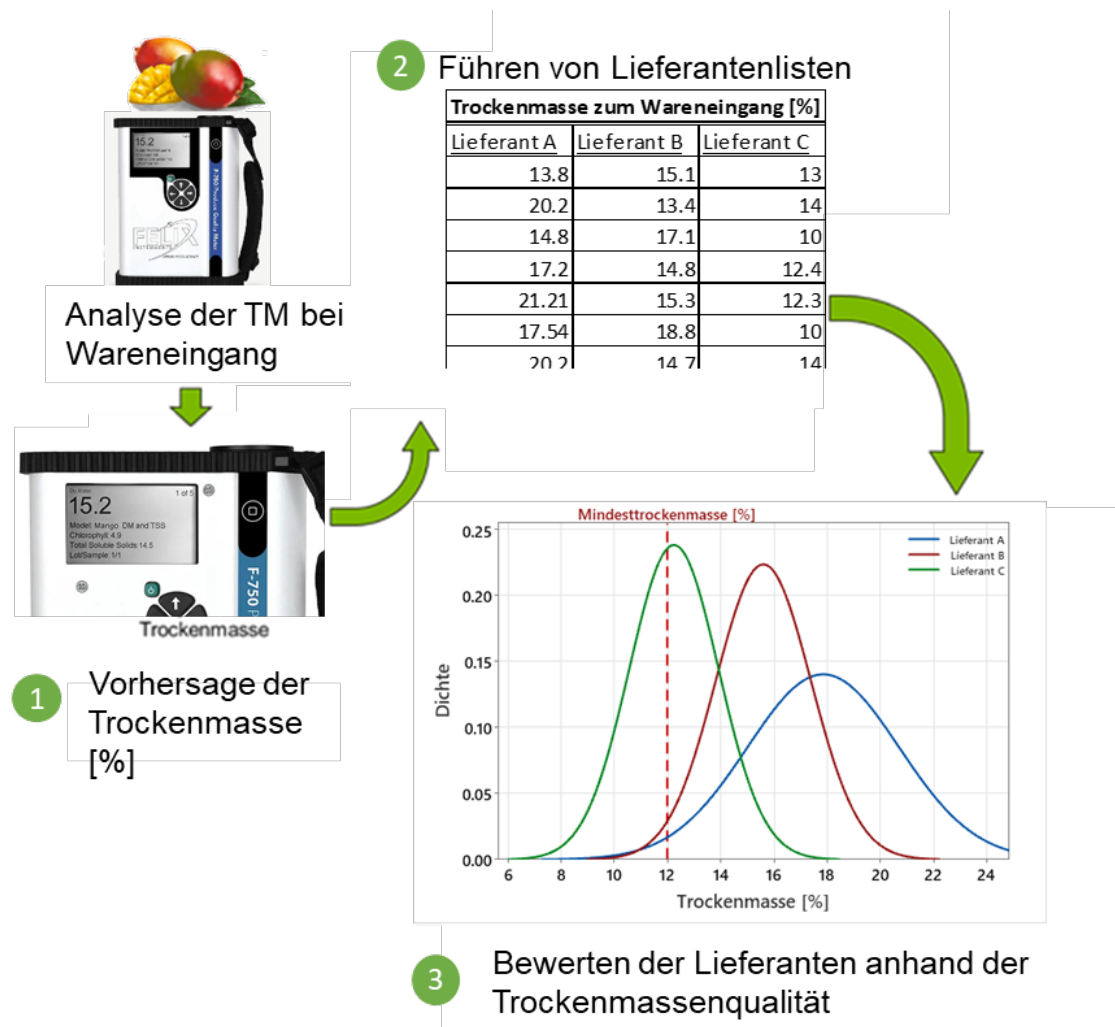


Abbildung 29: Beispielhafte Darstellung eines Lieferantenvergleichs mit drei Lieferanten hinsichtlich der Trockenmasse [%] zu Wareneingang. Die rote Linie stellt die Mindesttrockenmasse nach Gonzalez-Moscorso (2014) dar, die Mangos der Sorte Kent aus Peru aufweisen sollten

6.4.3 Verbesserung der Nacherntereifung sowie der Qualität von Mangos durch gezielte Reifung

Eine weitere Handlungsempfehlung für Importeure und Großhändler, die auf den Ergebnissen dieses Projekts basiert ist, dass Mangos grundsätzlich bei kontrollierten Bedingungen nachgereift werden sollten. Es konnte aufgezeigt werden, dass die gezielte Reifung positiven Einflüsse auf das Endprodukt hat. Die Nacherntereifung in der Reifekammer führt zu Steigerungen bezüglich der Homogenität und Qualität der Reifung im Vergleich zur unkontrollierten Nachreifung bei Raumtemperatur.

