



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

MASTERTHESIS

Thema Eignung der instrumentellen Farbmessung
zur Differenzierung und Dokumentation
der fortschreitenden Bananenreifung

*Eine Untersuchung im Rahmen des EU-Projekts »Banana Commercialisation and Agriculture Diversification in St. Lucia« (AGL)
des Forschungs- und Transferzentrums »Applications of Life Sciences« Fakultät Life Sciences, HAW Hamburg*

vorgelegt von: Maren Lewinski
Matrikelnummer: 1871615

Referentin: Frau Prof. Dr. M. Busch-Stockfisch
Korreferent: Herr Dipl. Chem. E. Köhn

fertiggestellt und übergeben
Hamburg, den 27.02.2009

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences
Studiengang Food Science (M.sc.)

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	6
Danksagung	7
Zusammenfassung/Abstract	8
1. Einleitung	9
2. Forschungsstand	11
3. Aufgabenstellung	14
4. Theoretische Grundlagen	17
4.1. Bananen	17
4.1.1. Grundlagen der Qualitätsbeurteilung von Bananen	17
4.1.2. Biologie, Anbau und Ernte	19
4.1.3. Handling der Früchte nach der Ernte	21
4.1.4. Physiologische und biochemische Betrachtung der Bananenreife	22
4.1.5. Veränderung der Schalenfarbe	24
4.2. Farbwahrnehmung und -beschreibung	27
4.3. Statistische Qualitätssicherung	32
5. Materialien und Methodik	34
5.1. Materialien	34
5.1.1. Farbmessgerät	34
5.1.2. Bananen	36
5.2. Methodik	38
5.2.1. Planung und Organisation	38
5.2.2. Durchführung	40
5.2.3. Auswertung	46
6. Ergebnisse	48
6.1. Dokumentation des Reifungsverlaufs	48
6.1.1. Marke Bajella	48
6.1.2. Marke Banacol	59
6.1.3. Marke „Gourmetbanane“	70
6.1.4. Vergleich Cavendish-Bananen	82
6.1.5. Vergleich aller untersuchten Bananenmarken	88
6.2. Differenzierung	96
6.2.1. Grundlagen der Differenzierung	96
6.2.2. Differenzierung Bananencluster Marke „Bajella“	102
6.2.3. Differenzierung Bananencluster Marke „Banacol“	103
6.2.4. Differenzierung Bananencluster Marke „Gourmetbanane“	104
6.3. Grundlagenermittlung zur Prüfmethode	105
7. Diskussion	110
8. Zusammenfassung	115
Literaturverzeichnis	117

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Wichtigste Bananenimporteure 2002 – 2004	9
Abbildung 2: Farbchart	12
Abbildung 3: vereinfachte Sortensystematik der Banane	19
Abbildung 4: Entwicklung Bananenhände	20
Abbildung 5: Aufteilung eines Bananenbüschels	20
Abbildung 6: Reifeentwicklung von Bananen	22
Abbildung 7: Beziehungen biochemischer Prozesse und Veränderung der Schalenfarbe	24
Abbildung 8: Zellaufbau	25
Abbildung 9: Abbauweg des Chlorophylls	26
Abbildung 10: Strukturformeln des Chlorophyll und farbloser Chlorophyll-Katabolite	26
Abbildung 11: Das elektromagnetische Spektrum	27
Abbildung 12: $0^\circ/45^\circ$ - Messgeometrie	29
Abbildung 13: $d/8^\circ$ - Geometrie	30
Abbildung 14: Dreidimensionale Darstellung des Farbraums	30
Abbildung 15: SP64 Spektalfotometer	35
Abbildung 16: Differenzierung untersuchter Bananen	36
Abbildung 17: Unternehmenseigener Farbchart zur Differenzierung des Reifegrades	38
Abbildung 18: Bestückung Reifungsraum	42
Abbildung 19: Lage der Stichproben-Kartons	42
Abbildung 20: Anordnung der Bananencluster im Karton	43
Abbildung 21: Darstellung der Messflächen pro Bananencluster	43
Abbildung 22: Verteilung der Messpunkte pro Messfläche	43
Abbildung 23: Messreihenfolge Cavendish Bananen	44
Abbildung 24: Marke Bajella – Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen	49
Abbildung 25: Marke „Bajella“ - Entwicklung des L^* -Wertes	50
Abbildung 26: Marke „Bajella“ - Entwicklung des a^* -Wertes	51
Abbildung 27: Marke „Bajella“ - Zusammenhang von L^* und a^*	52
Abbildung 28: Marke „Bajella“ – Zusammenhang zwischen b^* und C^*	52
Abbildung 29: Marke Bajella - Entwicklungen der b^* - und C^* - Werte	53
Abbildung 30: Marke „Bajella“ - Entwicklung des h° - Wertes	55
Abbildung 31: Marke „Bajella“ - Zusammenhang zwischen DE_{cmc} (2:1) und h°	59
Abbildung 32: Marke Banacol – Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen	60
Abbildung 33: Marke „Banacol“ - Entwicklung des L^* -Wertes	61
Abbildung 34: Marke „Banacol“ - Entwicklung des a^* -Wertes	62
Abbildung 35: Marke „Banacol“ - Zusammenhang von L^* und a^*	63
Abbildung 36: Marke „Banacol“ - Entwicklung der b^* - und C^* - Werte	64
Abbildung 37: Marke „Banacol“ - Zusammenhang von b^* und C^*	65
Abbildung 38: Marke „Banacol“ - Entwicklung des h° - Wertes	66
Abbildung 39: Marke „Banacol“ - Zusammenhang zwischen DE_{cmc} (2:1) und h°	70
Abbildung 40: Marke „Gourmetbanane“ – Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen	71
Abbildung 41: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung des L^* -Wertes	72
Abbildung 42: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung des a^* - Wertes	74

Abbildung 43: Marke „Gourmetbanane“ - Zusammenhang von L^* und a^*	74
Abbildung 44: Marke „Gourmetbanane“ -	75
Abbildung 45: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung der b^* - und C^* - Werte	76
Abbildung 46: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung des h° - Wertes	77
Abbildung 47: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung DE_{cmc} (2:1)	79
Abbildung 48: Marke „Gourmetbanane“ - Zusammenhang zwischen DE_{cmc} (2:1) und h°	81
Abbildung 49: Vergleich Marken „Bajella“ und „Banacol“ -	82
Abbildung 50: Vergleich Marken „Bajella“ und „Banacol“ - Entwicklung DE_{cmc} (2:1)	84
Abbildung 51: Vergleich Marken „Bajella“ : Marke „Banacol“ - Entwicklung DE_{cmc} (2:1)	84
Abbildung 52: Vergleich a^* - Cavendish – Bananen	85
Abbildung 53: Vergleich h° - Cavendish – Bananen	86
Abbildung 54: Markenvergleich – Übersicht der Entwicklung der Farbmaßzahlen	89
Abbildung 55: Markenvergleich - Entwicklung von DE_{cmc} (2:1)	91
Abbildung 56: Markenvergleich – Entwicklungen von a^*	92
Abbildung 57: Markenvergleich – Entwicklung von L^*	93
Abbildung 58: Markenvergleich – Entwicklungen des h° -Wertes	95

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Übersicht themenbezogener Untersuchungsergebnisse und Quellen.....	13
Tabelle 2: Atmungsaktivität von Bananen bei verschiedenen Temperaturen.....	23
Tabelle 3: Xrite - SP64 –Messbare Farbkennzahlen	34
Tabelle 4: Xrite – SP64 - Mögliche Lichtarten	35
Tabelle 5: Vergleich Reifungsprogramme	41
Tabelle 6: Rangskalenzuordnung	45
Tabelle 7: Ergebnis Prüfung ungeklärter Farbgrad-/Reifebezeichnungen.....	45
Tabelle 8: Differenzierungseinheiten	46
Tabelle 9: Marke „Bajella“ – Stichprobenumfänge.....	48
Tabelle 10: Marke „Bajella“ - Veränderungen von L*.....	50
Tabelle 11: Marke „Bajella“ –	51
Tabelle 12: Marke „Bajella“ - Veränderungen von b* und C*	53
Tabelle 13: Marke „Bajella“ - Veränderungen von h°.....	54
Tabelle 14: Marke „Bajella“ – Korrelationen Farbmaßzahlen	55
Tabelle 15: Marke „Banacol“ – Stichprobenumfänge	60
Tabelle 16: Marke „Banacol“ - Veränderungen von L*	61
Tabelle 17: Veränderungen von a*	62
Tabelle 18: Marke „Banacol“ - Veränderungen von b* und C*	63
Tabelle 19: Marke „Banacol“ - Veränderungen von h°	65
Tabelle 20: Marke „Banacol“ – Korrelationen Farbmaßzahlen	66
Tabelle 21: Marke „Gourmetbanane“ - Stichprobenumfänge	71
Tabelle 22: Marke „Gourmetbanane“ - Veränderungen von L*	72
Tabelle 23: Marke „Gourmetbanane“-	73
Tabelle 24: Veränderungen von b*	75
Tabelle 25: Veränderungen von C*	75
Tabelle 26: Marke „Gourmetbanane“ -	77
Tabelle 27: Marke „Gourmetbanane“ – Korrelationen Farbmaßzahlen	78
Tabelle 28: Vergleich Cavendish - Bananen – Veränderung Farbabstand DEcmc (2:1)	83
Tabelle 29: Vergleich – a* - Cavendish – Bananen	85
Tabelle 30: Korrelationen Marken „Bajella“ und „Banacol“	86
Tabelle 31: Marken „Bajella“ und „Banacol“ – Korrelationen zwischen einzelnen.....	87
Tabelle 32: Markenvergleich – Veränderungen von Farbabstand DEcmc (2:1).....	90
Tabelle 33: Markenvergleich – Veränderungen von L*.....	93
Tabelle 34: Markenvergleich Bananencluster.....	97
Tabelle 35: Markenvergleich Bananencluster.....	98
Tabelle 36: Zuordnung Farbrang – Reifegrad entsprechend Farbchart	101
Tabelle 37: Marke „Bajella“ – Reifegrad-Zuordnungen Bananencluster.....	102
Tabelle 38: Marke „Banacol“– Reifegrad-Zuordnungen Bananencluster	103
Tabelle 39: Marke „Gourmetbanane“ – Reifegrad-Zuordnungen Bananencluster	104
Tabelle 40: Marke „Bajella“ – Kennzahlen der Reifegrad-Zuordnungen MF1	109
Tabelle 41: Marke „Gourmetbanane“ – Kennzahlen der Reifegrad-Zuordnungen MF1	110

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit

Masterthesis : Eignung der instrumentellen Farbmessung zur Differenzierung und
Dokumentation der fortschreitenden Bananenreifung

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel
benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind
unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 27.02.2009

Danksagung

Vorliegende Ausarbeitung basiert auf einer recht einfachen Idee. Die Umsetzung erforderte jedoch die komplexe Betrachtung einer Vielzahl studiengangsfremder Betrachtungsweisen, das nötige Equipment, ausreichend Bananen und viel Zeit. Für die Initiierung und Koordination des Projektes sowie die Unterstützung bei aufgetretenen Problemen möchte ich mich herzlich bedanken bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Walter Leal und dem FTZ-ALS – Team. Gleichzeitig geht mein Dank an meine beiden betreuenden Referenten, Frau Prof. Dr. Mechthild Busch-Stockfisch und Herrn Diplom-Chemiker Ehrhard Köhn für die fachliche Betreuung. Ohne ihre manchmal zum Glück kritische Betrachtungsweise wäre die Auswertung und Darstellung der ermittelten Daten sicher nicht so anschaulich gelungen. Den Unternehmen Dole Fresh Fruit Europe OHG, in Person von Hr. Claußen, und Paul Kempowski GmbH & Co. KG (in Person von Hr. Deinert mit freundlicher Genehmigung von Hr. Bremecker) danke ich für die fachliche Unterstützung, die finanzielle Unterstützung und die Bereitstellung der Bananen. Den Mitarbeitern beider Unternehmen danke ich für die tatkräftige Unterstützung an den Untersuchungstagen – den Reifemeistern Hr. Bostelmann, Hr. Spaneas, Hr. Petersen, Hr. Hardt, Hr. Hens – für die Beurteilung der vielen Bananencluster und Beantwortung meiner vielen Fragen, und vielen helfenden Händen, leider nicht namentlich bekannt, die mir, wann immer es ihre Zeit zuließ, das Schleppen und Stapeln der Kisten abnahmen.

Die ganze Thematik hätte jedoch nicht bearbeitet werden können ohne die Unterstützung des Unternehmens X-rite Inc., welches das Farbmessgerät leihweise zur Verfügung stellte. Hier gilt mein besonderer Dank Herrn Michael Petersilge, der nicht nur das Gerät persönlich vorbeibrachte, sondern auch noch eine „Schnellschulung“ absolvierte, die es mir erst ermöglichte mit dem Farbmessgerät zu arbeiten. Auch im fortschreitenden Verlauf der Untersuchung gab er mir zu „farbtechnischen“ Fragen gerne und schnell helfende Antworten.

Ganz besonders herzlich danke ich mich bei meiner Familie für ihre Geduld.

Hamburg, den 27.02.2009

Zusammenfassung/Abstract

Aus den Ergebnissen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass das genutzte Farbmessgerät und die gewählte Messgeometrie gut zur reproduzierbaren Farbmessung an reifenden Bananen geeignet sind. Durch die Farbmessung können objektive Farbmaßzahlen gewonnen werden, die eine sehr genaue Farbdefinition und Farbbeschreibung ermöglichen.

Die ermittelten Daten können sowohl zur Dokumentation als auch, entsprechend ausgewertet, im Rahmen der Qualitätssicherung oder -kontrolle für andere Zwecke genutzt werden. Hinsichtlich der Differenzierung sollte unterschieden werden zwischen

Ermittlung von Differenzen zwischen verschiedenen Bananensorten oder – marken

- auf Grund der ermittelten Ergebnisse kann die instrumentelle Farbmessung als gut geeignet angesehen werden

Differenzierung der Schalenfarbe als Ersatz oder zur Unterstützung der visuellen Beurteilungen in Reife- oder Farbgrade

- Bedingt durch das im Rahmen dieser Untersuchung ermittelte, teilweise große Überschneidungspotential zwischen den Reifegraden muss davon ausgegangen werden, dass die instrumentelle Farbmessung nicht zur Reifegrad-Differenzierung geeignet ist.

Hinweise zur Umsetzung in eine mögliche, allgemein gültige Prüfmethodik können anhand der vorliegenden Daten nicht gemacht werden. Der Untersuchungsumfang wird als zu klein angesehen, um repräsentative Ergebnisse zu liefern. Bedingt durch die natürliche, aber auch reifungsbedingte Streuung der Schalenfarbe sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um diesbezügliche Aussagen besser abzusichern.

Abstract

From the results it can be summarised that the used spectrometer are well suitable for reproducible colorimetry at ripening bananas. Objective colour values could be won, which made a very exact colour definition and colour description possible. The determined data can be used for documentation and, accordingly to be evaluated, in the context of the quality assurance or - control for other purposes. Regarding the differentiation, it should be differentiated between

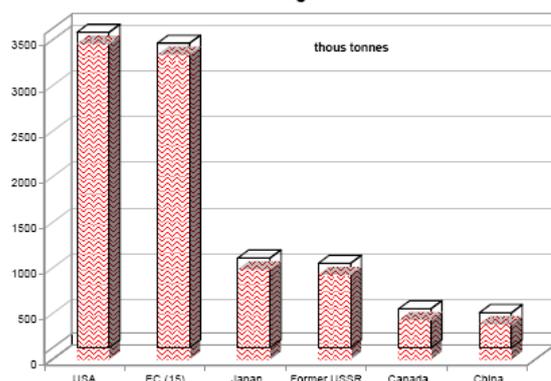
- determination of differences between differently banana sorts or – brands. Due to the determined results the instrumental colorimetry can be regarded as well suitably.
- differentiation of the peel color as replacement or for the support of the visual evaluations in ripening- or colour degrees. In the context of this investigation the determined, partial large overlap potential between the ripening degrees it must be assumed that the instrumental colorimetry is not suitable for the ripe degree differentiation.

References to the conversion to a possible, generally valid test method cannot be made on the basis of the available data. The investigation extent is regarded as too small, in order to supply representative results. Under the natural, in addition, ripening-conditioned dispersion of the peel colour further investigations should be accomplished, in order to secure relevant statements better.

1. Einleitung

Bananen werden der Familie der Musaceae zugeordnet und hauptsächlich differenziert in Obstbananen (Bananen) und Gemüse- bzw. Kochbananen (Plantains). Etwa 80% der hauptsächlich in Entwicklungsländern angebauten Bananen werden nicht exportiert, sondern dienen der einheimischen Bevölkerung als wichtiges Grundnahrungsmittel.

**Banana Imports Major Countries
2002 - 2004
average**



Dem internationalen Bananenhandel stehen ca. 20% der weltweiten Bananenproduktion zur Verfügung (UNCTAD, 2003, S.1). Obstbananen stellen das weitaus größte Kontingent der Bananenimporte. Die EU - Staaten sind nach den letzten veröffentlichten Zahlen der FAO (FAO, Rome, 2006) neben den USA die wichtigsten Importeure von Bananen.

Abbildung 1: Wichtigste Bananenimporteure 2002 – 2004

(FAO Statistical Yearbook 2005, FAO, Rome, 2006)

Der Markt für Bananen in den Importländern ist zunehmend auf die Befriedigung der Konsumentenansprüche ausgerichtet, wodurch auch Vertriebsstrategien beeinflusst werden (UNCTAD, 2003, S.13). Die UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) veröffentlichte 2003 in ihrem Bericht „Major Developments and Recent Trends in International Banana Marketing Structures“, dass sich durch wachsendes Verbraucherbewusstsein hinsichtlich gesundheitlicher, ernährungsphysiologischer sowie umweltbeeinflussender- und sozialer Aspekte der Bananenproduktion das Kauf- und Konsumverhalten des Verbrauchers verändert hat (UNCTAD, 2003, S.13). Kaufentscheidungen werden eher aufgrund qualitativer- als quantitativer Faktoren getroffen. Die Konsumenten tendieren zur Nachfrage höherwertiger Produkte. Sie sind grundsätzlich am Geschmack, dem Erscheinungsbild und der Form von Bananen interessiert. Beeinflusst wird die Bananennachfrage aber auch durch gestiegenes Interesse an innovativen, neuen Produkten sowie biologisch produzierten und fair gehandelten Bananen. Gleichzeitig wird Produktaufklärung über Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit bzw. Transparenz der Produktion und des Vertriebsweges gefordert (UNCTAD, 2003, S.13).

Qualitative Merkmale von Früchten sind abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren. Hierzu zählen unter anderem die genetisch festgelegten Eigenschaften der Sorte, verschiedene ökologische Einflussfaktoren, die Anbautechnik, der Reifezustand und die Behandlung der Früchte nach der Ernte bis zum Verkauf. Wertbestimmende Bestandteile der „Qualität“, wie zum Beispiel der Marktwert, der Gebrauchs- bzw. Genusswert, der ernährungsphysiologische Wert und der ideelle Wert sind jedoch für die Produzenten, den Handel und den Verbraucher von unterschiedlicher Bedeutung.

Zur Qualitätssicherung werden sowohl international als auch national zunehmend entsprechende Qualitätsstandards und Zertifizierungen gefordert (OECD; 2004). Gleichzeitig zeigt der Einzelhandel verstärkt Interesse an produktorientierten Qualitätsmanagement-Systemen. Die derzeitige Entwicklung ist hauptsächlich auf die ansteigende vertikale Koordination des Vertriebskettenmanagements führender Verkaufsketten zurückzuführen, das sich auf Lebensmittelsicherheit, Qualitätsbewusstsein und Zertifizierungen konzentriert. Es werden langfristige Kontrakte mit bevorzugten Handelsunternehmen eingegangen, um einen kontinuierlichen Vertrieb auf festgelegten Qualitätsstufen zu garantieren (UNCTAD, 2003, S.12). In der Produktion und im Handel mit Bananen involvierte Unternehmen haben darauf mit Codes of conduct, Standardisierung und Kampagnen reagiert. (UNCTAD, 2003, S.13). Dementsprechend kommt es zu einer Verlagerung der Unternehmensaktivitäten (UNCTAD, 2003, S. 35).