Die folgende Abbildung (Abbildung 30) zeigt zwei solcher unterschiedlichen Reifeverläufe. Die Fruchtfleischfestigkeit repräsentiert hierbei die Fruchtreifung.

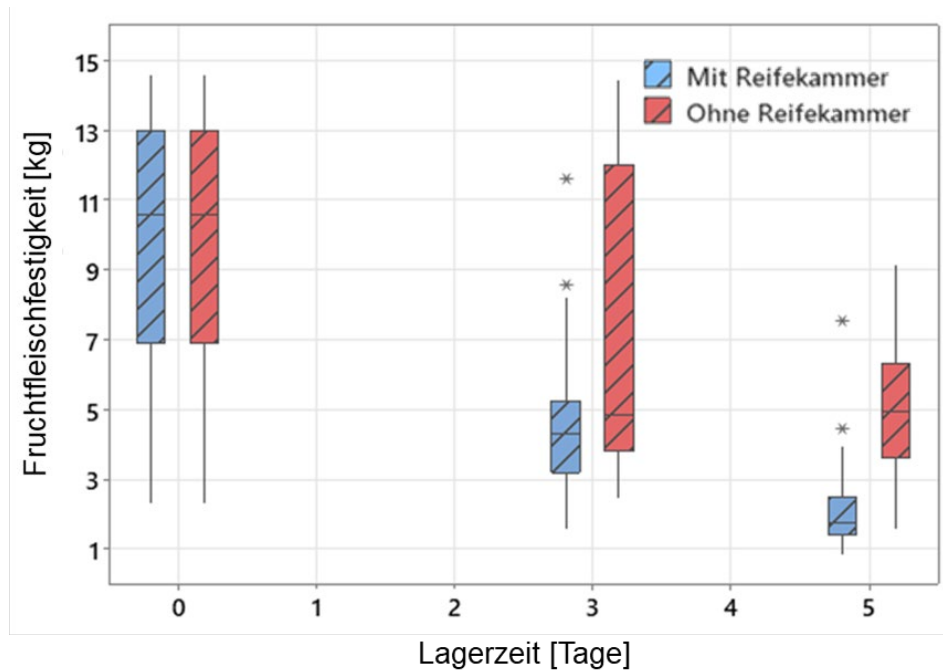


Abbildung 30: Vergleich zweier Reifemethoden (Reifung mit Reifekammer und ohne Reifekammer) von Mangos der Sorte Kent aus Peru.

Zur erweiterten Darstellung dieser Effekte wurde die folgende Abbildung erstellt. Hierbei werden für jeden Tag sowie für jede Reifemethode Häufigkeitsdiagramme (Dichte) mit Normalverteilung dargestellt. Am Tag 0 sind die Verteilung der Stichprobe gleich. Im Laufe der Reifung weisen die Mangos, welche mittels der Reifekammer nachgereift wurden, eine deutlich höhere Homogenität in der Stichprobe auf, als Mangos, welche lediglich bei Raumtemperatur nachgereift sind.