Farbkonstanz wird im Lebensmittelhandel allgemein als wichtiger Bestandteil der Produktqualität angesehen. Es gilt als erwiesen, dass die Produktfarbe die sensorischen Sinne Geruch und Geschmack beeinflussen kann (Busch-Stockfisch, M., 08/02, Kap.1.2.1.1, S.5). Die Farbe der Schale und des Fruchtfleisches von Früchten der Gattung *Musa* gehört zu den wichtigsten Beurteilungskriterien der nach der Ernte relevanten Qualitätsmerkmale. Die Schalenfarbe ist meistens das wichtigste, von Forschern, Produzenten und Konsumenten genutzte Kriterium zur Unterscheidung des Reifeszustandes. (Medlicott *et al.*, 1992 in: Dadzie, B.K. et J.E. Orchard, 1997, S.7). In einigen Ländern haben Konsumenten unterschiedliche Korrelationen zwischen der Farbe und anderen Merkmalen der sensorischen Qualität spezifischer Produkte entwickelt. Die Farbe der Bananenschale ist für Verbraucher ein Kauf entscheidendes Kriterium und somit von hoher, kommerzieller Bedeutung. Sie trägt möglicherweise mehr zur ersten Qualitätsbeurteilung durch den Konsumenten bei als jeder andere Faktor. Gleichzeitig kann sie Indikator für den Verderb, Krankheitsmanifestation und/oder – kontamination sein. (Dadzie, B.K. et J.E. Orchard; 1997; S. 7)

Bei der Schalenfarbe von Bananen handelt sich um ein Qualitätskriterium, welches rechtlich nicht geregelt ist. Die Bewertung von Farben kann grundsätzlich durch visuellen Vergleich mit einem Referenzmuster / Vergleichsmedium oder instrumentelle Farbmessung erfolgen. Selbst bei Nutzung sensorischer und physikalischer Prüfverfahren wie z.B. Farbmessgeräten, kommt es durch natürlich bedingte Streuung zu Abweichungen von festgelegten Werten. Die Akzeptanzdefinition der Farbe und die Festlegung von Akzeptanzgrenzen sowie die Regulation von Farbabweichungen obliegt betriebsinternen Mechanismen und/oder Absprachen mit dem Kunden oder Lieferanten. Die Kommunikation der Farbwahrnehmung erfordert im Allgemeinen eine Einschätzung, eine Beschreibung und ein Mittel zur systematischen Übertragung der Ergebnisse.

2. Forschungsstand

Untersuchungen über Veränderungen in der Zusammensetzung der Bananen während der Reifung und der nach der Ernte relevanten Aspekte der Biochemie und Physiologie sind bereits seit 1861 bekannt. Die Anzahl der durchgeführten Untersuchungen hat in den letzten 50 Jahren auf Grund der Bedeutung der Früchte der *Musa spp.* als stärkehaltiges, Energie lieferndes Grundnahrungsmittel in den Entwicklungsländern und des gestiegenen Importvolumens deutlich zugenommen. Übersichten bzw. Zusammenfassungen des vorliegenden Informationsmaterials wurden von mehreren Forschern, wie z.B. *Von Loesecke* (1950), *Simmonds* (1959, 1966), *Palmer* (1971), *Marriot* (1980) und *Stover* (1987) erstellt.

Turner veröffentlichte 1997 in seiner Zusammenfassung „Bananas and Plantains“ (in *Mitra, S.*, 1997, S. 47-83), dass besonders die Werke folgender Autoren von Bedeutung waren:

- *Seymour* (1993) diskutierte die Biochemie der Bananenreifung –mit Konzentration auf Ethylenbiosynthese und Kohlenhydratstoffwechsel. Er fasste zusammen, dass bereits Sequenzen des Stoffwechsels bekannt sind und zukünftige Arbeiten Kontrollmechanismen für molekulare biologische Aktivitäten herausarbeiten müssten
- *John and Marchal* (1995) befassten sich mit dem preklimakterischen Zustand (greenlife) und beeinflussenden Umweltfaktoren. Sie fassten zusammen, dass die gewonnenen Erkenntnisse nicht ohne weiteres von der Obstbanane auf Gemüsebananen (Plantains) zu übertragen sind, da bereits geringe genetische Unterschiede der Früchte die beteiligten biochemischen Prozesse beeinflussen können. (*Tucker*, 1993).
- *Thompson and Burden* (1995) beschäftigten sich mit angewandten Praktiken der Nachreifung, die die Physiologie des preklimakterischen Zustandes (greenlife) beeinflussen. Sie beobachteten und beschrieben die Aspekte der mechanischen Beschädigung, der pathologischen Defekte und der ungleichmäßigen Reifung (*Turner, D.W.*; 1997; S.48 - 49).

Von den biochemischen- und physiologischen Veränderungen, die während der Reifung von Bananen stattfinden, wird die Veränderung der Schalenfarbe als wichtigster Indikator angesehen. Bereits 1975 wurde von der United Brand Company (Chiquita) gefordert, „...dass die Bananen beim Einzelhandelsverkauf eine einheitliche gelbe Farbe haben müssen. ... Eine von [der] United Brand Company vorgenommenen Marktuntersuchung hat ergeben, dass die Verbraucher Bananen in folgendem Verhältnis zu kaufen wünschen:

- Farbe Nr. 3 = 3 %,
- Farbe Nr. 4 = 13 %,
- Farbe Nr. 5 = 36 %,
- Farbe Nr. 6 = 41 %,
- Farbe Nr. 7 = 7 % “ (76/353/EWG, S. 6).

Die Bedeutung der goldgelben Farbe, Farbe 6 und 7, für das Markenimage wird bis heute durch die Öffentlichkeitskampagnen der großen transnationalen Unternehmen unterstützt (76/353/EWG, S. 6; UNCTAD, 2003, S.27).

Grundsätzlich kann die Schalenfarbe von Bananen sowohl visuell, chemisch als auch instrumentell analysiert werden (Li, M. et al.; 1997, S. 274; aus: Knee, 1980; Wainwright and Hughes, 1989; Medicott et al. 1990)

Die visuelle Beurteilung bzw. Bestimmung des Reifestadiums erfolgt durch einen menschlichen Beobachter, der die Übereinstimmung der Schalenfarbe mit einem „standardisierten“ Farbchart abgleicht und einem Farbgrad zuordnet. Von Loeseke beschrieb bereits 1949 ein zur visuellen Beurteilung der Schalenfarbe vorgesehenes/geeignetes Farbchart, dass in 8 Skaleneinheiten differenzierte.

Skaleneinheit	Beschreibung	Skaleneinheit	Beschreibung
1	dunkelgrün,	5	ist grünfleckig,
2	ist gesprenkelt grün,	6	ist vollgelb,
3	ist mehr grün als gelb,	7	ist gelb mit braunen Zuckerflecken
4	ist mehr gelb als grün,	8	ist braun werdend und überreif

Das in Abbildung 2 dargestellte Farbchart differenziert die Reifestadien auf einer Skala von 2 bis 7 und kann als Weiterentwicklung des ursprünglichen Differenzierungsmaßes (von Loeseke) angesehen werden. Große transnationale Unternehmen nutzen diese Differenzierung zur Erstellung unternehmenseigener Farbcharts. Vervielfältigte Exemplare davon werden sowohl unternehmensintern wie auch an Kunden als Beurteilungsgrundlage der Schalenfarbe bzw. des Reifegrades verteilt.

Reifestadien					
2	3	4	5	6	7
					
hellgrün	mehr grün als gelb	mehr gelb als grün	gelb mit grünen Spitzen	vollgelb	volles Gelb mit Zuckerflecken
-	-	-	-	-	-
Der Reifeprozess hat eingesetzt	Bei hohen Temperaturen, üblicher Zeitpunkt der Auslieferung an den Einzelhandel	Zeitpunkt der Auslieferung an den Einzelhandel	Bestes Reifestadium zum Verkauf an den Verbraucher	Optimaler Geschmack zum Verzehr	Sofortiger Verzehr empfohlen

Abbildung 2: Farbchart
(Bananenletters;2008)

Chemisch kann die Schalenfarbe mit Hilfe von Extraktion und Analyse des Gehaltes an Pigmenten bzw. Pigmentkomponenten zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Reifung bestimmt werden. Es ist wissenschaftlich nachgewiesen, dass die Änderung der Schalenfarbe stark mit dem Chlorophyllgehalt der Schale korreliert ist, so dass durch einen Vergleich der ermittelten Daten eine Änderung festgestellt werden kann. (Li, M. et al; 1997; S. 278; Clesceri et al., 1989).

Instrumentell und non-destruktiv kann die Bestimmung der Schalenfarbe durch Messung physikalischer Eigenschaften, wie zum Beispiel der Oberflächenreflexion mit Hilfe von Spektralphotometern durchgeführt werden. Farbveränderungen werden über den Vergleich der Reflexionsdaten und daraus berechneter Farbmaßzahlen ermittelt.

Von der INIBAP (International Network for Improvement of Banana and Plantain) wurde 1997 zur Untersuchung der Schalenfarbe der Einsatz entsprechender Farbcharts und/oder objektiver instrumenteller Farbmessgeräte empfohlen. Die Beurteilung der Schalenfarbe sollte durch Mittelwertbildung aus 2-3 Messungen je Fruchtoberfläche und die Dokumentation auf der Hunter L*, a* und b*- Skale erfolgen.

Neuere Arbeiten beziehen sich in der Beurteilung der Bananenfarbe und der Korrelation der Farbe mit anderen Reifungsindikatoren auf den von der CIE entwickelten L*a*b* - Farbraum. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über bereits veröffentlichte Ergebnisse.

Tabelle 1: Übersicht themenbezogener Untersuchungsergebnisse und Quellen
(teilweise übernommen aus: Li, M. et al; 1997; S. 274)

Untersucher Zusammenhang	Bemerkungen	Quellen
Schalenglanz und physikalische bzw. chemische Veränderungen während der Reifung	Untersuchung der Korrelation des Schalenglanzes und der Schalenfarbe von „Dwarf-Cavendish“-Bananen – quantitative und strukturelle Veränderungen von Oberflächenwachsen	Ward and Nussinovitch, 1996
Oberflächenreflektion der Schale und Schalenfarbe	Grün-Gelb-Veränderungen an Früchten und Gemüsen	Ramaswany and Richards 1980;
	Untersuchung der Bananenreifung durch optische Reflexion	Chen and Chiu, 1990;
	Beurteilung der Tomatenfarbe während der Reifung	Dixon and Hobson, 1984;
	Objektive Messung des Bananenfruchtfleisches und Veränderungen während der Reifung	Wainwright and Hughes 1989
Chlorophyllgehalt der Schale und Schalenfarbe	Cavendish Bananen unterschiedlicher Reifegrade – Vergleich mit analysiertem Chlorophyllgehalt, Ergebnissen instrumenteller Farbmessung (45°/0°) und visueller Beurteilung auf Skalenniveau 1 - 7	Li et al., 1997
Fruchtfleisch-Brechungskraft [kg] und Schalenfarbe	Bananen (Musa AAA cv. Valley) – Reifung mit 1000 ppm Ethylen bei 19 – 21 °C	Medlicott et al. 1990
Prozentualer Gehalt an löslichen Komponenten und Schalenfarbe	Bananen (Musa AAA cv. Valley) – Reifung mit 1000 ppm Ethylen bei 19 – 21 °C	Medlicott et al. 1990
Schalensfarbe und Stärkegehalt	Bananen (Cavendish)-Reifung mit 500 ppm Ethylen bei verschiedenen Temperaturen Vergleich auf Skalenniveau 1 – 8 (Schalensfarbe) und 1 – 10 (Stärkegehalt)	Blankenship et al., 1993
Zuckergehalt und Schalenfarbe	Bananen (Cavendish)-Reifung mit 500 ppm Ethylen bei verschiedenen Temperaturen	Seo und Hosokawa, 1982

Untersuchungen der Fruchtfleischfarbe von Bananen mit Hilfe der instrumentellen Farbmessung wurden bereits von *Duelin* (1963) und von *Wainwright und Hughes* (1989,1990) durchgeführt. (Dadzie, B.K. et J.E. Orchard, 1997, S.7)

3. Aufgabenstellung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der routinemäßigen Qualitätskontrolle der Reife von Bananen, wie sie in Produktions-, Lieferanten- und Handelsbetrieben durchgeführt wird. Sensorische Methoden dienen hier oftmals der Objektivierung subjektiver Wahrnehmungen. Die Bewertung des Reifegrades erfolgt in der Praxis unter anderem durch visuelle Eingruppierung der Schalenfarbe in vorgegebene Farbkategorien, so genannte Farbgrade. Hierzu werden meist unternehmensinterne Farbcharts als Hilfsmittel verwendet – oft bezieht sich die Bewertung durch Reifemeister jedoch auch auf Erfahrungswerte. Diese Vorgehensweise ist historisch gewachsen und allgemein akzeptiert. Steigende Anforderungen an die Lebensmittelqualität können als Ursache für das zunehmende Interesse an der Optimierung qualitativer Prüfmethode angesehen werden.

Der visuelle Vergleich der Schalenfarbe mit den Erfahrungswerten kompetenter Reifemeister und/oder Farbcharts zur Beurteilung des Reifegrades von Bananen kann als einfaches und schnell durchzuführendes, qualitatives Prüfverfahren angesehen werden. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in den meisten Fällen an Hand der Referenz „Farbchart“, die unveränderlich sein sollte. Die Durchführung ist non-destruktiv und kostengünstig.

Bei genauer Betrachtung birgt dieses Prüfverfahren jedoch folgendes Fehlerpotential:

- durch die Nutzung unterschiedlicher kommerzieller Vervielfältigungs- und Verteilungsmöglichkeiten der Farbcharts, als Printmedium und/oder digitalisiert, kann es zu technisch bedingten Farbverschiebungen kommen, die eine korrekte Farbeinstufung erschweren.
- die grafische Darstellung der Bananencluster auf den verwendeten Farbcharts
 - entspricht nicht dem visuellen Bild, das sich nach dem Öffnen eines Bananenkartons ergibt. Zur korrekten Bewertung müssen einzelne Cluster aus den Kartons entnommen und umgedreht werden.
- die Differenzierung in exakt 7 Farbstufen und die wenig detaillierte verbale Beschreibung der Schalenfarbe erlauben keine Toleranzbildung oder Bildung von Akzeptanzgrenzen.
 - auf Grund der natürlich bedingten Streuung der Schalenfarbe werden in der Praxis jedoch oft Zwischenstufen unter verschiedenen, nicht standardisierten Bezeichnungen zur Differenzierung des Farbgrades angegeben.
- die Farbcharts werden in der Praxis zur Differenzierung des Reifegrades aller kommerziell vertriebenen Bananensorten genutzt.
 - sorten- und markenspezifische Parameter finden keine Berücksichtigung.
- es können differente visuelle Beurteilungen der Produktfarbe identischer Ware verursacht werden.
 - durch unterschiedlich gehandhabte, nicht standardisierte Prüf- und Abmusterungsbedingungen, wie z.B. Prüfumfeld, Probenzusammensetzung, Beleuchtung.

- individuell differente Farbwahrnehmungsfähigkeiten und vorhandene Beurteilungserfahrung der Prüfperson (Reifemeister).
- die Beurteilung der Schalenfarbe ist personengebunden und subjektiv.
 - Im Verlauf der Distribution erfolgt die Beurteilung der Reife der Bananenschalenfarbe durch mindestens zwei- oft noch mehrere Personen unter nicht vergleichbaren Bedingungen.
- Die Art und Ausprägung von auftretenden Bewertungsdifferenzen sind abhängig vom Produkt sowie vom Grad der Schulung standardisierter Beurteilungsgrundlagen.
- Bedingt durch die Subjektivität der Ergebnisse ermöglicht die Qualitätskontrolle und die Dokumentation der Reifegradbewertung keine oder nur in geringem Maße eine Nutzung zu weiterführenden wissenschaftlichen Zwecken.
- Im Handel ist man sich der natürlichen Schwankungsbreite der Schalenfarbe bewusst und toleriert/akzeptiert mehr oder weniger stillschweigend entsprechende Bewertungsdifferenzen innerhalb einer Verkaufseinheit/Lieferung. Im Zweifelsfall steht hier Aussage gegen Aussage. Beauftragte Gutachter unterliegen bei ihren visuellen Beurteilungen ebenso den Beeinflussungen von Prüfbedingungen und Farbwahrnehmungsfähigkeiten, so dass auch ihre Gutachten als subjektiv betrachtet werden sollten.

Besonders in den letzten Jahren ist die Entwicklung instrumenteller Farbmessgeräte weit fortgeschritten. Sie werden in verschiedenen Industriezweigen, besonders in der Farben- und Druckindustrie aber auch lebensmitteltechnischen Industriezweigen, vermehrt in der Qualitätskontrolle zur Überprüfung der Farbkonstanz eingesetzt. Eine Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Geräte ermöglichen eine non-destruktive Bestimmung der Farbe. Objektive Farbmessungen basieren auf der Messung des von einer Probe reflektierten Lichts im sichtbaren Spektralbereich von ca. 400 bis 700 nm. Über verschiedene mathematische Berechnungen und Transformationen werden normierte Farbmaßzahlen erhalten. Diese Zahlenwerte ermöglichen die Definition einer Probenfarbe, die Beschreibung ihrer Lage in einem Farbraum und die Durchführung von Farbvergleichen mit Referenzproben. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Trend zu instrumentellen Verfahren langfristig gegenüber dem visuellen Vergleich durchsetzt und damit die Beurteilung der Farbe auf eine objektive und nachvollziehbare Basis gebracht wird.

Im Vergleich mit der visuellen Beurteilung ergeben sich durch Nutzung der instrumentellen Farbmessung folgende Vorteile:

- Exakte Farbdefinition durch Spektrenerfassung
- Ermittlung von Farbmaßzahlen, die die Farbabweichung der Probe von einer Referenzprobe beschreiben.
- Bessere Reproduzierbarkeit
- Farbabweichungen können genau definiert und zugeordnet werden
 - Festlegung von Akzeptanz- und Toleranzgrenzen werden ermöglicht

- Durch Nutzung von Farbmess-Systemen, Farbmessgeräten mit PC-Anschluss und – Steuerung, sowie die Verwendung einer Anwendungssoftware wird die Auswertung, Dokumentation und Nutzung der Daten für andere Anwendungsbereiche vereinfacht.
- Die Anwendung ist benutzerunabhängig
- Die Nutzung ermöglicht die Senkung der Analysekosten in Abhängigkeit vom Einsatzbereich.

Eine Umsetzung und/oder Integration der instrumentellen Farbmessung als Prüfmethode in die Praxis der Reifegradbeurteilung von frischem Obst, speziell Bananen, erfolgte bislang nicht. Als Ursache hierfür kann angesehen werden, dass die „Reife“ als latente Variable von zahlreichen, unterschiedlichen Faktoren abhängig und beeinflussbar ist. Gleichzeitig ist die Bestimmung über verschiedene Prüfparameter möglich. Die Schalenfarbe von Bananen, als wichtiger Indikator der Reife, weist eine natürlich bedingte Streuung auf und kann durch verschiedene Nachbehandlungsverfahren individuell gesteuert werden.

Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, in wie weit die instrumentelle Farbmessung in der routinemäßigen Kontrolle der Schalenfarbe gegenüber der visuellen Beurteilung Vorteile aufweisen kann.

Hierzu wird die Abklärung folgender Fragestellungen als notwendig erachtet:

- Welche Voraussetzungen müssen für den Einsatz erfüllt sein oder berücksichtigt werden?
- wird eine exakte Farbdefinition / Farb- und/oder Farbdifferenzbeschreibung ermöglicht?
- ist die Messung der Daten reproduzierbar?
- können reproduzierbare Daten gemessen werden?
- können die gewonnenen Daten zur Dokumentation genutzt werden?
- ist an Hand der ermittelten Daten auch eine Nutzung zu anderen Zwecken, wie z.B. Aufdeckung sorten- oder markenspezifischer Unterschiede, Abklärung von Zusammenhängen mit anderen Reifungsparametern, etc. möglich?
- ergeben sich durch die Nutzung von Farbmaßzahlen Differenzierungsalternativen der Schalenfarbe und Reifegrade?
- wie gut entspricht eine solche mögliche Differenzierung den visuellen Beurteilungen erfahrener Reifemeister?
- wie könnte eine Prüfmethode aussehen bzw. wie müsste das Prüfverfahren konzipiert sein?