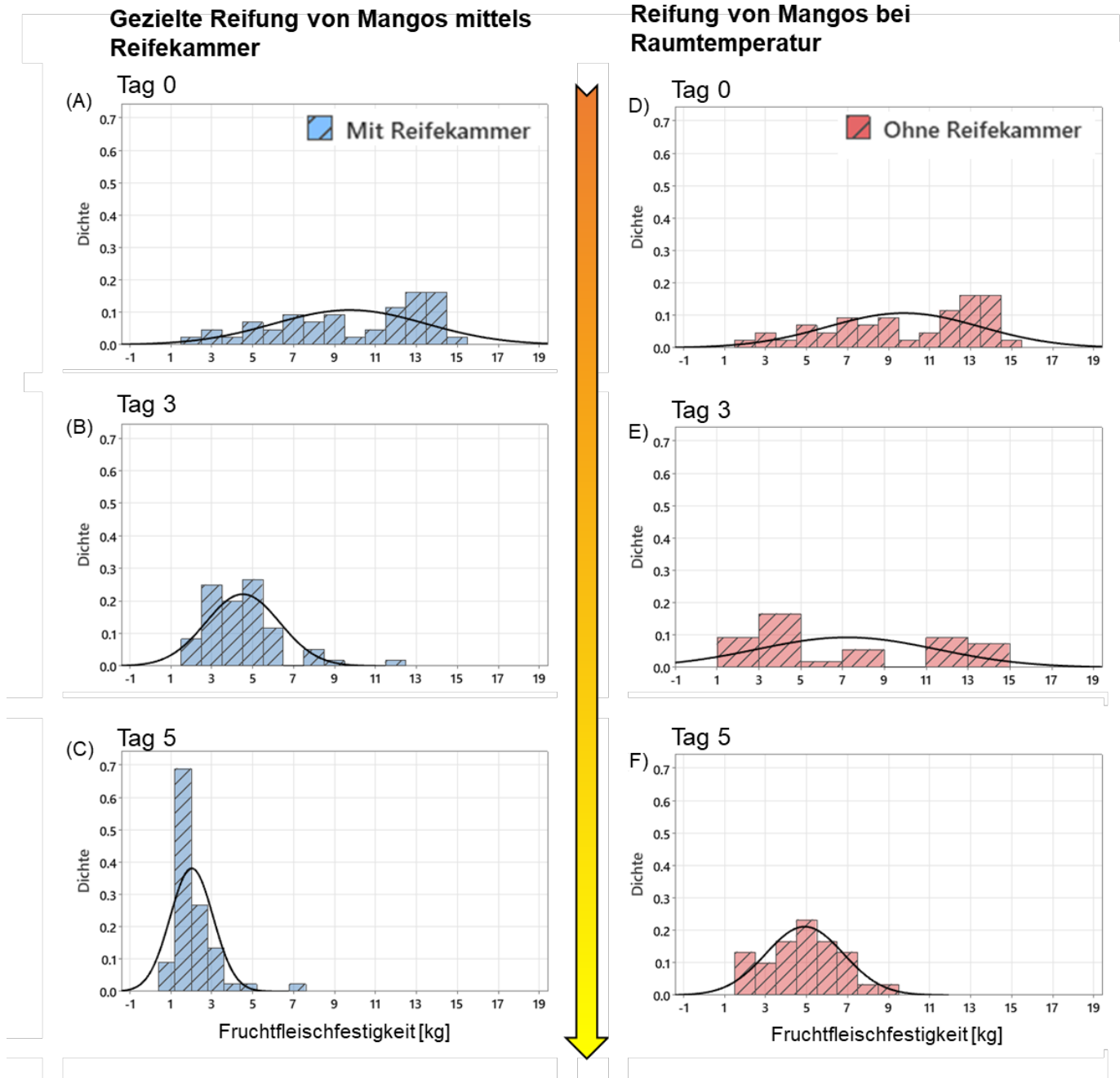


Abbildung 31: Vergleich des Fruchtfleischfestigkeitsverlaufes über fünf Tage zwischen mittels Reifekammer ((A), (B) und (C)) und bei Raumtemperatur ((D), (E) und (F)) nachgereiften Mangos.

Die gezielte Reifung hat also den Effekt, dass die Qualität der Ware eine geringere Variabilität aufweist, was sowohl für den Einzelhandel als auch für den Endverbraucher einen großen Vorteil darstellt.

6.4.4 Weiterführende Forschung und Entwicklung

Erhalt, Verbesserung und Neuentwicklung von NIR-Vorhersage- und Grenzwertmodellen von Mangos, die für den europäischen Großhandel relevant sind

In diesem Projekt konnten lediglich Mangos der Sorte Kent aus Peru und der Elfenbeinküste untersucht werden. Dementsprechend wurden nur für diese Mangos NIR-Vorhersage- sowie Grenzwertmodelle entwickelt. Dies lag an der Saison und dem Zeitraum, in dem die Versuchsreihen für dieses Projekt durchgeführt wurden. Um bestehende NIR-Vorhersage- bzw. Grenzwertmodelle zu erhalten und weiterzuentwickeln oder gänzlich neue zu entwickeln, sollten weiterführende Forschungen bezüglich der NIR-Spektren sowie Qualitäts- und Reifeparameter von Mangos, die für den europäischen Großhandel relevant sind, durchgeführt werden.

Vorhersage der Reifeparameter die zu gewünschten Reifestadien führen

Mit der Datenlage, die zum Projektende vorlag, war eine präzise Vorhersage der Reifeparameter, die zu gewünschten Reifestadien (z.B. Nach der Reifung – Übergabepunkt) führt, nicht durchführbar. Derartige konkrete Vorhersagen der Reifekonditionen würde eine zusätzliche Optimierung des gezielten Reifeprozesses von Avocados und Mangos darstellen, wodurch Ressourcen eingespart werden können. Daher soll im Folgenden ein Ansatz vorgestellt werden, wie eine solche Vorhersage der Reifung von Avocados und Mangos entwickelt werden soll.

Während der Nacherntereifung in der Reifekammer sollen relevante Parameter (Temperatur [°C] und Zeit [h]) erfasst werden, wodurch ziemlich genau die spezifischen Temperatursummen gebildet werden können. Hier sollte versucht werden, dass mittels der Temperatursummen die gezielte Reifung in nachvollziehbare Parameter gefasst wird, um diese präzise vorherzusagen. Auf dieser Grundlage ließen sich genaue Handlungsempfehlungen für die Praxisbetriebe, die sich mit der Nacherntereifung von Avocados und Mangos beschäftigen, ableiten.

Die Temperatursumme ist bei vielen gartenbaulichen Prozessen eine eindeutige Kennzahl, mit der physiochemische Vorgänge von Pflanzen und Früchten vorhergesagt werden können, weshalb dieser Ansatz für dieses Projekt als logische Schlussfolge-

rung angesehen wird. Allerdings fanden zum aktuellen Zeitpunkt, noch keine konkreten Analysen statt, ob beispielsweise 11 Stunden bei 24 °C Nachreifung in der Reife-kammer die gleiche Reifewirkung auf die Früchte haben wie 12 Std bei 22 °C, was einer identischen Temperatursumme entspräche.

Die folgende Abbildung zeigt, dass die Temperatursummen eine hohe Korrelation zur Fruchtfleischfestigkeit im Laufe der Reifung aufweisen (65 %). Hier wurden für die Ver-suchsreihe 4 (Mangos mit Ursprung Elfenbeinküste) die Temperatursummen ermittelt und mit dem Parameter Fruchtfleischfestigkeit mittels Regressionsanalyse korreliert. Die einzelnen Punkte stellen dabei die Einzelmessungen zum Zeitpunkt der jeweiligen Temperatursumme dar und die schwarze Linie entspricht der Regressionsgeraden.

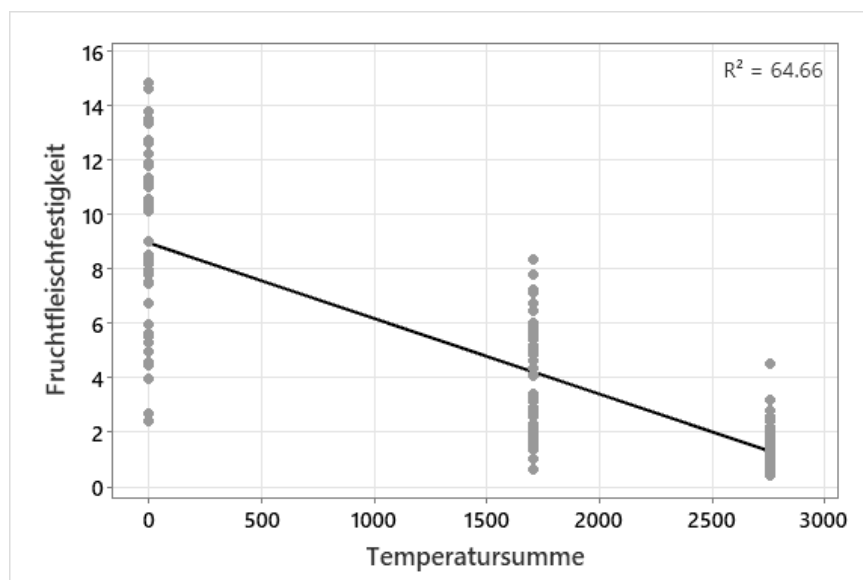


Abbildung 32: Regressionsanalyse zwischen dem vorherzusagenden Parameter Fruchtfleischfestigkeit und dem Parameter Temperatursumme.

Zukünftige Versuchsreihen, die auf den Ergebnissen dieses Projektes aufbauen, sollten sich vertärkt mit dem Zusammenhang zwischen den Temperatursummen und dem Reifeprozess befassen. Dies könnte eine weitere Standardisierung und Qualitätsoptimierung des Reifeprozesses ermöglichen.