Da bislang keine, auf diese Problematik bezogenen, zur Orientierung geeigneten, wissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse vorliegen, wurden die Untersuchungen in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Dole Fresh Fruit Europe OHG und Paul Kempowski GmbH & Co.KG in unternehmenseigenen Reifungszentren experimentell durchgeführt. Großer Wert wurde auf die praxisorientierte Ausrichtung der Stichprobenziehung gelegt, um Anhaltspunkte für eine spätere Anwendung in der Qualitätskontrolle zu erhalten. Zur Abklärung oben angeführter Fragestellungen erfolgten visuelle Beurteilungen und parallel

durchgeführte instrumentelle Farbmessungen von Cavendish-Bananen sowie Bananen der Sorte Pisang Mas. Die ermittelten Farbmaßzahlen wurden unter Nutzung spezieller Anwendungssoftware und verschiedener statistischer Methoden ausgewertet und deren Eignung zu Dokumentations- und Differenzierungszwecken beispielhaft für die untersuchten Bananenmarken geprüft.

Ziel der Untersuchung ist es, auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse die Grundlage für eine, auf instrumenteller Farbmessung basierende, objektive und international zu kommunizierende Methodik der Farb- und Qualitätsdifferenzierung von Bananen zu erarbeiten. Vorliegende Ergebnisse könnten zur Integration in interne Qualitätsstrategien sowie zur internen und externen Kommunikation von farbbezogenen Qualitätsdifferenzen, z.B. mit Kunden oder Lieferanten, genutzt werden.

4. Theoretische Grundlagen

4.1. Bananen

4.1.1. Grundlagen der Qualitätsbeurteilung von Bananen

Rechtlich gesehen wird die Vermarktung von Bananen in Europa durch die seit dem 01.01.2008 geltende Marktorganisation für Obst und Gemüse (VO(EG) Nr. 2200/96-geändert durch VO(EG) Nr. 1182/2007 und 1234/2007) geregelt. Die Regelung der Durchführungsbestimmungen sowie die Ausnahmetatbestände für die Einhaltung der Vermarktungsnormen erfolgt in der Verordnung (EG) Nr. 1580/2007. Die ursprünglich nach VO (EG) Nr. 2200/96 erlassenen Vermarktungsnormen bleiben weiterhin bestehen (www.ble.de, 2008). Bananen gehören zu den Warenarten die gemäß VO (EG) Nr. 1148/2001 bei der Einfuhr einer Konformitätskontrolle unterliegen (www.ble.de, 2008).

Im Jahr 2007 wurde (bis zum November 2008 testweise) von der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) ein Standard Layout für frische Früchte und Gemüse veröffentlicht, das sich auf die für die Kontrolle der Vermarktung und der kommerziellen Qualität relevanten Angaben bezieht (www.unece.org). Grundsätzlich sind die minimalen Qualitätsanforderungen an Bananen im Codex Alimentarius geregelt. (Codex Standard for Bananas, 2005). Die Umsetzung in europäisches Recht erfolgt über VO(EG) Nr. 2257/94 zur Festsetzung von Qualitätsnormen für Bananen, zuletzt geändert durch die VO(EG)386/97 – Stand: 01.03.1997.

Die Norm regelt den Geltungsbereich, die Begriffsbestimmung und die Bestimmungen betreffend der Güteeigenschaften, der Größensortierung, die Toleranzen, die Aufmachung und die Kennzeichnung. Im Anhang sind die wichtigsten Sortengruppen, Untergruppen und Anbausorten vermarkteter Obstbananen aufgeführt. Danach gilt die Norm „für Bananen der im Anhang aufgeführten Anbausorten der Gattung *Musa (AAA) spp.* Untergruppen Cavendish ..., zur Lieferung in frischem Zustand an den Verbraucher.“ Die Norm bestimmt nur „die Güteeigenschaften, die grüne, nicht gereifte Bananen nach der Aufbereitung und Verpackung aufweisen müssen.“ (VO(EG) Nr. 2257/94). Reifungsbedingte Änderungen qualitativer Eigenschaften werden durch die Norm nicht erfasst oder geregelt.

Einen Überblick über die für Obst und Gemüse relevanten Standards, Definitionen und Begriffe verschafft der von der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2007 veröffentlichte Report: "Private Standards In the United States and European Union Markets for fruit and vegetables - Implications for developing countries" (FAO, Rome, 2007).

Objektive Prüfverfahren zur Bestimmung akzeptabler Reifegrade und der organoleptischen Charakteristiken von Früchten und Gemüsesorten werden im europäischen „Guidance on objective tests to determine quality of fruits and vegetables and dry and dried produce“ zusammengefasst (oecd.org.pdf, 2008).

Historisch gesehen gab es hinsichtlich der Kontrolle und Charakterisierung der nach der Ernte relevanten Qualitätsmerkmale und organoleptischen Eigenschaften von Bananen bis 1993 kaum Untersuchungen. Zur Sicherung und Weiterentwicklung der Qualität wurden deshalb unter der Schirmherrschaft der INIBAP (International Network for Improvement of Banana and Plantain) die wichtigsten Kriterien und Methoden der routinemäßigen Kontrolle von neuen Bananen- bzw. Plantain - Hybriden in einer technischen Richtlinie zusammengefasst. Das Handbuch „Routine Post Harvest Screening of Banana/Platain Hybrids: Criteria and Methods“ wurde 1997 in Zusammenarbeit mit dem „Natural Resources Institute (NRI) und „Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) veröffentlicht, um entsprechende Informationen an Produzenten und Wissenschaftler zu vermitteln sowie Referenzmaterial für Personen, die in der Forschung und/oder dem Technologietransfer engagiert sind, zur Verfügung zu stellen (Dadzie, B.K. et J.E. Orchard, 1997, S.3).

Spezifische, qualitative Fruchtmerkmale sind von der Sorte, den Anbaubedingungen und vom Erntezeitpunkt abhängig. Als wichtige Qualitätsmerkmale zum Erntezeitpunkt werden spezifische Büschel- und Frucht-Charakteristiken sowie bestimmte, nach der Ernte relevante Qualitätsattribute bzw. – merkmale angesehen. Die INIBAP empfiehlt zum Erntezeitpunkt die routinemäßige Beurteilung/Kontrolle folgender Charakteristiken:

- Büschelgewicht
- Anzahl der Bananenhände pro Bananenbüschel
- Anzahl der Finger (pro Hand) jedes Büschels
- Fruchtgewicht [g]
- Fruchtlänge [cm]
- Fruchtumfang [cm]
- Fruchtvolumen [cm³]
- Fruchtichte [g/m³]
- Fruchtfleisch- und Schalengewicht [g]
- Fruchtfleisch/Schalenverhältnis [g/g]
- Schalen- und Fruchtfleischstärke [cm]

(Dadzie, B.K. et J.E. Orchard; 1997; S.5-7).

Während des Transportes, des Handlings und der Reifung nach der Ernte werden die Bananen regelmäßig untersucht. Für die Überprüfung bzw. Kontrolle der nach der Ernte relevanten Qualitätsmerkmale sind folgende Beurteilungskriterien als besonders wichtig anzusehen:

1. Charakteristiken, der nach der Ernte relevanten Qualitätsmerkmale zum Erntezeitpunkt
2. Ausreifungsgrad der Frucht an der Staude
3. Dauer des preklimakterischen Zustandes (green life) und Haltbarkeit
4. Qualität der Fruchtreifung
5. Sensorische Qualität
6. Zubereitungs- und Kochqualität
7. Verarbeitungsqualität
8. Mechanische Beschädigung
9. Physiologische Störungen
10. Krankheiten, die nach der Ernte auftreten

(Dadzie, B.K. et J.E. Orchard; 1997;S.4).

4.1.2. Biologie, Anbau und Ernte

Früchte der Gattung *Musa* werden der Familie der Musaceae zugeordnet und eingeteilt in Dessertfrüchte (Bananen/Obstbananen) und Gemüse- bzw. Kochbananen (Plantain). Abbildung 3 zeigt die vereinfachte Sortensystematik.

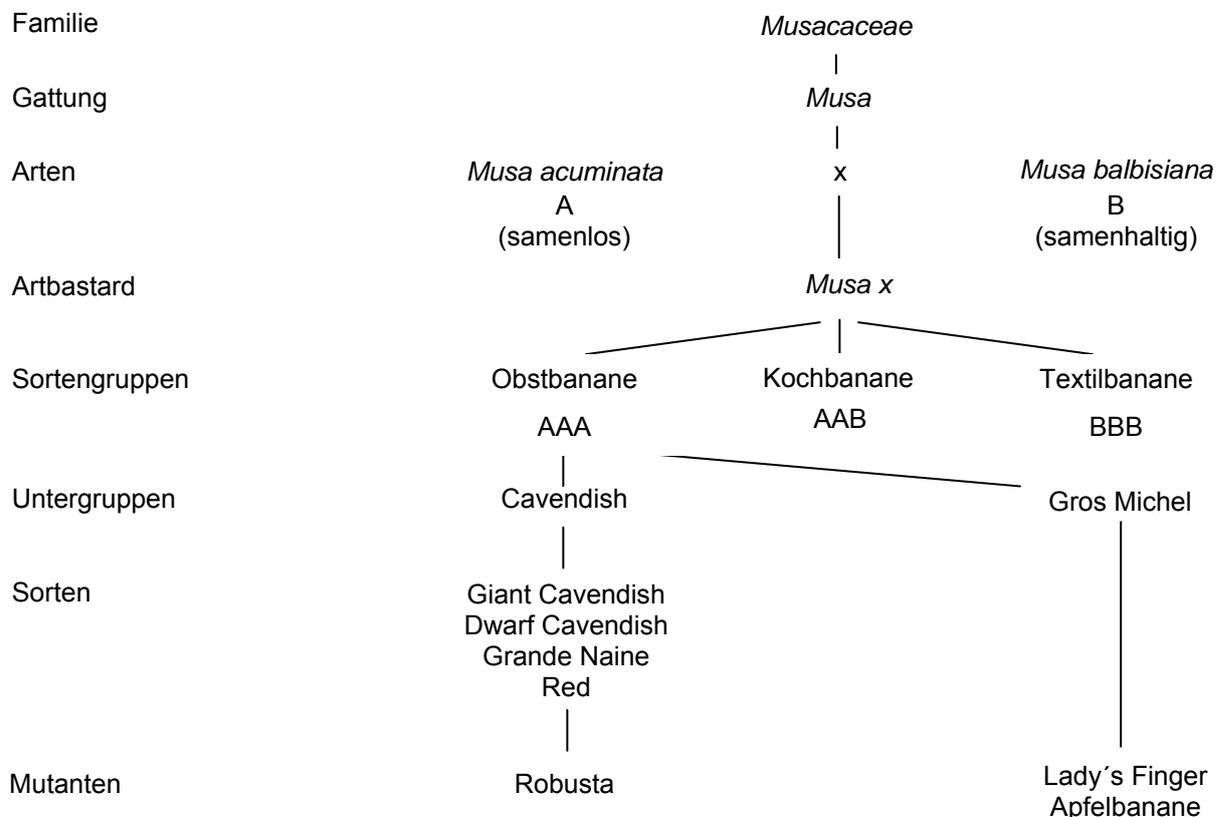


Abbildung 3: vereinfachte Sortensystematik der Banane

(Daßler, E.; G. Heitmann; 1991; S.40)

Alle Kultivare stammen von den Urformen *Musa accuminata* (A) und *Musa balbisiana* (B) ab. Heute angebaute Bananensorten sind gewöhnlich triploid mit den Genomformeln AAA, AAB, ABB oder BBB, seltener diploid (AA, AB) oder tetraploid (AAAA, AABB, ABBB) (Turner, D. W., 1997, in Mita, I., S. 47).

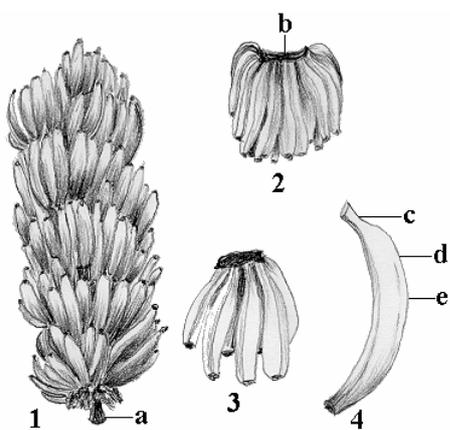
Die Bananen werden botanisch den Beeren zugeordnet und wachsen an Stauden, die einen aus dicht zusammengepressten Blattscheiden bestehenden Pseudostamm bilden. Aus diesem „Scheinstamm“ wachsen endständige, rot-violette Blütendolden mit vielen übereinander liegenden Blütenblättern hervor, die später die sogenannten „Bananenbüschel“ bilden.



Unter jeder Blattrihe zeigen sich Ansätze kleiner Bananen, aus denen sich Bananenhände entwickeln, sobald die Deckblätter abgefallen sind. Zu diesem Zeitpunkt ändern die Früchte ihre Wachstumsrichtung und beginnen dem Licht entgegen zu wachsen. Hierdurch erhalten sie ihre typische "Krümmung".

Abbildung 4: Entwicklung Bananenhände
(www.hort.purdue.edu, 2009, Folie 44)

Zum Schutz vor Schädlingen, Vögeln, mechanischen Beschädigungen und Temperaturschwankungen werden die jungen Bananenbüschel nach dem Aufbrechen der Blüte mit dünnen, lichtdurchlässigen Polyethylensäcken ummantelt. Sorten- und klimaabhängig können die Blütenstände bis zu 14 Hände mit 14 - 20 Bananen hervorbringen. In Abbildung 5 wird die Aufteilung der Bananenbüschel verdeutlicht.



- | | | |
|-------------|---|---|
| 1 - Büschel | = | 8 – 10 Hände = 200 Bananen
(35 – 50 kg) |
| 2 - Hand | = | 15 – 20 Finger |
| 3 - Cluster | = | 5 – 7 Finger |
| 4 - Finger | = | 1 Banane |
| a - Stamm | | |
| b - Kamm | | |
| c - Stiel | | |
| d - Hals | | |
| e - Rücken | | |

Abbildung 5: Aufteilung eines Bananenbüschels
(www.tis-gdv.de/1002a.gif; Daßler, E.; G. Heitmann; 1991; S.38)

Bananen stehen dem Weltmarkt ganzjährig zur Verfügung (Daßler, E.; G. Heitmann; 1991; S.50). Während der Wachstumsphase wird die Entwicklung der Bananen ständig beobachtet und kontrolliert. Die Ernte erfolgt meist, wenn die Früchte zu dreiviertel ausgewachsen sind („full three quarters“) und den qualitativen Anforderungen (der „Erntereife“) genügen. Hierbei werden die Bananenbüschel im grünen Zustand per Hand geschnitten und anschließend zu den Packstationen transportiert. Dort erfolgt die Vereinzelung in „Hände“ und „Cluster“. Vor der Verpackung werden die Bananen gewaschen und einer weiteren Qualitätskontrolle

unterzogen, entsprechend vorgegebener Gütekriterien sortiert und etikettiert. Weltweit werden für die Verpackung von Bananen standardisierte 18,4 kg netto – und 12 kg-netto - Kartons genutzt. Die Bananen werden folgendermaßen in die mit perforierten Polyethylenbeuteln ausgeschlagen Kartons verpackt: „ Auf den Boden des Kartons werden zwei Reihen von etwa 8 – 10 Clustern gelegt, darauf kommt schützendes Packmaterial (Pappe) und hierauf werden noch mal zwei Reihen von 6 – 8 Clustern, gut auf die unteren Reihen angepasst, gepackt. Die Polybeutel werden verschlossen ...“ und der Karton verdeckelt (Daßler, E.; G. Heitmann; 1991; S.50). Entsprechend dem Verwendungszweck werden die Bananen zu unterschiedlichen Märkten verschifft, wo sie unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) in einer Atmosphäre mit unterschiedlichen Ethylengehalten nachgereift werden.

4.1.3. Handling der Früchte nach der Ernte

Der Vertrieb von Bananen erfolgt weltweit unter Markenbezeichnungen (Brandnamen) und nicht unter Sortennamen (Daßler, E.; G. Heitmann; 1991; S.51). Deshalb werden die Bananen nach der Ernte in den, meist plantageneigenen Packstationen nach Marken sortiert, in Kartons verpackt, nach Packstationen sowie Verpackungsdatum codiert und palettiert. Der Transport in die Zielhäfen erfolgt in Kühlcontainern auf Kühl- oder speziellen „Bananenschiffen“ in einem Zeitraum von ca. 14 Tagen. Spezifisch festgelegte Lagertemperaturen und atmosphärische Bedingungen sollen den vorzeitigen Reifungsprozess während des Transportes ausschließen. Die Transportbedingungen können dabei für einzelne Sorten/Marken und zwischen verschiedenen Transportgesellschaften differieren.

In den Zielhäfen erfolgt eine umfassende Qualitätsprüfung nach Löschung der Transportschiffe. Die freigegebenen Paletten werden per LKW in das Reifezentrum transportiert. Bei Verteilung der gelöschten Menge auf mehrere Reifungszentren erfolgt der Transport nach Bedarf und Kapazität. Die Paletten werden bei Anlieferung im Reifungszentrum geprüft, aber hinsichtlich des Farbgrades nur in Ausnahmefällen vorsortiert.

Die Einlagerung im Reifungszentrum erfolgt bedarfsabhängig und unsortiert hinsichtlich der Packstationen in spezielle Reifungsräume. Die „Reifung“ wird in den einzelnen Reifungsräumen individuell auf die Qualität der angelieferten Bananen und die Qualitätsanforderungen des Kunden (z.B. gewünschter Farbgrad) abgestimmt. Im Rahmen der routinemäßigen Qualitätskontrolle wird in jedem Reifungsraum mehrmals täglich stichprobenartig der Reifungsfortschritt sowohl visuell, als auch haptisch kontrolliert. Die Kontrolle des Reifungsverlaufs der Bananen erfolgt individuell - entweder durch Begutachtung der Bananenreihen einzelner Kartons und/oder der sichtbaren Fläche an den seitlichen Kartonöffnungen und/oder einzelner Bananencluster. Die weitere Reifung wird entsprechend dem Reifungsfortschritt und dem Warenbedarf über die Steuerung der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Frischluftzufuhr (O₂-) sowie der Luftkonvektion angepasst. Nach Erreichen des optimalen Reifegrades zur Auslieferung an den Handel (meist Farbgrad 3 – 5) kann die Lagerfähigkeit der Bananen über die Regulierung der Lagertemperatur gesteuert werden. Empfohlen werden Pulptemperaturen zwischen 13 und

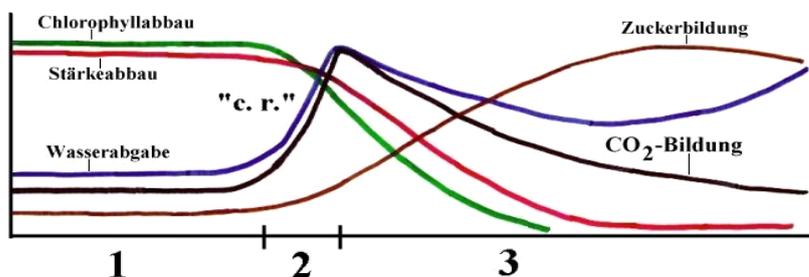
14°C (Stover; 1987, S. 376). Die durchschnittliche Lagerdauer in den Reifungsräumen beträgt in der Regel 3 – 5 Tage (max. 8 Tage).

4.1.4. Physiologische und biochemische Betrachtung der Bananenreifung

Der Lebenszyklus der Banane kann in drei Stufen unterteilt werden. Die unterschiedlichen Stadien - Preklimakterischer Zustand (greenlife), Reifungsphase und Verderb - sind dabei für die involvierten Parteien der Bananenvermarktung von unterschiedlichem Interesse. (John und Marchel, 1995). Die Fruchtreifung kann prinzipiell als Ergebnis eines Komplexes von Veränderungen auf Frucht- und auf Zellebene bezeichnet werden. Erkenntnisse aus vorangegangenen Untersuchungen der biochemischen und physiologischen Veränderungen im Verlauf der Bananenreifung haben viel zum Verständnis dieser Vorgänge beigetragen. Ihre Umsetzung in der allgemeinen Organisation des Handels und speziell der Reifungsabläufe ermöglicht die derzeitige kommerzielle Handhabung der Vermarktung von Bananen.

Die Banane wird der Gruppe der klimakterischen Früchte zugeordnet. Für diese Gruppe ist der Reifungsprozess gekennzeichnet durch einen raschen Anstieg der Respirationsrate, die einen Höchststand (Peak) nach drei bis vier Tagen erreicht und dann abfällt. Die Ethylenkonzentration bzw. Gaszusammensetzung der umgebenden Atmosphäre, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit werden als wichtigste externe Einflussfaktoren der Reifung angesehen (Turner, D.W.: Bananas and Plantains, S.49). Klimakterische Früchte erreichen allgemein das vollreife Stadium nach dem respiratorischen Klimakterium.