Entwicklung eines Reifeindex

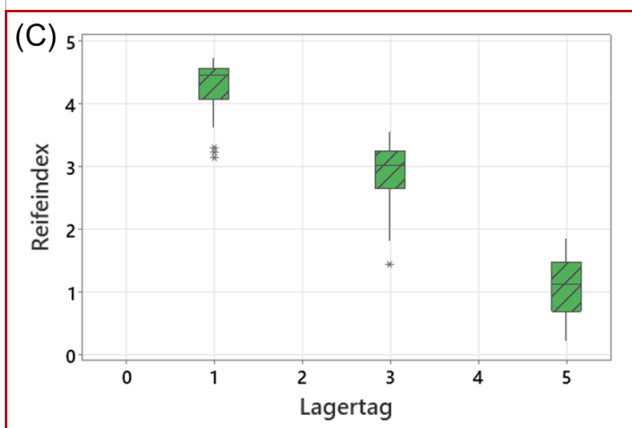
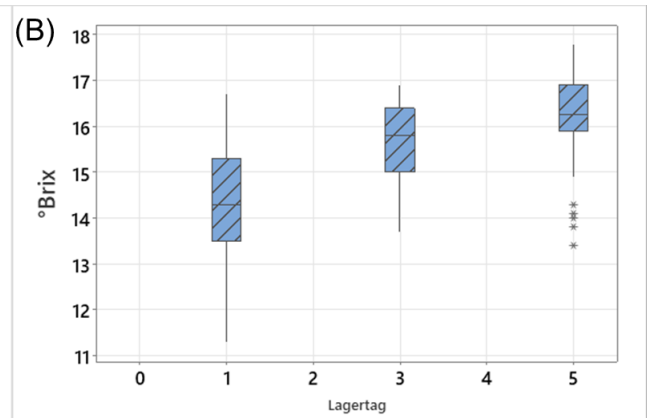
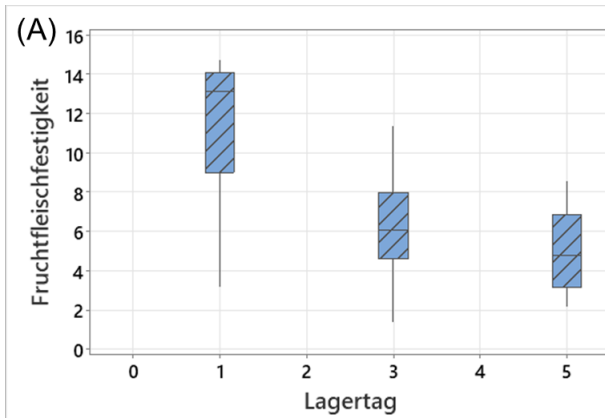
In diesem Projekt wurden lediglich die Qualitäts- und Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit, -farbe, Trockenmasse und °Brix von Mangos untersucht, um an diesen das Reifestadium zu bewerten. Darüber hinaus gibt es auch Ansätze, anstelle der einzelnen Parameter einen Reifeindex zu nutzen, in welchem verschiedene Parameter zusammengefasst werden. Cortés et al. (2016) ist es gelungen die Parameter Fruchtfleischfestigkeit, °Brix sowie die titrierbare Säure miteinander zu kombinieren und ein NIR-Vorhersagemodell für den Reifeindex (siehe Formel 1) für Mangos der Sorte Palmer zu entwickeln (R^2 CV = 0,85). Außerdem berichten sie, dass ein solcher Index eine robustere Bewertung des Reifestadiums zulässt, als wenn einzelne Reifeparameter betrachtet werden.

$$\text{Reifeindex} = -\ln\left(100 \times \frac{\text{Fruchtfleischfestigkeit [kg]} \times \text{Säure [\%]}}{^\circ\text{Brix}}\right)$$

Formel 1: Berechnung des Reifeindex für Mangos nach Cortés et al. (2016)

Aufgrund der Komplexität des Reifeindex sowie der Notwendigkeit für alle einzelnen Parameter zunächst NIR Modelle zu entwickeln, des hohen Aufwands der Säuremessung mittels Titration und der begrenzten Projektlaufzeit, konnte dieser Reifeindex im Rahmen des Projektes nicht validiert werden.

Beispielhaft wurden die Daten der Versuchsreihe 5 nach dem Reifeindex verrechnet. Die Abbildung 33 zeigt die Vorteile des Reifeindex zur Bewertung des Reifestadiums gegenüber der Betrachtung der Einzelparameter Fruchtfleischfestigkeit und °Brix. Zur Berechnung des Reifeindex wurden zusätzliche Säurewerte für die jeweiligen Versuchstage definiert. Dies geschah mittels eines fiktiven Datensatzes, der basierend auf Literaturwerten generiert wurde. Dabei wurden für Tag 1 einheitliche 1,0 %, für Tag 3 0,5 % und für Tag 5 0,1 % titrierbare Säure ausgewählt.



Vorteile von RPI:

- ➔ Vereint die relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter
- ➔ Geringe Variabilität in der Ausprägung
- ➔ Robuster gegenüber Ausreißer
- ➔ Sehr genaue Zuordnung in das Reifestadium möglich

In folgenden Forschungen sollte für sämtliche Mangos, die in Europa als relevant gelten, ebenfalls der Reifeindex entlang der gezielten Reifung erforscht und in die bereits entwickelten Reifestadien eingebettet werden. Dieser Schritt würde zu einer erheblichen Weiterentwicklung der bereits bestehenden Reifestadien von Mangos führen.

7 Fazit und Ausblick

In diesem vom QS-Wissenschaftsfond geförderten Projekt wurden die Verläufe relevanter Qualitäts- und Reifeparameter von Avocados und Mangos entlang der Reifung untersucht. Darauf aufbauend sollten NIR- und Grenzwertmodelle zur Optimierung der gezielten Reifung sowie entsprechende Handlungsempfehlungen entwickelt werden. Daraus leiteten sich folgende Unterziele ab.

- Ermittlung der relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter für Avocados und Mangos
- Entwicklung von NIR-Vorhersagemodellen für diese Parameter zur zerstörungsfreien Ermittlung dieser Werte
- Ableitung von Grenzwerten für verschiedene Zeitpunkte vom Wareneingang bis zur Auslieferung an den LEH
- Entwicklung von Handlungsempfehlungen, womit u. a. die gezielte Reifung der Früchte optimiert und standardisiert werden kann

Für Avocados der Sorte Hass wurden für sämtliche Farbparameter der Fruchtschale sowie für die Trockenmasse (TM) [%] gute NIR-Vorhersagemodelle entwickelt ($R^2 CV_{L^*} = 0,74$; $R^2 CV_{a^*} = 0,69$; $R^2 CV_{b^*} = 0,77$; $R^2 CV_{C^*} = 0,74$; $R^2 CV_{h^\circ} = 0,76$; $R^2 CV_{TM} = 0,77$). Für Mangos der Sorte Kent konnte ein gutes Modell zur zerstörungsfreien Vorhersage des L^* -Wertes ($R^2 CV_{L^*} = 0,77$) des Fruchtfleisches sowie der TM [%] ($R^2 CV_{TM} = 0,73$) entwickelt werden. Außerdem konnte für Mangos der Sorte Kent ein robustes Modell zur Vorhersage der Fruchtfleischfestigkeit [kg] ($R^2 CV_{kg} = 0,74$) entwickelt werden, wobei hier die NIR-Spektren direkt am Fruchtfleisch aufgenommen wurden. Mittels dieser Modelle ist es nun möglich, die eben genannten Parameter mittels NIR-Scannern zerstörungsfrei und in sehr präziser Annäherung zu schätzen.

Für Mangos der Sorte Kent wurden für die drei relevantesten Qualitäts- und Reifeparameter erste Grenzwertmodelle entwickelt. Diese sind Fruchtfleischfestigkeit [kg], Fruchtfleischfarbe (L^*) und °Brix. Für Avocados der Sorte Hass konnten ebenfalls Grenzwertmodelle für den Parameter Fruchtschalenfarbe (L^* , a^* , b^* , C^* und h°) entwickelt werden. Diese hier entwickelten Modelle enthalten sowohl die üblichen Ausprägungen der jeweiligen Parameter zum Zeitpunkt des Wareneingangs, als auch Grenzwerte, die als Indikatoren für den optimalen Auslieferungszeitpunkt definiert wurden.

Mittels dieser Grenzwertmodelle lässt sich zukünftig die gezielte Reifung optimal koordinieren, um den Endverbraucher Früchte in höchster Genussqualität zu bieten.

Aus den Ergebnissen dieses Projektes leiten sich außerdem einige Handlungsempfehlungen für den Großhandel ab. Zukünftig sollte sich der Großhandel an den NIR-Vorhersage- und Grenzwertmodellen bedienen, um die gezielte Reifung optimal zu koordinieren. Außerdem sollten NIR-Scanner als schnelle und zerstörungsfreie Wareneingangskontrolle von Avocados und Mangos für den Parameter Trockenmasse herangezogen werden. Hier kann der Großhandel schnell überprüfen, ob die gelieferte Ware (Avocado) den Mindestanforderungen entspricht und dahingehend eine Lieferantenbewertung aufbauen. Außerdem wurden Empfehlungen für Mindesttrockenmassegehalte für verschiedene Mangos wiedergegeben, die ebenfalls als Grundlage zu einer Lieferantenbewertung herangezogen werden sollten. Eine weitere Erkenntnis in diesem Projekt war, dass die gezielte Reifung von Mangos in Reifekammern positive Effekte auf die Homogenität, Qualität sowie Geschwindigkeit der Reifung von Mangos hat. Dementsprechend sollte nach Möglichkeit, eine Reifung der Früchte, stets unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden, um dem Endverbraucher die höchste Genussqualität darbieten zu können.