Abbildung 6 visualisiert die im Verlauf der Bananenreifung auftretenden Veränderungen.



1 - Vorklimakterium (grüne Farbe) 2 - Klimakterium (turner) 3 - Postklimakterium (gelb)
"c.r." - climacteric rise

Abbildung 6: Reifeentwicklung von Bananen

(www.tis-gdv.de, Abb. 20, 2008)

Initiiert wird das respiratorische Klimakterium (Beginn der Reifung) der Banane durch einen Anstieg der Ethylenentwicklung von $0,05 \text{ ml kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ in der preklimakterischen Frucht bis zu einem Höchststand (Peak) von ca. $3 \text{ ml kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (McMurchie et al., 1972). Die Permeabilität der Frucht für Gase ist deshalb als besonders wichtig anzusehen. (Banks, 1984a und b, 1985). Der innerhalb der grünen Frucht (Cavendish-Untergruppe) zur Verfügung stehende Luftraum beträgt 8-10% des totalen Fruchtvolumens (Palmer and MacGlasson, 1969) - die Atmosphäre ist zusammengesetzt aus ca. 13% O₂ und 5% CO₂ (Banks, 1984a). Während der Reifung reduziert sich der Sauerstoffgehalt und der Kohlendioxidgehalt steigt an. Hierbei ist der mengenmäßige Gasaustausch der Frucht für O₂ und CO₂ ähnlich ($64 \text{ ml kg}^{-1}\text{h}^{-1}$).

Die Temperaturabhängigkeit der Atmungsaktivität von Bananen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Atmungsaktivität von Bananen bei verschiedenen Temperaturen

Temperatures Bananas	0 °C	4 – 5 °C	10 °C	15 – 16 °C	20 – 21 °C	25 – 27 °C
Green	-	-	-	21 - 23	33 - 35	-
ripening	-	-	21 - 39	25 - 75	33 - 142	50 - 242

[mg CO₂/(kg h)] (Auszug aus : www.tis-gdv.de/..wild/abb10., 2008)

Der überwiegend durch Transpiration verursachte Gewichtsverlust der Frucht variiert in Abhängigkeit von den Dampfdruckverlusten zwischen 0,5 und 0,8 g/Tag (McGlasson, B. et al, 2007, S.56)

Die Initiierung der Reifung nach der Ernte kann in kommerziellen Reifereien durch Begasung der Reifungsräume (Früchte) mit exogenem Ethylen in unterschiedlichen, zeitabhängigen Konzentrationen erreicht werden. Ist die Frucht schon im preklimakterischen Zustand gealtert, sind zur Stimulierung der Reifung meistens geringere Konzentrationen an exogenem Ethylen notwendig (Turner, D.W.; 1997; in Mitra, I., S.57). Durch die externe Ethylenbehandlung kommt es zu einer autokatalytischen Biosynthese von endogenem Ethylen (System 2). Die biochemischen Reaktionen der ganzen Frucht im Verlauf der Reifung können als charakteristische Kennzeichen des Fruchtfleisches und nicht der Schale angesehen werden. Verursacht wird die Stimulation der endogenen Ethylensynthese durch einen Anstieg der ACC-Oxidase (Turner, D.W.; 1997; in Mitra, I., S.57). Optimale Reifungsergebnisse werden im Allgemeinen erreicht, wenn die Reifung nach Ethylenzugabe (z.B. 1000 ppm über einen Zeitraum von 24 Stunden) bei Pulptemperaturen von 14 – 18°C, 80 – 95% relativer Luftfeuchtigkeit und guter Luftzirkulation erfolgt.

Grundsätzlich ist der eingeleitete Reifungsprozess irreversibel, d.h. der Reifungsbeginn kann nicht rückgängig gemacht werden – es besteht lediglich die Möglichkeit durch entsprechende Steuerung der externen Einflussfaktoren und/oder Einsatz spezieller Reifungsinhibitoren den Fortschritt der Reifung zu verlangsamen.

Während der Bananenreifung finden zahlreiche biochemische Prozesse statt, die teilweise unabhängig voneinander ablaufen können. (Brady, 1987).

Im Folgenden sind einige der wichtigsten (manifesten) Veränderungen aufgelistet.

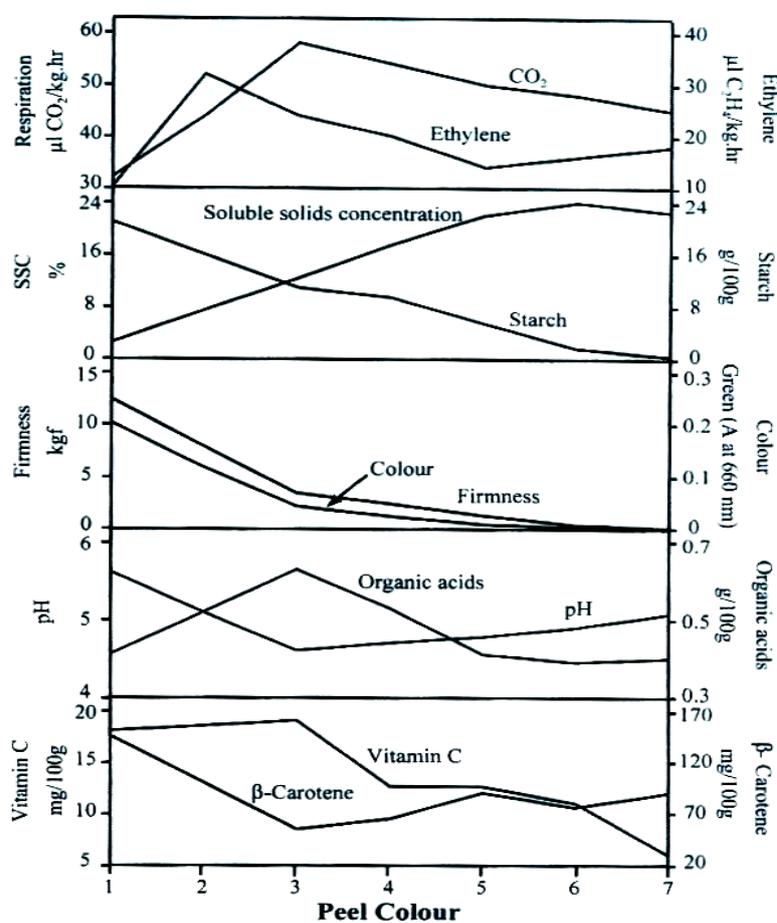
- Änderung der Schalen- und Fruchtfleischfarbe
- Abbau der Stärke zu Zucker
- Veränderung des Fruchtfleisch/Schalen-Verhältnisses
- Veränderung der Fruchtfleisch-Textur
- Veränderung des Gesamtgehaltes an löslichen Stoffen (TSS)
- Änderung des Fruchtfleisch pH-Wertes und des Gehaltes an titrierbarer Säure
- Änderung des Feuchtigkeits- und Trockenmassegehaltes
- Änderung der Respirationsrate und der Ethylenproduktion

(Dadzie, B.K. et J.E. Orchard; 1997;S.25)

Da die Reifungsrate der Schale und des Fruchtfleisches in Abhängigkeit von der Temperatur unterschiedlich verlaufen, indiziert die Schalenfarbe nicht notwendigerweise auch den Reifestatus des Fruchtfleisches (Turner, D.W., 1997; in Mitra, I., S.57).

4.1.5. Veränderung der Schalenfarbe

Sie tritt in vielen Früchten auf und ist oftmals das wichtigste von Verbrauchern genutzte Kriterium zur Unterscheidung von unreifen und reifen Früchten. Obwohl der Verbraucher auch andere, mit Reifung assoziierte Reaktionen wahrnimmt, ist er hauptsächlich an der Attraktivität der Früchte interessiert, die er nach ästhetischen Gesichtspunkten, wie Erscheinungsbild und Verzehrqualität beurteilt. (McGlasson, B. et al, 2007; S. 50)



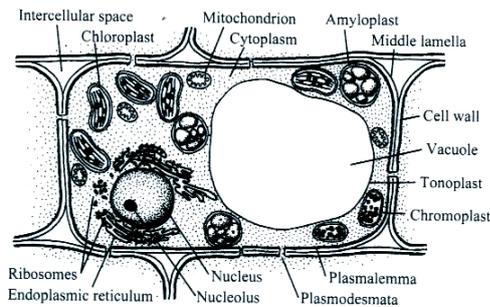
In Abbildung 7 sind die Beziehungen zwischen den auftretenden biochemischen Prozessen und der Entwicklung der Schalenfarbe von Bananen (visuell beurteilt anhand eines 7-stufigen Farbcharts) veranschaulicht.

Abbildung 7: Beziehungen biochemischer Prozesse und Veränderung der Schalenfarbe

(McGlasson, B. et al; 2007; S. 33)

Verursacht wird die Farbveränderung größtenteils durch den Abbau des in der Bananenschale enthaltenen grüner Pflanzenfarbstoff, des Chlorophylls (Porphyrin), eines organischen Magnesium-Komplexes. Chlorophyll ist das Pigment, dass bei der Photosynthese solare Energie in freie chemische Reaktionsenthalpie umwandelt und in stabilen chemischen Verbindungen speichert, indem es den Kohlenstoff aus dem Kohlendioxid der Luft in den Pflanzenkörper einbaut. Der Chlorophyllabbau ist eng verknüpft mit der Präsenz von Ethylen (Turner, W.D.; 1987; in Mitra, I., S. 57).

Chlorophyll ist ein Farbstoffgemisch aus dem blaugrünen *Chlorophyll a* und dem gelbgrünen *Chlorophyll b* (Mengenverhältnis 3:1). *Chlorophyll a* ist das eigentlich photosynthetisch aktive Pigment. *Chlorophyll b* ist ein akzessorisches Pigment und dient der Lichtsammlung - es ist nicht direkt an der Energieumwandlung beteiligt. *Chlorophyll a* und *b* unterscheiden sich nur durch die Seitengruppe am Ring B. Aufgrund der Größe des delokalisierten Bereichs absorbiert Chlorophyll die roten Wellenlängen des sichtbaren Lichts und erscheint deshalb in der Komplementärfarbe grün. (Herold, C., 2006; Schödel, R., 1999, S.7).



Der Photosyntheseapparat von Pflanzen befindet sich im Allgemeinen in den Chloroplasten - dort ist das Chlorophyll als Farbstoffträger gebunden.

Abbildung 8 veranschaulicht den Zellaufbau und die Einbettung der Chloroplaste. (McGlasson, B. et al; 2007; S. 47)

Abbildung 8: Zellaufbau

Der während der Photosynthese stattfindende Elektronentransport vom H_2O zu $NADP^+$ wird durch das Zusammenspiel zweier Photosysteme (PS), PSI und PSII, gekennzeichnet. Ausgangspunkt ist die Absorption von Photonen durch die Pigmentmoleküle des Antennensystems, *Chlorophyll a* (Chl a), *Chlorophyll b* (Chl b) und *Carotinoide*. (Schödel, R., 1999, S.8). Chlorophyll ist in der Schale von unreifen Früchten in Konzentrationen von $12 - 13 \mu g cm^{-2}$ der Fruchtoberfläche in Bananen oder Platains (Seymour et al., 1987) oder $50 - 100 \mu g g^{-1}$ des Schalenfrischgewichtes enthalten (Stover and Simmonds, 1987; Medicott et al., 1990; Seymour et al., 1993). Mit zunehmender Reifung verringert sich der Gehalt an Chlorophyll bis er vollständig abgebaut ist. Der Abbau kann zurückgeführt werden auf die Degradation der Chlorophyllstruktur, die in fünf Schritten stattfindet.

1. Abspaltung des Phytolrestes,
2. Entfernung des zentralen Mg- Atoms,
3. oxidative Ringöffnung und anschließende Reduzierung,
4. Anlagerung einer OH- Gruppe
5. Tautomerisierung.

Als Ursachen für diesen Abbauprozess werden ph-Wert – Änderungen, oxidative Systeme und Chlorphyllasen angesehen.

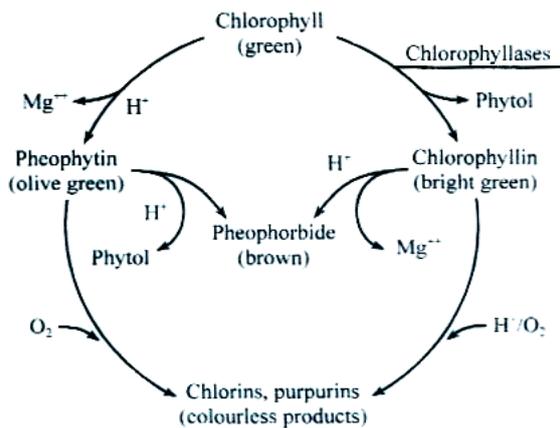


Abbildung 9 veranschaulicht den Abbaupfad des Chlorophylls und Abbildung 10 stellt den ursprünglichen grünen Ausgangsstoff Chlorophyll dem am Ende des Abbaus vorliegenden farblosen Chlorophyll Kataboliten gegenüber (Herold, C., 2006).

Abbildung 9: Abbaupfad des Chlorophylls
(McGlasson, B. et al, 2007, S. 47)

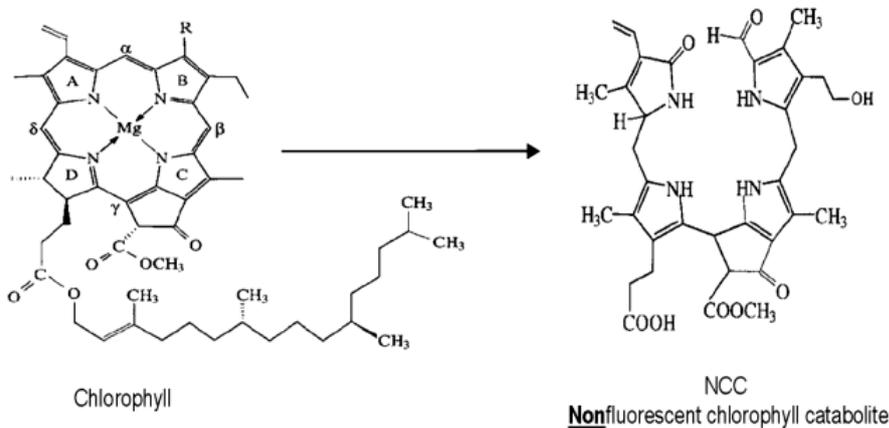


Abbildung 10: Strukturformeln des Chlorophyll und farbloser Chlorophyll-Katabolite
(Herold, C., 2006)

Die Abbauraten des Chlorophylls in der Banane stehen in engem Zusammenhang mit der umgebenden Temperatur. Sie erreicht bei + 22°C ihr Maximum (60% per day) und findet unter 15°C bzw. über 40°C nur noch in geringem Umfang statt. Das Ausbleiben bzw. eine Verschlechterung des Chlorophyllabbaus bei hohen - oder niedrigen Temperaturen kann möglicherweise durch die Diffusion des Ethylens aus dem Fruchtfleisch oder durch die Temperatursensibilität der Schale beeinflusst sein. Dieser Zusammenhang ist in Kochbananen (Plantains) teilweise schlecht nachzuvollziehen, da der Chlorophyllabbau sich in diesen Früchten auch bei hohen Temperaturen fortsetzt (Seymour et al., 1987 in Turner, D.W.; in Mitra, I., S. 58).

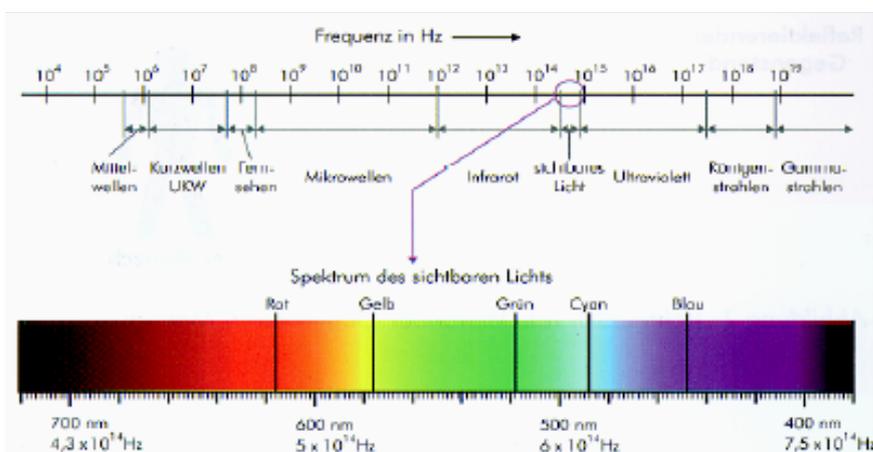
Durch die Bildung farbloser Abbauprodukte kommen die gelben *Carotinoide* (9-14mg(g Frischgewicht)⁻¹) zum Vorschein. Diese werden während der Entwicklungsstufen in der Pflanze synthetisiert, sind aber maskiert durch die Anwesenheit des Chlorophylls. Carotinoide bestehen größtenteils aus ungesättigten Kohlenwasserstoffketten und deren Oxidationsprodukten und sind formal aus 8 Isopren-Einheiten aufgebaut. Man unterteilt sie in Carotine und Xanthophylle (O²-haltige Derivate der Carotine). Carotinoide liefern einen zusätzlichen Beitrag zur Absorption des Lichtes im blauen und grünen Spektralbereich des

Chlorophylls (zur Übersicht siehe Siefertmann-Harms; 1985; Frank und Cogdell, 1996 In Schödel, R., 1999, S.8). Als primäre Aufgabe der Carotinoide bei der pflanzlichen Photosynthese wird der Schutz der Chlorophyllmoleküle vor einer Zerstörung durch Photooxidation angesehen. Sie sorgen für den Abbau von Chlorophyll-Triplets (^3Chl) und verhindern damit die Bildung von Singulett-Sauerstoff. Vorhandenen Singulett-Sauerstoff bauen sie direkt ab (Foote, 1976 in Schödel, R., 1999, S.13) Gleichzeitig sind Carotinoide wichtig für den strukturellen Zusammenhalt des Photosystems (Heinze et al., 1997 in Schödel, René). Im Verlauf des Xanthophyll-Zyklus (Chloroplasten) wird überschüssige Lichtstrahlung absorbiert und in Wärme umgewandelt. Carotinoide sind stabile Komponenten. Die Konzentrationen von Xanthophyllen und Carotinen verändern sich während der Reifung wenig und bleiben im Gewebe auch intakt, wenn extensiver Verderb begonnen hat (McGlasson, B. et al; 2007; S. 48).

4.2. Farbwahrnehmung und -beschreibung

Die Interpretation von Farbe umfasst sowohl die messbaren physikalischen Parameter als auch die physiologischen Größen der Farbpfindung. Farbeindrücke spielen eine wichtige Rolle im menschlichen Leben. Sie beeinflussen Gefühle, Stimmungen und Entscheidungen. Diese Erkenntnisse werden in der Vermarktung von Produkten bereits seit langer Zeit genutzt. Ein großer Teil der Kaufentscheidungen von Konsumenten wird durch die Farbe und/oder das äußere Erscheinungsbild des Produktes beeinflusst.

Die vom menschlichen Auge wahrgenommene Farberscheinung, „Color Appearance“, der Produkte wird von der spektralen Zusammensetzung der Beleuchtungsquelle, vom Betrachtungswinkel, vom individuellen, charakteristischen Reflexions- oder Transmissionsvermögen der Körperoberfläche und von anderen Oberflächeneigenschaften wie Glanz, Struktur und Muster beeinflusst. Gleichzeitig ist die menschliche Farbwahrnehmung abhängig von den allgemeinen Beobachtungsbedingungen, dem individuellen Farbwahrnehmungsvermögen des Beobachters, der beobachteten Farbe und dem Anwendungsgebiet. (DIN 5033-1, 2008, S.4)



Das vom menschlichen Auge wahrgenommene Licht bzw. die Farbe stellt nur einen Ausschnitt aus dem gesamten Spektrum elektromagnetischer Wellen dar und liegt im Bereich von 380 nm bis 780nm.

Abbildung 11: Das elektromagnetische Spektrum
(Petersilge, M., 2004, S.3)

Das Auge sieht Licht mit verschiedenen Rezeptoren, die in der Netzhaut unterschiedlich verteilt sind.

- Stäbchen differenzieren die Helligkeit
- Zapfen differenzieren die Farbe (Farbvalenzen)
 - Es wird zwischen rot-, grün- und blauempfindliche Zapfen unterschieden. Die Farbinformation, die an das Gehirn weitergeleitet wird, besteht aus drei Signalen. Diese drei Signale ergeben jeweils eine Farbvalenz.

Grundsätzlich ist das Auge in der Lage sich Änderungen der umgebenden Lichtquelle hinsichtlich der Helligkeit (Adaptation) und des Farbtons (Farbstimmung) anzupassen. Die Farbempfindung des Menschen entsteht dadurch, dass die Farbinformationen in Form von Reizen über Nervenbahnen an das Gehirn weitergeleitet werden und dort ein Abbild des durch das Auge wahrgenommenen Körpers entsteht. (Petersilge, M. 2004, S.3-5) Dieser individuelle Farbeindruck ist bei jedem „normalsichtigen“ Menschen unterschiedlich und kann sich zudem mit zunehmendem Alter ändern (Berger-Schunn, A., 1994, S.14).

Farbe wird immer dreidimensional wahrgenommen und verbal im Allgemeinen ausgedrückt durch die Beschreibung des Farbempfindens von achromatischen - (weiß, grau, schwarz) und chromatischen Farben (blau, rot, grün, gelb) hinsichtlich des Bunttöns, der Buntheit (Intensität, Sättigung) und der Helligkeit (DIN 5033-1, 2008, S.5).

Zum korrekten Vergleich mit - und/oder zur Wiedergabe der visuellen Farbwahrnehmung durch instrumentell gemessene Farbmaßzahlen ist es erforderlich, dass die eigentliche Farbmessung grundsätzlich komplex betrachtet und die Messtechnik und – Methodik applikationsspezifisch ausgewählt wird (DIN 5033-3: 1992; DIN 6175-1: 2008). Gleichzeitig sind Einflussfaktoren auf die Farbwahrnehmung im Rahmen der Abmusterung zu berücksichtigen. Die Forschungsgesellschaft Druck e.V. (Fogra) definiert die Abmusterung als „visuelle[n] Vergleich einer Vorlage oder eines Originals mit der Nachstellung (Reproduktion) hinsichtlich der farblichen Übereinstimmung“ (www.fogra.org, 2008). Im übertragenen Sinne ist hiermit also der farbliche Vergleich einer Probe mit einer Referenzprobe zu verstehen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass das Abmusterungsergebnis durch folgende Faktoren beeinflussbar ist:

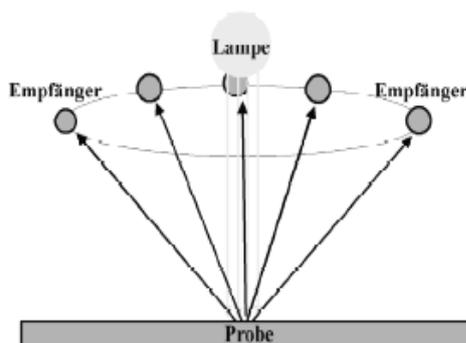
- Einfluss des Umfeldes
- Abstand benachbarter Farben
- Messunterlage
- Charakteristik der Abmusterungsbeleuchtung
- Farbumstimmung des Beobachters
- Oberflächenstruktur der abzumusternden Proben (www.fogra.org, 2008, S.1)

Eine vergleichende Bewertung von Proben kann deshalb nur bei vergleichbaren, einheitlichen Betrachtungsbedingungen möglich sein. Aus diesem Grund wurden durch die CIE folgende Referenzbedingungen für Farbabmusterungen festgelegt:

- „D65 – Beleuchtung
- Beleuchtungsstärke der Proben >1000 lx
- Neutralgraues Umfeld bei $L^* = 50$ (mittelgrau)
- Objektfarbe
- Probengröße > 4° Gesichtswinkel
- Probenpaar in direktem Kontakt
- Probenoberfläche nicht strukturiert“ (Petersilge, M., 2007, S. 8)

Zur Farbmessung können Geräte verwendet werden, die nach dem Spektralverfahren (DIN 5033-4) oder dem Dreibereichsverfahren (DIN 5033-6) arbeiten (DIN 5033-1, 2008, S.6). Bei der Auswahl des Farbmessgerätes sollte die Eignung zur Bestimmung des individuellen Reflexions- bzw. Transmissionsvermögens von Gegenständen und die verwendete Messgeometrie beachtet werden. Bei der Farbmessung ist auf die Verwendung von genormten Lichtarten zu achten, die Konstanz, Reproduzierbarkeit und allgemeine Verfügbarkeit gewährleisten. (Petersilge, M., 2004, S.14 -16; Berger-Schunn, A., 1994, S.15 - 26)

Die Messgeometrie eines Farbmessgerätes legt fest, wie beleuchtet und wie das von der Probe reflektierte Licht erfasst wird. Die Auswahl der geeigneten Messgeometrie hängt sowohl von dem zu messenden Material als auch vom Verwendungszweck, Qualitätskontrolle oder Farbzeptierung, der Messung ab. Das Erscheinungsbild einer Probe wird durch ihre Oberflächenbeschaffenheit, d.h. Struktur und optische Eigenschaften, beeinflusst. Durch die Wahl einer spezifischen Messgeometrie wird der Umfang der zu erfassenden Oberflächenreflexion festgelegt. Heutzutage stehen meist zwei mögliche Messgeometrien zur Auswahl.



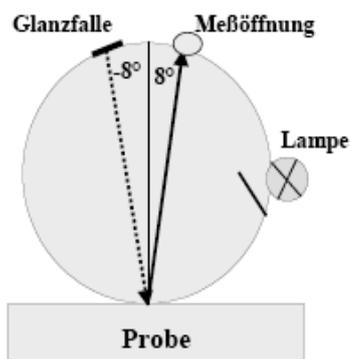
Bei der 45°/0° bzw. 0°/45° Messgeometrie wird gerichtet beleuchtet und unter 0° bzw. 45° zur Beleuchtungsrichtung gemessen.

Diese Messgeometrien „sehen“ das Probenäußere und werden besonders in der Qualitätskontrolle bevorzugt. Sie stimmen sehr gut mit der visuellen Beurteilung überein, wenn zur Abmusterung zweier Proben die gleichen Winkelbedingungen realisiert sind.

Abbildung 12: 0°/45° - Messgeometrie

Messgeräte mit Kugelgeometrie erfassen dagegen die gesamte Oberflächenreflexion der Probe. Durch die Messung mit Glanzfalle kann der Glanzanteil (Spiegelglanz) ausgeschlossen werden. Dieses Messverfahren wird jedoch hauptsächlich für gekrümmte und/oder hochglänzende Oberflächen empfohlen. Grundsätzlich ist bei Farbmessungen mit Kugelgeräten abzuwägen, ob durch die Verwendung der Glanzfalle die Übereinstimmung der Messergebnisse mit der visuellen Beurteilung beeinflusst werden kann.

Bei Messungen mit der Kugel-Messgeometrie gibt es folgende Auswahlmöglichkeiten:



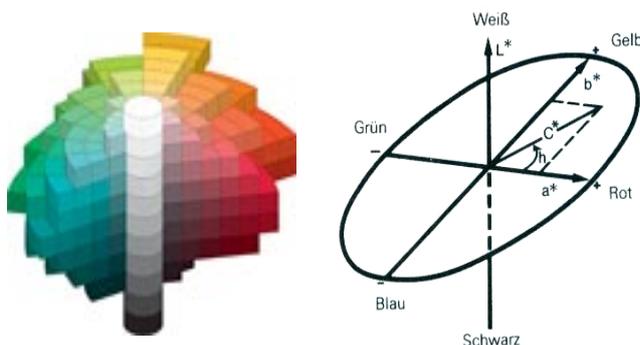
- diffuse Beleuchtung - direkte Beobachtung unter 8°, mit bzw. ohne Glanzfalle
- Beleuchtung unter 8° - indirekte Beobachtung

Die meisten Kugelgeräte haben die Geometrie d/8° mit Glanzfalle.“ Kugelgeräte „sehen“ das Probeninnere, also die „reine“ Farbe unabhängig vom Betrachtungswinkel. (Petersilge, 2004, S.18-20; Berger-Schunn, A., 1994, S.98)

Abbildung 13: d/8° - Geometrie

Spektralphotometer arbeiten nach dem Spektralverfahren, das sich in einen spektral-photometrischen Teil und einen farbmtrischen Teil gliedert. Im spektral-photometrischen Teil des Verfahrens wird nach dem Zweistrahlprinzip das Reflexionsvermögen einer Probe gegen das Reflexionsvermögen eines Standards - „ideal mattes Weiß“ - verglichen. Hierbei wird das von der Probe reflektierte Licht in Wellenlängen zerlegt, in Intervallen von 10nm bzw. 20nm im sichtbaren Wellenlängenspektrum gemessen und durch eine Maßzahl quantifiziert. Die Daten werden mathematisch in die Normfarbwerte X, Y und Z umgerechnet, die jedoch nur schlecht interpretierbare Informationen über Art und Größe von Farbunterschieden liefern. Diese werden zur besseren Veranschaulichung und grafischen Darstellung im farbmtrischen Teil des Verfahrens in andere Farbmaßzahlssysteme transformiert (Berger-Schunn, A., 1994, S.94; DIN 5033-1, 2008, S. 5; Petersilge, M., 2004, S.16-17).

Abbildung 14 veranschaulicht die Dreidimensionalität des Farbraumes.



In der Praxis hat sich zur Beschreibung von Körperfarben der von der Normungsgruppe Commission International d'Eclairage (CIE) 1976 definierte $L^*a^*b^*$ -Farbraum (CIELAB Farbraum) durchgesetzt. (DIN 6174, 2007, S.3- 4)

Abbildung 14: Dreidimensionale Darstellung des Farbraums

(RAL Design System; Berger-Schunn, A., 1994, S.57)

Er basiert auf der Gegenfarbentheorie von Hering und versucht Farben in einen gleichabständigen Farbraum einzuordnen, indem es gleich empfundenen Farbunterschieden gleich lange Distanzen im Farbraum zuordnet. Hierzu werden aus den Normfarbwerten X, Y und Z entsprechende Farbmaßzahlen berechnet. Aus den kartesischen Koordinaten L^* , a^* und b^* sowie den Polarkoordinaten L^* , C^* und h° können Farbdifferenzwerte, z.B. der Gesamtfarbabstand DE und der Bunttonbeitrag DH^* quantitativ bestimmt werden. (DIN 6174,

2007, S. 4) Das gegebene räumliche Schema ermöglicht die Darstellung der Beziehungen der Farben untereinander. Bislang ist es noch nicht gelungen einen visuell gleichabständigen Farbenraum abzuleiten. (DIN 6174, 2007, S.4; Petersilge, M.; 2004) Die CIE-L*a*b*-Farbwerte werden als eine Weiterentwicklung der Hunter Farbwerte angesehen. (Petersilge, M., 2004, S.23) .

MacAdam untersuchte bereits im Jahr 1942 Farbunterscheidungsschwellen (Petersilge, M.; 2004, S.22). Heutzutage ist nachgewiesen, dass die Farbunterscheidungsschwellen der menschlichen Farbwahrnehmung Ellipsoide ergeben und die Beurteilung von Bunttonunterschieden, vom Beobachter, seinem individuellen Farbsehvermögen und einheitlichen Betrachtungsbedingungen abhängig ist (DIN 6174, 2007, S.7). Dies kann als Ursache dafür angesehen werden, dass sich Farbunterscheidungsgrenzen nur mit 50% Wahrscheinlichkeit angeben lassen. „Die gerade erkennbaren Unterschiede sind abhängig von der Helligkeit, der Buntheit und dem Buntton der Farbe.“ (Petersilge, M., 2007, S.3).

Die „Farbmetrik“ ist als ein Bewertungssystem zu verstehen, mit dessen Hilfe visuell wahrgenommene Farbunterschiede mit Zahlenwerten beschrieben und in räumliche Zusammenhänge umgesetzt werden können. Hierbei wird der visuell wahrgenommene Farbunterschied zweier Proben (Farben) mit der Maßzahl für den (Gesamt-) Farbabstand, Delta E (ΔE , DE, E*), beschrieben (DIN 6174, 2007, S.4). Die Maßzahl gibt den Abstand zwischen zwei Proben (Probe : Bezug/Referenz) in einem empfindungsgemäß gleichabständigen Farbordnungssystem wieder. Neben der zahlenmäßigen Beschreibung von Farbunterschieden dient sie unter anderem zur Festlegung von produktabhängigen Toleranz- und Akzeptanzgrenzen. Bei der Interpretation von Farbabstand-Maßzahlen ist zu beachten, dass der Farbabstand generell zwar als Maßzahl zur Darstellung der Differenzausprägung geeignet ist, aber keinerlei Information hinsichtlich der Richtung der festgestellten Differenz bzw. Farbabweichung, wie z.B. „roter als...“, gibt.

Die 1976 von der CIE empfohlene Farbabstandsformel DE* beschreibt aufgrund des visuell nicht gleichabständigen Farbenraums die wahrgenommenen Farbunterschiede nur ungenügend. Seit 1978 versucht die CIE die Forschungsarbeiten zur Verbesserung der Farbabstandsformeln zu koordinieren. Durch die Verwendung neuerer Berechnungsformeln ist es gelungen die Gleichabständigkeit des Farbenraumes sowie die Übereinstimmung zwischen visuell erfassten und gemessenen Farbdifferenzen bei kleinen Farbunterschieden deutlich zu verbessern. Die Berechnung des Farbabstandes kann über verschiedene Formeln durch Differenzbildung von Bezugswerten (Standard) und Gewichtung/Korrektur der Polarkoordinaten L*, C* und h° mit Hilfe von Faktoren erfolgen. Hierdurch ist eine individuelle Anpassung der Werte an bestimmte Proben (Produkte) und/oder Abmusterungsbedingungen möglich. Um Missverständnisse bei der Verwendung von Farbabständen zu vermeiden, sollte immer die zur Berechnung verwendete Formel mit angegeben werden (Berger-Schunn, A.; 1994, S.58-59).

Als Farbmaßzahlen mit einem eindeutigen Einfluss auf die Ausprägung des Farbabstandes werden die Helligkeit, die Buntheit und der Buntton angesehen (Witt, K., 1995, S.937 - 938). Die Helligkeit sollte in engem Zusammenhang mit den Probenoberflächen- bzw.

Grenzflächeneigenschaften eines Probenpaares betrachtet werden. Die Verwendung von Korrekturfaktoren ermöglicht die Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussfaktoren bei der Berechnung des Farbabstandes, wie sie beim Farbabgleich von Probenpaaren z.B. durch Fugen oder offene, texturierte Grenzflächen (z.B. bei Textilien) verursacht sein können. Es wird davon ausgegangen, dass bei vorhandenen Probenabständen bei glatten Grenzflächen oder beim Vergleich textiler Materialien mit größtenteils offenen Grenzflächen die visuelle Wahrnehmung der Helligkeit um 50% erhöht ist.

Erfolg versprechende Ansätze zur Bewertung kleiner Farbabstände ($DE < 2 \dots 5$) sind mit den Formeln DIN DE99 (DIN 6176) und CIE DE2000 (CIE 15:2004, Colorimetry) gelungen. Beide Formeln wurden für die Normlichtart D65 entwickelt und bewerten die auf dem CIELAB - Farbraum basierenden Farbmaßzahlen gleichförmiger. (DIN 6174, 2007, S.8) Sie verbessern die Übereinstimmung mit visuellen Bewertungen und werden in DIN 6174 zur Bestimmung kleiner Farbunterschiede von Körperfarben (z.B. Textilien, Kunststoffe, etc.) und in der Automobilindustrie empfohlen (DIN 6176, 2001, S.4; DIN 6175-1, 2001, S.6).

Weit verbreitet ist auch die Anwendung der durch das „Colour Measuring Committee – Society of Dyers and Colourists (UK)“ (CMC) veröffentlichte Berechnungsformel DEcmc (l:c). Diese weist mit einer Kombination der Korrekturfaktoren von (2:1) eine sehr gute Übereinstimmung mit visuellen Farbunterschieden bei Akzeptanzentscheidungen (gut – nicht gut) auf (Berger – Schunn, A., 1994, S.59).

4.3. Statistische Qualitätssicherung

Zur Sicherung vorhandener Anforderungen an die Produkt- und Prozessqualität in Produktionsbetrieben ist es erforderlich sowohl die Produkt- als auch die Prozessführung regelmäßig zu kontrollieren. Eine Dokumentation und Auswertung der Prüfergebnisse (statistische Qualitätskontrolle) wird in einer Vielzahl von Betrieben nicht nur aus rechtlichen, sondern aus wirtschaftlichen Gründen durchgeführt.

Die Dokumentation des Datenmaterials wird als wichtiges Instrument der Qualitätskontrolle in Produktionsprozessen angesehen. Sie kann durch einfache Protokollierung oder Kontrollkartentechnik (Qualitätsregelkarten – QRK) erfolgen. Die Verwendung von Qualitätskontrollkarten zur Dokumentation zeitabhängiger Datensätze ermöglicht die einfache Darstellung des Wertes einer Variablen (Prüfparameter) und Differenzierung von zufälligen Streuungen und systematischen Abweichungen über die Zeit. Die Prüfergebnisse dienen im Allgemeinen der Lenkung von Produktionsprozessen und werden zur Ermittlung von Grenzwerten herangezogen (Hartwig, G.; Wendling, K.; 2000; S.134). Diese Art der Dokumentation kann vom Qualitätsmanagement zur Visualisierung und Trenderkennung der Prüfparameter und, im Bedarfsfall, wie z.B. bei eingehenden Beanstandungen durch Kunden oder offizielle Behörden, zur Beweisführung herangezogen werden.

Zeitreihenanalysen werden in vielen Bereichen statistisch genutzt zur Planung, Analyse, Prognose und Beeinflussung von Prozessen. Nach *Leuschner* (2005) ist unter Zeitreihe „...eine Folge von Messungen einer (oder mehrerer Variablen) an aufeinander folgenden Zeitpunkten [zu verstehen], die gleiche Abstände voneinander haben.“(Leuschner, H.; 2005,

S. 1). Aus methodischer Sicht gehört die Zeitreihenanalyse in die Klasse der Beobachtungs- und Analysenmethoden und wird den Veränderungsmessungen zugeordnet.

Veränderungsmessungen an abhängigen Variablen werden durch das Vorhandensein mehrerer Einflussgrößen und zunehmender Anzahl von Messwiederholungen zunehmend komplexer und schwieriger zu analysieren. Entsprechend sind Untersuchungspläne anzupassen – hierbei sollten sowohl mögliche Einflussfaktoren wie auch die gewählte Stichprobe berücksichtigt werden. Im Allgemeinen sollten nur Zufallsstichproben in die Untersuchungen einbezogen werden. Bei der Festlegung des Stichprobenumfangs wird die Berücksichtigung der Effektgröße, der Teststärke und des Signifikanzniveau empfohlen (Bortz, J., Döring, N., 2006, S. 633). Es ist vorab festzulegen, ob bei Messwiederholungen immer dieselbe Stichprobe oder jeweils eine andere Stichprobe aus der Grundgesamtheit genutzt werden soll (Bortz, J., Döring, N., 2006, S. 548). Gleichzeitig ist die Reliabilität des Testverfahrens (Messinstrument und Messmethodik) zu beachten. Von Bedeutung sind hierbei die Unterschiedlichkeit der individuellen Veränderungen, die Genauigkeit der Messungen, die Verteilung der Messpunkte und die Anzahl der Messzeitpunkte (Bortz, J., Döring, N., 2006, S. 552 – 554). Zur Feststellung von Unterschieden müssen stichprobenspezifische Referenzdaten vorliegen. Die „Veränderung [der Daten] wird durch Differenzen zwischen Durchschnittswerten angezeigt, die für eine Stichprobe zu [mindestens] zwei Messzeitpunkten ermittelt wurden“. Die Streuung von Differenzwerten wird dabei als wichtiger Indikator für die Reliabilität von Differenzmaßen angesehen (Bortz, J., Döring, N., 2006, S. 552). Durch die Berechnung des Variationskoeffizienten v wird der Streuungsvergleich von Datensätzen mit stark unterschiedlichen Mittelwerten ermöglicht (Quatember, A., 2005, S. 52). Für die statistische Auswertung können verschiedene Varianten der Varianzanalyse und Zusammenhangsanalysen genutzt werden. Wichtige Voraussetzung ist die Vollständigkeit der individuellen Datensätze. (Bortz, J., Döring, N., 2006, S. 509; S. 549) Durch Verwendung der Varianzanalyse (ANOVA) wird der Einfluss einzelner (unabhängiger) Faktoren auf abhängige Variablen geprüft. Aufgestellte Hypothesen werden durch die Varianzanalyse bestätigt, wenn der Haupteffekt (Unterscheidung zweier Merkmalsausprägungen über alle Messungen) signifikant ist. Zusammenhangshypothesen werden grundsätzlich mit Korrelationstechniken überprüft. Dabei bestimmt das Skalenniveau die verwendete Korrelationsart. Die bivariate Korrelation nutzt zur Bestimmung der Enge und Richtung des Zusammenhangs zweier Variablen (Merkmale) einen Korrelationskoeffizienten. Die Überprüfung des Einflusses von zusätzlichen Variablen (Merkmalen) auf den Zusammenhang zweier Merkmale kann durch partielle Korrelation erfolgen.