Zukünftige Forschungen sollten auf den Ergebnissen dieses Projektes aufbauen. Wichtig ist, die Modelle über einen gesamten Saisonverlauf mit allen Ursprungsländern und weiteren Sorten zu validieren und ergänzen. Diese Daten können dazu genutzt werden, um bestehende Vorhersage- sowie Grenzwertmodelle zu erhalten und zu verbessern. Weiterführende Forschungen, um den Effekt der Temperatursummen auf die Reifung zu untersuchen könnten wichtige Grundlage für eine weitere Standardisierung liefern. Ersten Untersuchungen zufolge liegt zwischen den Parametern Temperatursumme und dem Fortschritt der Reifung (Fruchtfleischfestigkeit) eine starke Korrelation. Des Weiteren könnte ein Reifeindex für Mangos (Cortés et al. 2016) aus mehreren Parametern eine sehr robuste Bewertung des Reifestadiums ermöglichen. Hier wären ergänzende Versuche unter Einbeziehung der Säure notwendig. In Folge dessen könnten sortenspezifische NIR-Vorhersagemodelle sowie weitere Grenzwertmodelle entwickelt werden, die eine präzise Zuordnung des Reifestadiums sowie weitere Optimierungen entlang der gezielten Reifung zulassen.

8 Abschlussarbeiten und Verwertung

Im Rahmen des Projekts wurden zwei Abschlussarbeiten angefertigt.

- Bachelorarbeit: „Entwicklung und Überprüfung eines Modells zur Vorhersage des Reifungsverlaufes von ‘Hass‘ Avocados mittels portabler NIRS-Geräte“. Verfasser: Manuel Münster (Studiengang Lebensmitteltechnologie)
- Masterarbeit: „Einsatz von NIR-Spektroskopie zur Bewertung der Qualitätsentwicklung und Reifung bei Mangos“. Verfasser: Simon Gürbüz

Die Ergebnisse des Projektes werden im kommenden Wintersemester in die Studienmodule „Lagerung und Aufbereitung“ im Bachelorstudiengang Gartenbau und „Qualitätserhaltung in der Nachernte“ im Masterstudiengang „Agrarmanagement“ integriert.

Zudem gibt es an der HSWT ein neues vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst gefördertes Projekt „GreDigree - Green Digital Degree“. Im Rahmen des Projekts sollen drei interdisziplinäre Kollegformate für Studierende mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt werden: FoodNIRS zum Themenfeld Nahinfrarotspektroskopie (NIRS), AgriScrum zum Themenfeld Agile Softwareentwicklung sowie Indoor Vertical Farm zum Einsatz digitaler Technologien im Vertical Farming. In dem Projekt sind verschiedene Professoren und Fakultäten der HSWT beteiligt. Die Ergebnisse aus diesem Projekt können für Studienmodule in dem gerade anlaufenden Projekt einen wichtigen Beitrag insbesondere in Bezug auf Anwendungspotentiale liefern.

9 Vorläufiger Kostennachweis

Unten stehend finden Sie einen vorläufigen Kostennachweis für das Projekt. Es ist davon auszugehen, dass zum 30.09. ein Restbudget von ca. 6000 € vorhanden ist.

Wir würden diese Summe gerne nutzen, um weitere Versuche durchzuführen und die Daten an einigen Stellen noch zu ergänzen. Ziel dabei wäre, die Daten in eine abschließende Publikation einfließen zu lassen. Wir bitten daher darum, von einem Einzug der Restmittel abzusehen.