5. Materialien und Methodik

5.1. Materialien

5.1.1. Farbmessgerät

Im ersten Schritt der Planung war es wichtig ein portables Gerät zu finden, das non-destruktiv und mobil in der Produktionsstätte (Bananenreifungszentrum) eingesetzt werden kann. In Voruntersuchungen wurde herausgefunden, dass eine $d/8^\circ$ -Kugelgeometrie für die geplanten Farbmessungen wahrscheinlich besser geeignet ist als ein Gerät mit gerichteter Messgeometrie. Letztendlich ausschlaggebend für die Auswahl war die uneinheitlich geregelte visuelle Prüfung der Bananen im Rahmen der Qualitätskontrolle in den Reifungszentren. Weitere Anforderungen, neben der erforderlichen Messgeometrie, waren ein weites Messspektrum, hohe Messgenauigkeit und -Geräteübereinstimmung. Um die Daten optimal nutzen zu können, kamen nur Geräte mit System-unterstützter Anbindung und dazugehöriger Farbverwaltungs- bzw. Auswertungssoftware in die engere Auswahl.

Für die Farbmessungen wurde das tragbare SP64 Spektralfotometer des Unternehmens X-Rite ausgewählt. Dieses entspricht den Anforderungen der DIN 5033 und ist aufgrund der guten, spezifizierten Übereinstimmung zwischen verschiedenen Geräten für einen unternehmensweiten Einsatz geeignet. Diese kompakte Spektralfotometer ist wahlweise mit $45^\circ/0^\circ$ bzw. $0^\circ/45^\circ$ oder $d/8^\circ$ -Messgeometrie erhältlich. Es verfügt über ein horizontales Messdesign und eignet sich für den mobilen, auch netzunabhängigen, Gebrauch. Aufgrund der umfangreichen Ausstattung und des ergonomischen Designs ist es vielseitig einsetzbar in Wareneingangs- und/oder Rohstoff-, Produktions- und Warenausgangskontrollen.

Das SP 64 ist mit einer einfach umschaltbaren Messblende (4 und 8 mm Durchmesser) und einem zurückklappbarem Messschuh ausgestattet, wodurch sich auch Messungen in schwierigen Positionen durchführen lassen. Messzeiten von weniger als 2 Sekunden ermöglichen bis zu 1000 Messungen pro Akkuladung. Mit einer einzigen Messung können Farbwerte mit und ohne Glanzanteil erhalten werden. Das Messgerät ermöglicht Einzelmessungen oder Mehrfachmessungen in 10 oder 20 nm-Schritten im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm. Durch die Möglichkeit zur Mittelwertbildung aus bis zu 99 Messungen, können im Rahmen von Mehrfachmessungen produktionsbedingte Schwankungen ausgeglichen werden. Neben der Messung der farbmetrischen Daten als Absolut- und Differenzwerte werden auch weitere, in der Qualitätskontrolle wichtige Kennzahlen, wie z. B. Opazität, Farbstärke (chromatisch, visuell und Dreibereichswert) sowie die 555 Farbsortierung in folgenden Farbsystemen ermittelt:

Tabelle 3: Xrite - SP64 –Messbare Farbkennzahlen

Farbsysteme		
▪ CIE XYZ	▪ CIE $L^*c^*h^\circ$	▪ Weißgrad
▪ CIE Yxy	▪ CMC	▪ Gelbwert (ASTM E313-98)
▪ CIE $L^*a^*b^*$	▪ CIE94	▪ Metamerie (DIN6172 und MI)
▪ Hunter Lab	▪ CIE2000	▪ AATCC Graumaßstab

Die Ausgabe der Messdaten kann für jede der in Tabelle 4 aufgeführten, gebräuchlichsten Lichtarten für den 2°- und den 10° Normalbeobachter erfolgen.

Tabelle 4: Xrite – SP64 - Mögliche Lichtarten

Lichtarten

Leuchtstoffröhrenlicht	Tageslicht	Glühlampenlicht
<ul style="list-style-type: none"> ▪ F2 ▪ F7 ▪ F11 (TL84) ▪ F12 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ D50 ▪ D65 (CIE Normlicht) ▪ D 75 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A (CIE Normlicht) ▪ C (CIE Normlicht) (veraltete Tageslichtdefinition)

Das SP64 ermöglicht die automatische Speicherung der Messergebnisse. Es verfügt über eine Speicherkapazität von bis zu 1.024 Standards mit Pass/Fail – Toleranzen. Dabei können Farbstandards auch projektbezogen gespeichert werden.



Die Steuerung des Gerätes ist offline über ein großes übersichtliches Display und online über ein angeschlossenes Computersystem möglich. Das gut strukturierte Menü ist einfach zu bedienen. Der Vergleich zweier Farbmaßzahlen kann direkt auf dem Display und ohne Toleranzerstellung erfolgen. Die Anzeige von Farbdifferenzen kann individuell im Bedienermenü ausgewählt werden und direkt im Display erfolgen. (www.farbkarten-shop.de, 2008)

Abbildung 15: SP64 Spektralfotometer

(www.xrite.de, 2008)

Die technischen Datenblätter sind im Anhang unter A xx ersichtlich.

Zur optimalen Verarbeitung der gemessenen Farbdaten kann das vielseitige, netzwerkfähige Software-Paket „X-Rite Color®Master“ genutzt werden. Diese Qualitätssicherungs-Software ist konzipiert für die Farbmessung, Farbqualitätskontrolle sowie zur Farbrezeptierung. Gleichzeitig wird die Steuerung des Farbmessgerätes sowie die geräteunabhängige Erstellung und Bearbeitung von Farbstandards und Proben ermöglicht. Individuelle Anforderungen, wie z.B. an Fenstereinstellungen, Werkzeugleisten oder Zugriffsrechte können angepasst werden. Die Farbkontrolldaten werden in Datenbanken verwaltet. Farbstoffe, Standards oder Proben können durch Vergabe von Kennzeichen und/oder Notizen nach spezifischen Eigenschaften organisiert werden. In Verbindung mit individuell einstellbaren Filtern wird die Auswahl der Proben und/oder Standards nach bestimmten Merkmalen ermöglicht. Zur Organisation von Messungen im Rahmen von Projekten und/oder Arbeitsabläufen können maximal 6 Messabläufe und deren Übertragung auf das Gerät über eine spezielle, patentierte Jobtechnologie programmiert werden. Die Software organisiert die Darstellung der Farbkontrolldaten in vorgefertigten- oder individuell erstellten Berichten und den Export als Excel-Files. Durch die individuell zu gestaltende grafische Darstellung der

Farbwerte, wie z.B. als Absolut- oder Differenzwerte, Kurven, Trendgeraden und Toleranzräume, lassen sich Ergebnisse leichter kommunizieren. Einstellbare Toleranzwerte und Warnhinweise erleichtern zudem die schnelle Erkennung von Farbabweichungen im laufenden Betrieb. (www.xrite.de, 2008; www.colour-europe.de, 2008)

5.1.2. Bananen

Für die instrumentellen Farbmessungen wurden Cavendish-Bananen gleicher Güteklasse, jedoch aus unterschiedlichen Anbauländern ausgewählt. Unabhängig von der Untersuchung der Cavendish-Bananen wurden in einem Reifungszentrum zusätzlich die Farbdaten von Bananen der Sorte Pisang Mas aufgenommen. Diese Bananen wurden parallel im gleichen Reifungsraum wie die Bananen der Marke Bajella gereift. Über die Auswahl der zur Untersuchung herangezogenen Bananenmarken wurde versucht, die Eignung der instrumentell ermittelten Farbdaten zur Differenzierung biologischer Einflussfaktoren und Nutzung für weitere wissenschaftliche Zwecke abzuklären.

Abbildung 16 gibt Aufschluss über die untersuchten Bananenmarken, Anbauländer und Transportbedingungen.

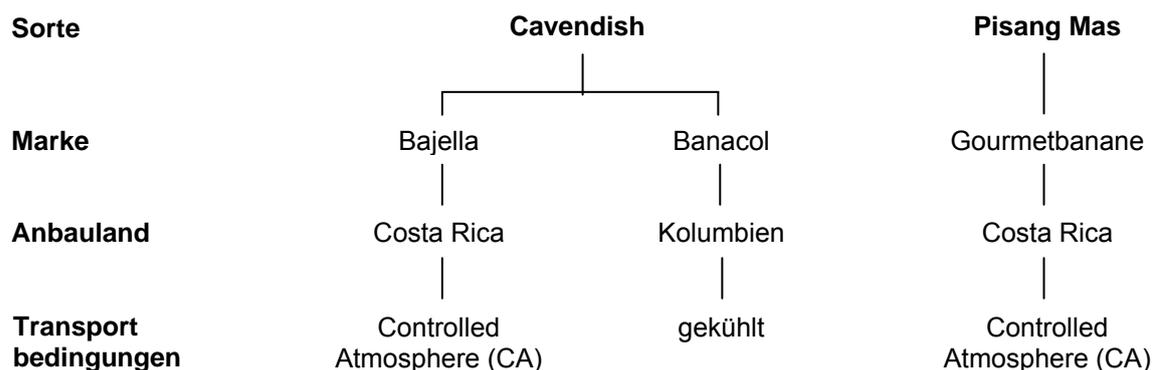


Abbildung 16: Differenzierung untersuchter Bananen

Cavendish – Bananen –

Cavendish-Bananen gehören zu den triploiden Obstbananen der Gruppe AAA. Die verschiedenen Kultivare der Cavendish-Untergruppe (AAA) werden seit fast 70 Jahren vermarktet. Sie bilden seit ca. 50 Jahren die Basis des Exporthandels, da sie sich als resistenter gegen die Panama-Krankheit erwiesen als die Pflanzen der Sorte „Gros Michel“ (Turner, D.W.: Bananas and Plantains, S.). Der Einsatz der im Vergleich kleineren Pflanzen (1,5 – 5m) brachte gleich mehrere Vorteile mit sich - Es wurde nicht nur die Ernte erleichtert, das Risiko des „Windbruchs“ reduziert sondern auf Grund dichter Pflanzabstände auch die Hektarerträge verdoppelt. (www.bananennews.de/pdf; 2008; www.hensle.de-08.08)

Die Bananenbüschel der Cavendish - Pflanzen tragen 8 – 12 Hände mit 16 – 20 Fingern (Daßler, E.; G. Heitmann, 1991, S.38). Die Bananenfinger sind mittelgroß bis groß mit hellgrüner bis gelbgrüner Haut. An der Staude reifen sie normalerweise grüngelb. In der Nachreifung können sie aber auch bei tiefen Lagertemperaturen bis zur vollständigen

Gelbfärbung ausgereift werden. Das Fruchtfleisch reifer Früchte ist süß, weiß bis cremefarbig, weich und fein texturiert. Es kann winzige braune Samen enthalten (Shepherd K, 1990.; www.bananennews.de, 2008; www.hensle.de-08.08; Daßler, E.; G. Heitmann; 1991; S.38). Sie werden in verschiedene Subspezies, wie z.B. „Giant Cavendish“, „Grande Naine“ und andere unterschieden (Brücher, H., 1977, S. 363).

Die im Rahmen dieser Untersuchung verwendeten Bananenmarken sind aufgrund des guten Preis-Leistungsverhältnisses sehr beliebt im Lebensmitteleinzelhandel und bei den Verbrauchern. Die Auswahl erfolgte aufgrund des recht großen Handelsvolumens, der hohen Umschlagshäufigkeit und des sich daraus ergebenden erhöhten Bedarfs an Qualitätsprüfungen. Es wurden handelsüblich verpackte Bananen (18,4 kg-netto-Kartons (2 kg Tara)) folgender Unternehmen verwendet:

- **Unternehmen Dole Fresh Fruit Europe OHG**

Marke „**Bajella**“ – 1. Wahl

Ursprungsland Costa Rica. Der Transport der palettierten Ware erfolgt per Schiff in ca. 2 – 3 Wochen im Container unter „controlled atmosphere“ (CA). Nach unternehmenseigenen Angaben werden für diese Marke Hände aus dem mittleren Teil des Bananenbüschels verwendet. Die einzelnen Bananenfinger sind mindestens 21 cm lang und weisen geringe Schalenfehler auf.

Marke „**Gourmetbanane**“

Botanisch ist diese Marke den Mutanten der triploiden Obstbananen (AAA) der Sortenfamilie / Untergruppe „Gros Michel“ zuzuordnen. Angebaut wird sie auf ausgewählten kleinen Farmen in Costa Rica. Die Ernte erfolgt ganzjährig. Palettierte Ware wird im Kühlcontainer unter „controlled atmosphere“ (CA) verschifft. Die Transportdauer beträgt ca. 12 Tage. Die einzelnen Bananenfinger sind zwischen 8 und 14 cm lang. Die Gourmetbananen sind außergewöhnlich süß und entfalten ihr intensives Aroma erst, wenn sie goldgelb sind.

Im Gegensatz zu den Cavendish-Bananen sind die einzelnen Bananencluster der Marke „Gourmetbanane“ in Polyethylenbeutel verpackt, wodurch ein besonderes Mikroklima geschaffen wird, dass die Reifung positiv beeinflusst. Jeweils ca. 11 Bananencluster sind in einem Displaykarton (400x300x90 mm) verpackt. Die Verkaufseinheit ist ein Beutel a´250g. (unternehmenseigene Beschreibung Dole, 03.07.08)

- **Unternehmen Fruitpoint Europe B.V.**

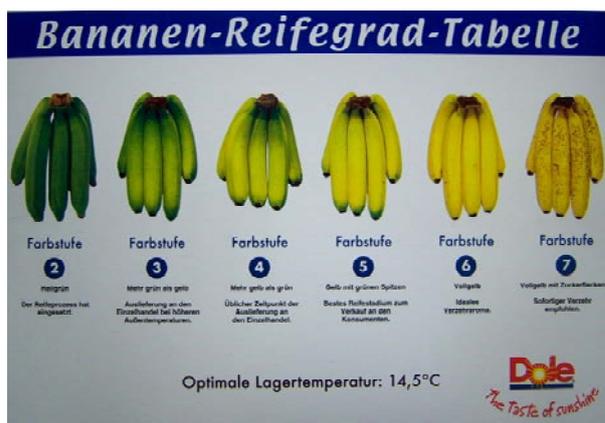
Marke „**Banacol**“ – 1. Wahl

Ursprungsland Kolumbien – Der Transport erfolgt per Schiff in ca. 12 – 14 Tagen im Container unter Kühlung bei normaler Atmosphäre. Nach unternehmenseigenen Angaben werden für diese Marke Hände aus dem mittleren Teil des Bananenbüschels verwendet. Die einzelnen Bananenfinger sind mindestens 21 cm lang und weisen nur geringe Schalenfehler auf.

5.2. Methodik

5.2.1. Planung und Organisation

Vor Beginn der eigentlichen Messreihe erfolgte im Rahmen eines Vortests die Überprüfung der Realisierbarkeit der Zufallsstichprobe - Ziehung sowie der Messmethodik. Hierbei stellte sich heraus, dass die vorab geplante, auf Basis generierter Zufallszahlen basierende Ziehung der Stichprobe zu zeitaufwendig und nicht realisierbar war. Gleichzeitig wären die Reifungsbedingungen in dem betreffenden Reifungsraum durch die Stichprobenziehung nachhaltig derart gestört worden, dass zu späteren Zeitpunkten durchgeführte Farbmessungen keine repräsentativen Ergebnisse geliefert hätten. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden mit den zuständigen Qualitätsbeauftragten und Reifemeistern diskutiert. In Abstimmung erfolgte die Konzeption der Stichprobenziehung und des Stichprobenumfang so, dass sie den Reifungsprozess nicht negativ beeinflussten und im Rahmen der täglichen Qualitätskontrolle reproduzierbar waren. Der zeitliche Aufwand für die Farbmessungen und die visuelle Beurteilungen wurde für die Untersuchung akzeptiert – für die Umsetzung einer ebenso aufgebauten Prüfmethodik im Rahmen der täglichen Qualitätskontrolle wurde er jedoch als zu zeitaufwendig eingestuft.



In der Praxis bewerten Reifemeister den Reifegrades der Bananen visuell durch Abgleich mit einem unternehmens-eigenen Farbchart. Dieser Farbchart gliedert die Farbgrade auf einer Skala von 2 – 7 und ist in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17: Unternehmenseigener Farbchart zur Differenzierung des Reifegrades

Die Beurteilung des Reifegrades wird in der Praxis nicht nach standardisierten Abmusterungsbedingungen vorgenommen und ist uneinheitlich geregelt. Die Zuordnung der Schalenfarbe der Bananen in die auf dem Farbchart dargestellten Farbstufen erfolgt individuell entweder

- im Reifungsraum an Hand der wahrgenommenen Farbe der sichtbaren Fläche an den seitlichen Kartonöffnungen und/oder durch Begutachtung der Bananenreihen (oft die oberen Reihen) einzelner geöffneter Kartons und/oder einzelner Bananencluster oder
- in der Distributionshalle an festen, speziell eingerichteten Untersuchungsplätzen oder auf mobilen Untersuchungstischen unter Mischlicht- oder Leuchtstoffröhrenbeleuchtung durch Begutachtung der Bananenreihen (oft die oberen Reihen) einzelner geöffneter Kartons und/oder einzelner Bananencluster.

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, entsteht die menschliche Farbwahrnehmung dadurch, dass im Gehirn durch die Verarbeitung einzelner Farbreize ein Abbild des durch das Auge

wahrgenommenen Körpers entsteht. Durch die natürliche- und reifungsbedingt auftretende Streuung der Schalenfarbe einzelner Oberflächen der Bananenfinger kann deshalb davon ausgegangen werden, dass sich die visuell wahrgenommene Farbe bei der Beurteilung des Reifegrades aus der Summe der einzelnen Farbwahrnehmungen wie folgt zusammensetzt:

- Beurteilung der einzelnen Seiten/Oberflächen des Bananenfingers - erfolgt über eine visuelle Integration der Summe der wahrgenommenen Farbeindrücke vom Stiel bis zum Blütenansatz
- Beurteilung des einzelnen Bananenfingers - erfolgt über eine visuelle Integration der Summe der wahrgenommenen Farbeindrücke der einzelnen Seiten / Oberflächen des Bananenfingers.
- Beurteilung des einzelnen Bananenclusters - erfolgt über eine visuelle Integration der Summe der wahrgenommenen Farbeindrücke der einzelnen Bananenfinger.
- Beurteilung der Kartonware - erfolgt über eine visuelle Integration der Summe der wahrgenommenen Farbeindrücke der einzelnen Cluster.

Diese Erkenntnisse wurden bei der Planung der Messmethodik, der Messreihenfolge, der Durchführung der Messungen sowie der Auswertung des Datenmaterials berücksichtigt.

Die visuelle Bewertung in einer Lichtkabine unter Normlicht D65 ist sowohl aus sensorisch – wissenschaftlichen wie auch aus farbanalytischen Gesichtspunkten erforderlich, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Für die Untersuchung wurden die in DIN 5033 vorgeschriebenen/empfohlenen Prüfvorschriften zum Farbvergleich von Lacken in der Automobilindustrie und die von der CIE festgelegten Referenzbedingungen zur Abmusterung von Farben (soweit anwendbar) berücksichtigt (vgl. Kap. 4.2). Die Berücksichtigung der Farbwahrnehmung bei der visuellen Farbgradeinstufung erfolgte im Rahmen der Auswertung über Klassierung des Datenmaterials.

Bislang gibt es für die Berechnung von Farbabständen bzw. die Bewertung von Farbabstandsmessungen an frischem, reifendem Obst keine oder nur spärlich Informationsmaterialien. Es sind keine konkreten Empfehlungen/Hinweise zur farbanalytischen Behandlung - und möglicher Ausprägungen auftretender Farbunterschiede von frischem Obst im Verlauf der Reifung vorhanden.

Zum Verständnis der Vergleichbarkeit der statistisch ausgewerteten Daten und der im Farbraum dargestellten Daten ist die Berechnungsgrundlage der verwendeten Farbabstandsformeln zu berücksichtigen. Die zur Berechnung von Farbabständen genutzten Formeln basieren alle auf der Summierung der Differenzen einzelner Messpunkte zum Bezugswert. Je nach verwendeter Berechnungsformel werden zur Berechnung entweder die kartesischen Koordinaten L^* , a^* und b^* oder die daraus abgeleiteten Polarkoordinaten L^* , C^* und h° , mit oder ohne Gewichtung/Korrektur, genutzt (Berger-Schunn, A.; 1994, S. 56 - 58).

Durch sich verändernde Grün-Rot (a^* -Wert) – und/oder Blau-Gelb-Anteile (b^* -Wert) der Farbe werden die Buntheit (C^* -Wert) und der Buntton (h° -Wert) beeinflusst. In Folge kommt es, je nach Helligkeits-, Buntheits- und/oder Bunttonunterschied zum Bezugswert, zu einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Beeinflussung des berechneten Farbabstandes.

Wertmäßige Differenzen können demnach verursacht werden durch

- inhomogene Verteilung der einzelnen Messpunkte im Farbraum, d.h. das Auftreten vieler vom Bezugswert abweichender Farben in einer „Messeinheit“
- Auftreten einzelner, extrem abweichender Farben bei ansonsten homogener Farbverteilung.

Das heißt, schon einzelne extrem abweichende Messpunkte können durch große wertmäßige Abweichung des berechneten Farbabstandes zu einer maßgeblichen Beeinflussung der statistisch ermittelten Streuung führen.

5.2.2. Durchführung

Die zur Bearbeitung der Aufgabenstellung erforderlichen Farbmessungen wurden in zwei unabhängigen Reifungszentren der Unternehmen Dole Fresh Fruit Europe OHG und Paul Kempowski GmbH & Co. KG an Bananen der Cavendish – Untergruppe und Bananen der Sorte Pisang Mas durchgeführt. Sie erstreckten sich über den Zeitraum von der Anlieferung / Einlagerung der Bananen im Reifungsraum bis zum Erreichen des vom Kunden gewünschten Reifegrades bzw. der Auslieferung an den Kunden. Die Aufnahme der benötigten Daten erfolgte an allen Untersuchungstagen in der gleichen Reihenfolge:

1. Entnahme der Kartons aus dem Reifungsraum
2. Öffnen der einzelnen Kartons
3. Anfertigung von Fotografien der geöffneten Kartons
4. Separate visuelle Beurteilung der einzelnen Kartons durch fachlich kompetente Personen mit schriftlicher Protokollierung
5. Kennzeichnung der einzelnen Bananencluster mit generierten Zufallszahlen
6. systematische Farbmessung der nummerierten Cluster
7. Anfertigung von Fotografien der einzelnen Bananencluster in der Lichtkabine
8. Separate visuelle Beurteilung der einzelnen Cluster durch fachlich kompetente Personen mit schriftlicher Protokollierung
9. Einsortierung der Bananencluster in die jeweiligen Kartons
10. Rückstellung der Kartons auf die Palette im Reifungsraum

Die Fotografien wurden mit einer Digitalkamera Marke Casio - Modell: QV-R62 angefertigt.

Nachfolgend aufgeführte Beschreibungen der Regulierungsmechanismen beziehen sich auf die Reifungszentren, in denen die Untersuchungen durchgeführt wurden.

Reifungsparameter

Die Reiferäume sind regulierungstechnisch in 3 Kammern unterteilt. Die Regulierung der Raumtemperatur erfolgt mittels temperierter Luft über so genannte Airbags, die sich in den Zwischenräumen von Palette zur Wand und zur Decke befinden. Die Temperatur wird grundsätzlich pro Kammer des Reiferaums gemessen und dokumentiert - für die Raumtemperatur und stichprobenartig für die Temperatur im Karton (mittlerer Palettenbereich). Die Regulierung der relativen Luftfeuchtigkeit (rH) erfolgt über einen Wasserzerstäuber, der sich an der rückwärtigen Raumwand befindet. Der Luftaustausch / die Frischluft(O₂-)zufuhr erfolgt über zentral gesteuerte Luftaustauscher. Die Klimatisierung wird durch richtungswechselnde Luftumwälzung unterstützt. Die Zwangskonvektion der Luft erfolgt bei einem Rauminnendruck von ca. 100 – 140 Pa und wird über 9 Ventilatoren an der Decke gesteuert.

Direkt nach der Anlieferung werden die Paletten in der Regel in die entsprechenden Reiferäume eingelagert. Nach der Einlagerung erfolgt normalerweise eine Temperaturangleichung (ca. 24 Std.) der Bananen, um eine gleichmäßige Reifung zu sichern. Die Begasung mit Ethylen wird direkt im Anschluss an die Temperaturangleichung durchgeführt und kann sowohl über die Dosiermenge des Ethylen-Gasgemisches oder über die Zeit gesteuert werden.

Die Reifung der Bananen erfolgte in den Reifungszentren jeweils mit einem standardisierten Reifungsprogramm. Die entsprechenden Programmparameter sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Vergleich Reifungsprogramme

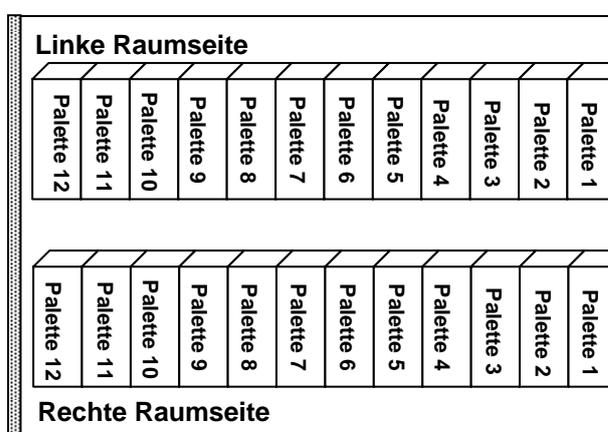
Reifungszentrum	Dole Fresh Fruit OHG/ Stelle		Paul Kempowski GmbH / Lübeck	
Belüftung	Bedarfsabhängig - im Regelfall alle 12 Std – 60 min. Frischluftzufuhr		Alle 8 Std. – 60 min. Frischluftzufuhr	
Luftzirkulation	x			
Marken	„Bajella“ und „Gourmetbanane“		„Banacol“	
Tage	Bemerkungen	Ø T _{Pulp} [°C]	Bemerkungen	Ø T _{Pulp} [°C]
Anlieferung		14,0		
Lagertag		14,0		
Angleichungstag		15,0		15,0
Ethylen-Gasgemisch (4%Ethylen / 96% Stickstoff)	800 mg kg ⁻¹ Status wird über 24 Std gehalten	15,5	1000 mg kg ⁻¹ für 20 min. / 24 Std. Haltezeit	16,4
1.Tag nach Ethylen		15,0		16,5
2.Tag nach Ethylen		15,0		15,5
3.Tag nach Ethylen		15,5		15,5
4.Tag nach Ethylen	Auslieferung	15,6		15,6
5.Tag nach Ethylen				14,7
6.Tag nach Ethylen			Auslieferung	14,4

Stichprobenziehung

Bei der Stichprobenziehung wurde davon ausgegangen, dass der Reifungsraum mit zufällig verpackten - und palettierten Bananen bestückt wurde. Um die Reifungsbedingungen möglichst wenig zu beeinflussen, wurde zur Ziehung der Stichprobe täglich nur eine Palette genutzt.

In beiden Reifungszentren erfolgte die Stichprobenziehung unter folgenden Voraussetzungen:

- Vollständige Bestückung eines definierten Reifungsraumes mit 24 Palettenstellplätzen
- Tägliche Entnahme einer Stichprobe von 2 Kartons aus der vorderen Reihe einer zufällig ausgewählten Palette der rechten Raumseite
- Die Auswahl der benötigten Palette erfolgt an Hand generierter Zufallszahlen.



Eine gewisse Unabhängigkeit von äußeren Beeinflussungen (klimatische Bedingungen) wurde dadurch erreicht, dass die erste und letzte Palette (Paletten 1 und 12) im Reifungsraum sowie der oberste und unterste Karton (Karton 1 und 8) der mittleren Kartonreihe auf der jeweiligen Palette grundsätzlich von der Untersuchung ausgeschlossen wurden.

Abbildung 18: Bestückung Reifungsraum

Der Standort der für die Stichprobenziehung zur Auswahl stehenden, durchnummerierten Paletten ist Abbildung 19 zu entnehmen.

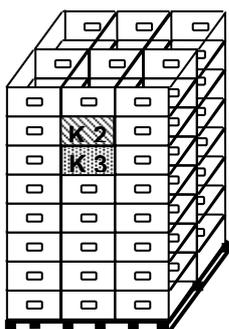


Abbildung 19: Lage der Stichproben-Kartons

Gleichzeitig ist die Lage des täglich entnommenen Stichprobenmaterials [Karton2 (K2) und Karton3 (K3)] aus der mittleren Reihe einer zufällig ausgewählten Palette ersichtlich.

Ermittlung der Farbmaßzahlen

Die Farbmessungen wurden mit dem Spektralfotometer SP 64 unter Nutzung der 4 mm Messöffnung mit folgenden Messparametern durchgeführt

- Glanzeinschluss (Spin)
- 10° Normalbeobachter
- D65/ Normlichtquelle

Vor Beginn der Messungen erfolgte die Kalibrierung des Farbmessgerätes mit einem, durch den Hersteller zur Verfügung gestellten, Weiß- und Schwarzstandard.

Die Ergebnisse aus der Voruntersuchung zeigten auf, dass eine starke Streuung der Farbmaßzahlen zu erwarten war. Um einen Überblick über mögliche Einflussfaktoren und das Ausmaß der auftretenden Streuung zu bekommen wurden die Messungen an allen Clustern der oberen beiden (sichtbaren) Reihen der ausgewählten Kartons durchgeführt. In Abbildung 20 ist beispielhaft die Anordnung der Reihen im Karton und der Bananencluster in der Reihe dargestellt.

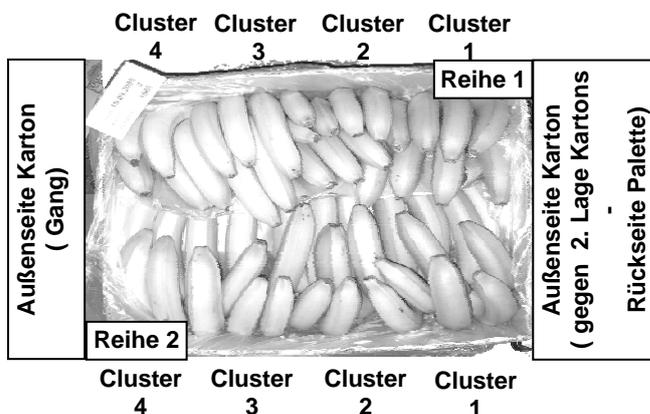


Abbildung 20: Anordnung der Bananencluster im Karton

Pro Cluster wurden 4 Messflächen, verteilt auf drei Bananenfinger, untersucht

- - obere Reihe - mittlerer Finger, Messfläche oben
- - obere Reihe - linker Finger, Messfläche oben und seitlich
- - untere Reihe - rechter Finger, Messfläche seitlich

Die Verteilung der Messflächen pro Cluster ist in Abbildung 21 dargestellt.

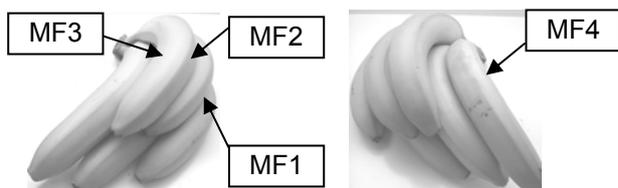


Abbildung 21: Darstellung der Messflächen pro Bananencluster

Pro Messfläche wurde vom Stiel bis zum Blütenansatz an 4 Messpunkten gemessen. – Die Messungen wurden jeweils im mittleren Bereich eines Viertels der Gesamtfläche vorgenommen. Der Messwert jedes Messpunktes wurde als Mittelwert aus drei Messungen ermittelt. Die Verteilung der Messpunkte pro Messfläche kann Abbildung 22 entnommen werden.

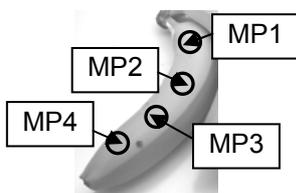


Abbildung 22: Verteilung der Messpunkte pro Messfläche

Die Farbmessungen wurden täglich jeweils zuerst an den Bananen aus Karton 2 und im Anschluss an den Bananen aus Karton 3 durchgeführt. Abbildung 23 gibt beispielhaft einen Überblick über die Messreihenfolge von Karton 2.

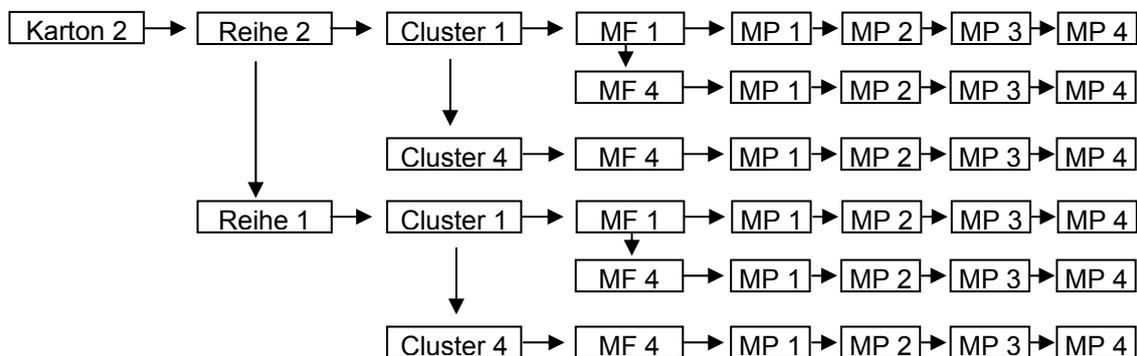


Abbildung 23: Messreihenfolge Cavendish Bananen

Die vollständige Übersicht der Messreihenfolge ist im Anhang unter Abbildung A1 dargestellt. Die Bedeutung der ausgewählten Farbmaßzahlen ist in Tabelle A1 (Anhang) separat aufgeführt.

In dem geplanten Zeitraum (Anlieferung bis Auslieferung / Reifegrad 2 bis max. 5) wurde nicht mit dem Auftreten von Zuckerflecken gerechnet. Im Hinblick auf den Untersuchungszweck wurde jedoch bei Auftreten von Schalenfehlern oder Zuckerflecken die Messungen in dem direkten Umfeld aufgenommen.

Ermittlung der visuellen Reifegrade

Die Zuordnung der Reifegrade erfolgte an den Untersuchungstagen durch visuelle Beurteilung und entsprechende Farbgradeinstufung von

- ausgewählten, geöffneten Bananenkartons unter Mischlichtbedingungen (Tageslicht und Leuchtstoffröhrenlicht) auf einem Untersuchungstisch in der Distributionshalle und
- instrumentell untersuchten Bananenclustern in einer Lichtkabine (D65-Normlicht)

Um das Risiko einer gegenseitigen Beeinflussung zu vermeiden, wurden die visuellen Bewertungen von den einzelnen Personen unabhängig voneinander durchgeführt. Die größtenteils anonym protokollierten Farbgradeinstufungen lieferten die benötigten Daten zur Berechnung der Korrelationen mit den ermittelten Farbmaßzahlen und für den markenübergreifenden Vergleich.

Die Bewertung der Bananencluster durch die beteiligten Reifemeister erfolgte sowohl nach ganzen Farbgraden als auch nach Zwischenstufen unter verschiedenen Bezeichnungen. Zur genauen Zuordnung und optimalen Gestaltung der Auswertung wurden die durch visuelle Beurteilung ermittelten Farbgradzuordnungen und verwendeten Zwischenstufen auf ein 17er-Rang - Skalenniveau transformiert. Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die entsprechende Zuordnung.

Tabelle 6: Rangskalenzuordnung

Rangskala	Verwendete Bewertung lt Farbchart
1	<= 2 - (1,5)
2	2
3	2+
4	3 -
5	3
6	3+
7	4 -
8	4
9	4+
10	5 -
11	5
12	5+
13	6 -
14	6
15	6+
16	7 -
17	7

Nachfolgend sind die nicht eindeutig zuzuordnenden Bezeichnungen der Reifegradbewertung dargestellt

- 2 – 3 / 2 bis 3
- bis 3
- 2,5
- 3,5
- 3 – 4 / 3 bis 4
- bis 4
- 4 – 5 / 4 bis 5
- 4,5
- bis 5

Damit diese korrekt in die vorgesehene Rangskala eingeordnet werden konnten, erfolgte eine Überprüfung durch Befragung von vier entsprechend kompetenten Personen in dem Reifungszentrum.

Aus den abgegebenen Zuordnungen wurde der arithmetische Mittelwert bestimmt und für die Auswertung zugrunde gelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Ergebnis Prüfung ungeklärter Farbgrad-/Reifebezeichnungen

Prüfung differenter Bezeichnungen	Bewertung laut Rangskala Mittelwert (aus 4)
2 - 3	3
bis 3	5
2,5	3
3,5	6
3 bis 4	6
bis 4	7
4 bis 5	9
4,5	9
bis 5	10

Die Rangzuordnung bei Auftreten von Bewertungsdifferenzen derselben Ware durch unterschiedliche Personen erfolgte im Rahmen der Auswertung durch Bildung von Rangsummen und Division durch die Anzahl der bewertenden Personen.

5.2.3. Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software Microsoft Excel und SPSS für Windows 15.0/16.0 des Unternehmens SPSS Inc.

Zur korrekten Überprüfung von Einflussgrößen mittels varianzanalytischer Methoden war es erforderlich die täglichen Stichproben auf gleiche Probenumfänge zu reduzieren. Die Auswahl der zur Reduzierung des Stichprobenumfangs genutzten Fälle erfolgte an Hand generierter Zufallszahlen. Die reduzierten Stichprobenumfänge wurden gleichzeitig zur Ermittlung der statistischen Kennzahlen genutzt. Die für die Auswertungen zu Grunde liegenden Stichprobenumfänge sind in den jeweiligen Kapiteln separat aufgeführt.

Zur besseren Übersicht über zeitliche Zusammenhänge von ermittelten Veränderungen der Farbmaßzahlen - L*, a*, b*, C*, und h°- wurden die Ausprägungen der einzelnen Werte und der Streuung in Grafiken und die Farbabstandswerte zusätzlich im L*a*b*- Farbenraum dargestellt.

Die Prüfung des statistischen Zusammenhang erfolgte zwischen

- den einzelnen Farbmaßzahlen durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson
- den visuell bestimmten Farbgradeinstufungen und den ermittelten Farbabstandswerten durch Berechnung der Korrelationskoeffizienten nach Spearman

Zur Erkennung und Abschätzung möglicher Einflussgrößen erfolgte eine Klassierung der Messpunkte in Anlehnung an denkbare visuelle Differenzierungsmöglichkeiten (vgl. Kap. 5.1.2). Die verwendeten Klassierungseinheiten sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Differenzierungseinheiten

Alle Proben				
Kartons gesamt	Karton 2		Karton 3	
	Reihe 1 = Cluster 1 - 4	Reihe 2 = Cluster 1 - 4	Reihe 1 = Cluster 1 - 4	Reihe 2 = Cluster 1 - 4
	Cluster gesamt = durchschnittlicher Mittelwert über alle untersuchten Cluster			
	Messflächen gesamt = durchschnittlicher Mittelwert über alle Messflächen			
	MF1 = Mittelwert über alle MF1			
	MF2 = Mittelwert über alle MF2			
	MF3 = Mittelwert über alle MF3			
	MF4 = Mittelwert über alle MF4			

Die Klassierung wurde parallel genutzt, um Anhaltspunkte zur Erkennung von Differenzierungsalternativen zu erhalten. Für die einzelnen Klassen erfolgte die Ermittlung von Mittelwert [xquer], Standardabweichung [s], Variationskoeffizient [v] und Spannweite [R] pro Untersuchungstag. Die Ergebnisse wurden tabellarisch dargestellt und geben einen Überblick über die Entwicklung der durchschnittlichen Kennzahlen einzelner Farbmaßzahlen

über alle Klassen im jeweiligen Untersuchungszeitraum. Der Einfluss der verschiedenen Faktoren (zusammengefasste Untersuchungseinheiten = Klassen) auf abhängige Variablen wurde durch Varianzanalyse (ANOVA) überprüft und verglichen.