Projektübersicht gesamt- Budget vs. Ausgaben						
Kostenart:	Summen	Beschäftigte E10	Hilfskräfte	Sonst. Allg. Verw.	Dienst- reisen	Gegenstände/ Invest.
Ausgaben 2021	2.997,87 €	2.997,87 €	- €	- €	- €	- €
Ausgaben 2022	14.129,96 €	13.965,21 €	- €	164,75 €	- €	- €
Ausgaben Projekt Gesamt	17.127,83 €	16.963,08 €	- €	164,75 €	- €	- €
Budget 2021	7.200,00					
Budget 2022	16.800,00					
Budget Gesamt	24.000,00	-	-	-	-	-
Restbudget (Real)	6.872,17					
Differenz %	29%					
Reale Ausgaben + gepl. Kosten	17.127,83	16.963,08	-	164,75	-	-
Restbudget (Plan)	6.872,17					

10 Literaturverzeichnis

- Ahmed, Dorria; Yousef, Aml; Hassan, H. (2010): Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. In: *ABJNA* 1 (5), S. 878–885. DOI: 10.5251/abjna.2010.1.5.878.885.
- Araiza, E.; Osuna, T.; Siller, J.; Contreras, L.; Sanchez, E. (2005): POSTHARVEST QUALITY AND SHELF-LIFE OF MANGO CULTIVARS GROWN AT SINALOA, MEXICO. In: *Acta Hortic.* (682), S. 1275–1281. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.682.170.
- Arzate-Vázquez, Israel; Chanona-Pérez, José Jorge; Perea-Flores, María de Jesús; Calderón-Domínguez, Georgina; Moreno-Armendáriz, Marco A.; Calvo, Hiram et al. (2011): Image Processing Applied to Classification of Avocado Variety Hass (*Persea americana* Mill.) During the Ripening Process. In: *Food Bioprocess Technol* 4 (7), S. 1307–1313. DOI: 10.1007/s11947-011-0595-6.
- Cortés, V.; Ortiz, C.; Aleixos, N.; Blasco, J.; Cubero, S.; Talens, P. (2016): A new internal quality index for mango and its prediction by external visible and near-infrared reflection spectroscopy. In: *Postharvest Biology and Technology* 118, S. 148–158. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.04.011.
- Cox, Katy A.; McGhie, Tony K.; White, Anne; Woolf, Allan B. (2004): Skin colour and pigment changes during ripening of ‘Hass’ avocado fruit. In: *Postharvest Biology and Technology* 31 (3), S. 287–294. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2003.09.008.
- Gonzalez-Moscorso, Sara (2014): Proposing Minimum Quality Indices and Improving Ripening Protocol for Mangos (*Mangifera indica* L.) Imported to the United States for the Improvement of Consumer Quality. In: *University of California, Davis*.
- Ibarra-Garza, Ingrid P.; Ramos-Parra, Perla A.; Hernández-Brenes, Carmen; Jacobo-Velázquez, Daniel A. (2015): Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). In: *Postharvest Biology and Technology* 103, S. 45–54. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.02.014.
- Mishra, Puneet; Woltering, Ernst; El Harchioui, Najim (2020): Improved prediction of ‘Kent’ mango firmness during ripening by near-infrared spectroscopy supported by interval partial least square regression. In: *Infrared Physics & Technology* 110, S. 103459. DOI: 10.1016/j.infrared.2020.103459.

- National Mango Board (2021a): Mango Handling and Ripening Protocol. Online verfügbar unter https://www.mango.org/Mangos/media/Media/Documents/Research%20And%20Resources/Downloads/Industry/Market%20Support/Mango_Handling_and_Ripening_Protocol_Eng.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2021.
- National Mango Board (2021b): Maturity and Ripeness Guide. Online verfügbar unter https://www.mango.org/wp-content/uploads/2017/10/Maturity-poster_hi.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2021.
- Padda, Malkeet S.; do Amarante, Cassandro V.T.; Garcia, Raphael M.; Slaughter, David C.; Mitcham, Elizabeth J. (2011): Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. In: *Postharvest Biology and Technology* 62 (3), S. 267–274. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2011.06.002.
- Saranwong, Sirinnapa; Sornsrivichai, Jinda; Kawano, Sumio (2004): Prediction of ripeness stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. In: *Postharvest Biology and Technology* 31 (2), S. 137–145. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2003.08.007.
- Siller-Cepeda, Jorge; Muy-Rangel, Dolores; Báez-Sañudo, Manuel; Araiza-Lizarde, Evelia; Ireta-Ojeda, Adolfo (2009): Postharvest quality of mango cultivars of early, middle and late seasons. In: *Revista fitotecnia mexicana* 32 (1), S. 45–52.
- UNECE (2009): Norm FFV-42 für die Vermarktung und Qualitätskontrolle von Avocados (45).
- UNECE (2017): Norm FFV-45 für die Vermarktung und Qualitätskontrolle von Mangos (45).
- Yahia, Elhadi M. (Hg.) (2011): Fundamental issues. Cambridge: Woodhead Pub (Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits, v. 2). Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781845697334>.