Unter Berücksichtigung farbanalytischer Erkenntnisse aus anderen Bereichen hinsichtlich der Eignung verschiedener Farbabstände erfolgte die parallele Berechnung der Farbabstände nach folgenden Farbabstandsformeln:

- DE* (CIELAB-Formel)
- DE94
- DE2000
- DEcmc.

Die Berechnungen für die Farbabstände DE94, DE2000 und DEcmc erfolgten auf Grund nachstehender Umstände mit unterschiedlich gewichtetem L*- Wert:

- differente Abmusterungsbedingungen der Bananen
- mögliche Einflussnahme der von Probenabständen sowie Oberflächen- und Grenzflächeneigenschaften beeinflussten Helligkeitswahrnehmung
- große Streuung der Helligkeitswerte (aus Ergebnissen der Voruntersuchung)
- Einfluss der L-Werte auf die Bunttonveränderung.

Die Korrekturen der Helligkeit bei der Berechnung des Farbabstandes wurden für jede Farbabstandsformel mit den Faktoren 1 – 4 vorgenommen. Die Berechnung erfolgte über die Auswertungssoftware „X-Rite Color®Master“. Zur Differenzierung wurden die verwendeten Formel jeweils mit den Zusätzen (1: ...) bis (4: ...) gekennzeichnet.

Die Berechnungsergebnisse dienen im weiteren Verlauf der Auswertung als Grundlage für die Prüfung und Diskussion folgender Fragestellungen:

- Lassen sich aus den ermittelten Daten Hinweise ableiten, die auf die Eignung der unterschiedlichen Farbabstände für dieses spezielle Anwendungsgebiet hindeuten?
- Kann durch eine Modifikation der Formel zur Berechnung des Farbabstandes mittels Gewichtung des Helligkeitsfaktors eine Verbesserung der Übereinstimmung mit den visuellen Farbbeurteilungen erreicht werden?

Eine Abschätzung der unterschiedlich berechneten Farbabstände hinsichtlich der Differenzierungsmöglichkeiten des Reifegrades untersuchter Bananencluster erfolgte über die Ergebnisse der Zusammenhangsanalyse.

Die Auswertungsergebnisse sind in Kapitel 6 markenspezifisch und vergleichend dargestellt. An Hand der Ergebnisse wurde geprüft, in wie weit die Farbe von Bananen reproduzierbar gemessen und eine exakte Farbdefinition möglich ist. Gleichzeitig erfolgte die Nutzung zur Interpretation der Farbentwicklung und der auftretenden Streuung. Daraus gewonnene Erkenntnisse können zur möglichen Festlegung von Toleranz- und/oder Akzeptanzgrenzen im Unternehmen genutzt werden. Die Überprüfung der Zusammenhänge und der

Einflussfaktoren diente der Abklärung einer möglichen Eignung dieser Daten für andere wissenschaftliche Zwecke wie z.B. Aufdeckung sorten- und/oder markenspezifischer Unterschiede, Abklärung von Zusammenhängen mit anderen Reifungsparametern, etc. Gleichzeitig wurden ermittelte statistische Zusammenhänge zwischen den entsprechend klassierten Farbmaßzahlen und den visuellen Reifegradbestimmungen genutzt, um das Differenzierungseignung einzelner Farbmaßzahlen abzuschätzen. Zur Überprüfung wurden aus den ermittelten statistischen Kennzahlen Akzeptanzbereiche für die einzelnen Farbgrade konzipiert und an Hand des festgestellten Überschneidungspotentials die Differenzierungseignung bestimmt.

Die in der Datendarstellung verwendeten Abkürzungen 1. ...T.n.Eb. oder 1...T.n.Ebeh. bezeichnen jeweils die Reifungs/Untersuchungstage nach der Ethylenbehandlung.

6. Ergebnisse

6.1. Dokumentation des Reifungsverlaufs

6.1.1. Marke Bajella

Für die Marke Bajella wurden an 6 Tagen Farbmessungen durchgeführt. Aufgrund kurzfristig aufgetretener logistischer Probleme konnte der regulär geplante Ablauf, Anlieferung – 24-stündige Temperaturangleichung – Ethylenbehandlung, nicht eingehalten werden. Es wurde ein zusätzliche Lagertag eingeschoben, an dem die Bananen auf dem Temperaturniveau der Anlieferung gehalten wurden, um keine weiter Beeinflussung des Untersuchungsablaufes zu riskieren.

Der Gesamtumfang sowie die täglichen Stichprobenumfänge sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 9: Marke „Bajella“ – Stichprobenumfänge

Untersuchungstage	
Anlieferungstag	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
Angleichungstag	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
1. Tag nach Ethylenbehandlung	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
2. Tag nach Ethylenbehandlung	14 Cluster = 56 Messflächen = 242 Messpunkte
3. Tag nach Ethylenbehandlung	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
4. Tag nach Ethylenbehandlung	14 Cluster = 56 Messflächen = 242 Messpunkte
Gesamtumfang	92 Cluster = 348 Messflächen = 1508 Messpunkte

Zur statistischen Auswertung erfolgte eine Stichprobenangleichung auf täglich 224 Messpunkte. Der zur Auswertung genutzte Gesamtprobenumfang betrug 1344 Messpunkte.

Abbildung 24 gibt einleitend einen zusammenfassenden Überblick der Entwicklung der einzelnen Farbmaßzahlen im Untersuchungszeitraum. Eine detaillierte Beschreibung der Veränderungen einzelner Farbmaßzahlen erfolgt in der weiteren Ergebnisdarstellung.

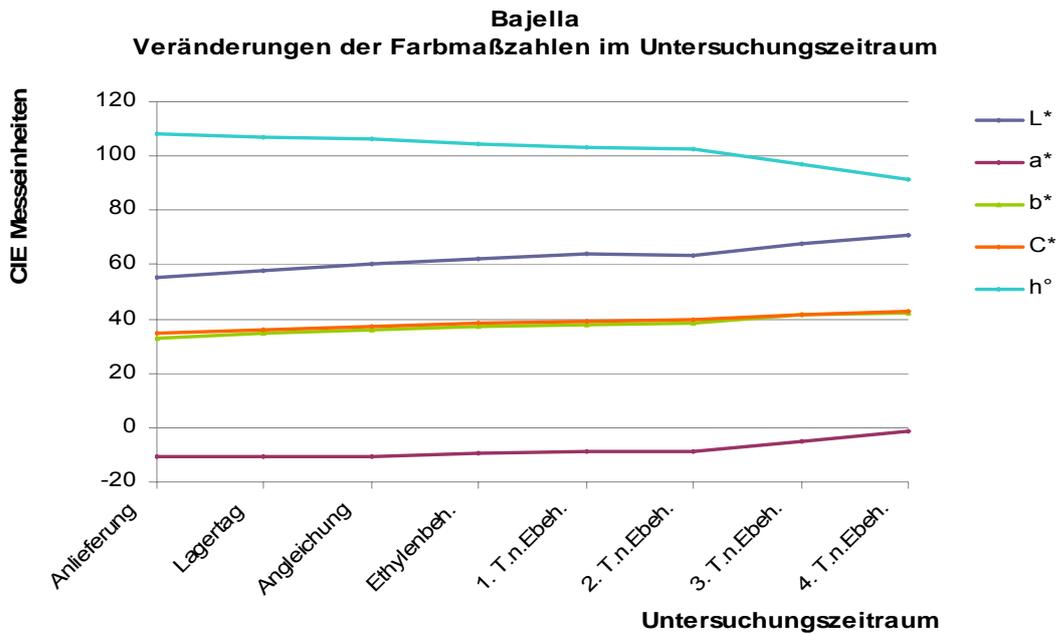


Abbildung 24: Marke Bajella – Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen

In der Grafik ist deutlich zu erkennen, dass bereits vor der Ethylenbehandlung eine Veränderung der Helligkeit (L*-Wert), der Gelbanteile der Farbe (b*-Wert), der Buntheit/Farbintensität (C*-Wert), und des Bunttons (h°-Wert) stattfand, die sich bis zum ersten Untersuchungstag nach der Ethylenbehandlung stetig fortsetzte. Auch bei den Grünanteilen der Farbe (a*-Wert) fand eine leichte Verschiebung statt - diese war jedoch nicht so deutlich erkennbar. Zwischen dem ersten und zweiten Tag nach der Behandlung mit Ethylen (Initiierung der endogenen Ethylen-Biosynthese) stagnierten die Farbmaßzahlen nahezu auf gleichem Niveau. An Hand der ermittelten Daten kann davon ausgegangen werden, dass im Verlauf des 2. Tages nach der Ethylenbehandlung (2.T.n.Ebeh) biochemische Reaktionen stattfanden, die sich in deutlich veränderten Farbmaßzahlen am 3. Tag nach der Behandlung mit Ethylen bemerkbar machten. Diese aufgezeichneten Veränderungen setzten sich stetig bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes fort

Die Tabellen 10 - 13 geben einen Überblick über die durchschnittliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Farbmaßzahlen über alle Klassen im Verlauf des Untersuchungszeitraumes. Die Abbildungen 25, 26, 29 und 30 stellen auf der linken Seite die Entwicklungen der Farbwerte, der Standardabweichungen sowie das Auftreten von „Ausreißern“ und Extremwerten dar. Jeweils auf der rechten Seite der Abbildung ist die Entwicklung der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) ersichtlic.

Helligkeit (L*)

Tabelle 10: Marke „Bajella“ - Veränderungen von L*

Untersuchungs- tag	L*		
	Bereich		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Anlieferungstag	55,1	5,4	0,10
Angleichungstag	60,3	4,1	0,07
1.TnEb	64,1	4,2	0,06
2.TnEb	63,1	3,9	0,06
3.TnEb	67,8	3,7	0,05
4.TnEb	70,8	2,8	0,04

An Hand der in Tabelle 10 dargestellten Daten ist zu erkennen, dass sich die Helligkeit (L*) vom Anlieferungstag bis zum Auslieferungstag um knapp 16 Messeinheiten erhöhte. Gleichzeitig wurde mit zunehmender Reifung eine Reduzierung der Streuung um ca. 2,7 ME (ca. 50%) festgestellt

Aus dem in Abbildung 25 grafisch dargestellten Entwicklungsverlauf ist deutlich zu erkennen, dass sich die Farbe der untersuchten Bananen besonders am Anlieferungstag stark in der Helligkeit unterschied. Es zeigte sich eine große Streuung der Werte. Gleichzeitig wurden vermehrt deutlich abweichende Werte (Ausreißer) registriert, die dazu führten, dass die Spannweite der ermittelten Farbmaßzahl sehr hohe Werte annahm (bis zu 42 ME).

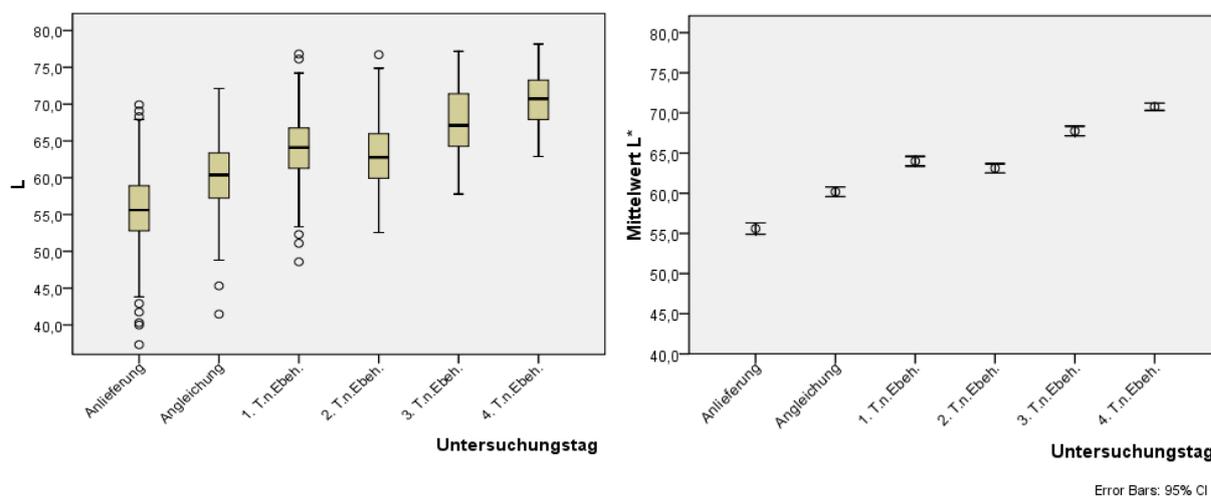


Abbildung 25: Marke „Bajella“ - Entwicklung des L*-Wertes

Mit zunehmender Reifungsdauer reduzierte sich die Streuung und die Anzahl der deutlich abweichenden Werte. Aus der Darstellung der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) ist erkennbar, dass die Farbe der untersuchten Bananen bereits vor der Ethylenbehandlung heller wurde. Diese Entwicklung setzte sich über die Ethylenbehandlung fort. Zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungstag nach der Ethylenbehandlung war ein leichter Rückgang und am folgenden Untersuchungstag (3.T.n.Eb.) eine eindeutige Zunahme der Farbmaßzahl zu verzeichnen. Zum Ende des Untersuchungszeitraumes reduzierte sich die Steigerungsrate. Gemeinsam mit der reduzierten Streuung der Werte konnte auf eine Stabilisierung der Farbe hinsichtlich der Helligkeit geschlossen werden.

Grün – Rot – Achse (a*)

Werden die Veränderungen des a*-Wertes / der Grünanteile (stehend für den Anteil des Chlorophylls in der Schale) ins Verhältnis zur Entwicklung der Helligkeit gesetzt, so zeigte sich, dass die Zunahme der Helligkeit mit der Abnahme der Grünanteile der Farbe, d. h. dem Anstieg des a*-Wertes, einherging. Über den gesamten Untersuchungszeitraum kam es zu einem Anstieg um 9,6 Messeinheiten. Die entsprechenden Kennzahlen sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Im Vergleich zu der Entwicklung der L*-Werte wurden bei den a*-Werten zu Beginn des Untersuchungszeitraumes wesentlich geringer ausgeprägte wertmäßige Veränderungen, aber eine klar erkennbare Steigerung der Streuung detektiert. Nach der Ethylenbehandlung kam es erst nach dem vierten Untersuchungstag (2.T.n.Eb) zu deutlichen Veränderungen der Mittelwerte. Am letzten Untersuchungstag zeigte sich ein extremer Streuungsanstieg. Dies ist auch sehr deutlich in der grafisch dargestellten Entwicklung der Farbmaßzahlen und der Mittelwerte zu ersehen (Abbildung 26).

Tabelle 11: Marke „Bajella“ – Veränderungen von a*

Untersuchungs tag	a*		
	Bereich		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Anlieferungstag	-10,9	1,2	0,11
Angleichungstag	-10,5	1,4	0,13
1.TnEb	-8,9	2,3	0,26
2.TnEb	-8,6	2,4	0,28
3.TnEb	-5,3	2,9	0,57
4.TnEb	-1,3	2,5	2,67

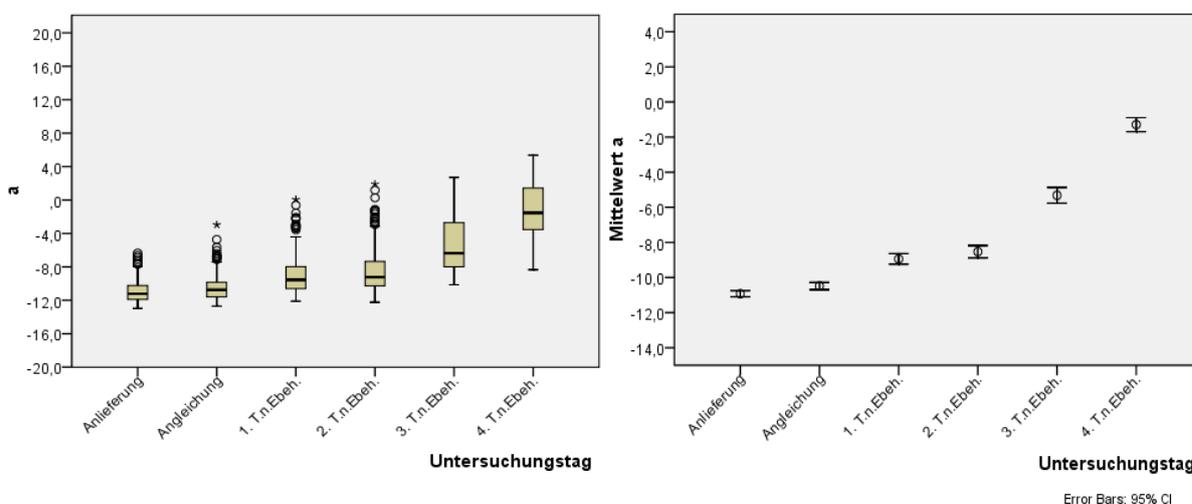
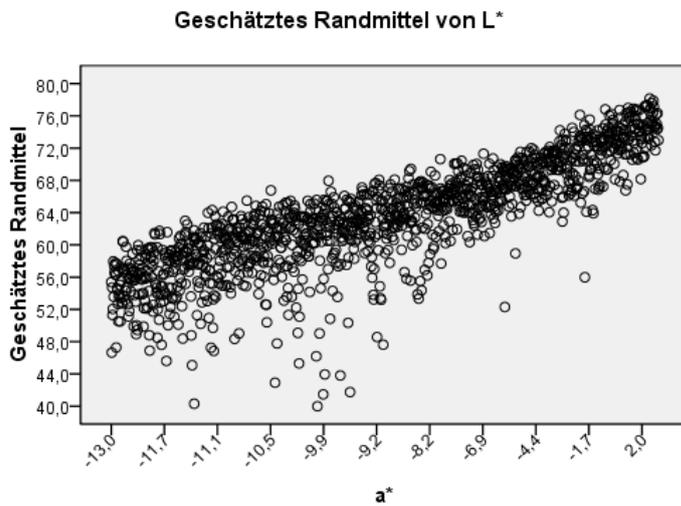


Abbildung 26: Marke „Bajella“ - Entwicklung des a*-Wertes

In der Abbildung wird deutlich, dass die Veränderungen der a*-Werte und die auftretende Streuung auf einem geringeren Niveau angesiedelt waren als die L*-Werte. Vom Zeitpunkt der Anlieferung bis zur Ethylenbehandlung lagen die Werte recht konzentriert, mit Ausnahme einiger deutlich abweichender Messpunkte (Ausreißer), im Bereich von -10 bis -12 ME. Bereits am ersten Untersuchungstag nach der Behandlung mit Ethylen (1.Tn.Ebeh.) begannen die Werte ausgeprägt zu streuen. Diese Entwicklung setzte sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes fort und war auch an Hand der grafisch dargestellten Mittelwerte zu verfolgen. Interessant ist, dass die Werte bis zum dritten Untersuchungstag hauptsächlich in den oberen Bereich streuten. Die Kennzahlen verdoppelten sich in diesem Zeitraum und erreichten am letzten Untersuchungstag ein Maximum.

Durch Korrelationsberechnung (Pearson) konnte ein sehr großer Zusammenhang ($r = 0,82$) zwischen dem L^* - und a^* -Wert bestätigt werden. (vgl. Tabelle 14). In Abbildung 27 wird der Zusammenhang zwischen diesen beiden Farbmaßzahlen verdeutlicht.



Gleichzeitig ist klar zu erkennen, wie sich die anfänglich stark ausgeprägte Streuung des L^* -Wertes mit Zunahme des a^* -Wertes, d.h. mit zunehmendem Chlorophyllabbau reduzierte.

Abbildung 27: Marke „Bajella“ - Zusammenhang von L^* und a^*

Blau – Gelb – Achse (b^*) und Buntheit /Farbintensität (Chroma = C^*)

Hinsichtlich der Gelbanteile der Farbe (b^* -Wert) und der Buntheit (C^* -Wert) ist in Abbildung 28 zu erkennen, dass diese beiden Farbmaßzahlen sehr eng miteinander verbunden sind. Sie wiesen eine nahezu gleiche Entwicklung über den gesamten Untersuchungszeitraum auf. Durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson konnte ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,99$) ermittelt werden (vgl. Tabelle 14).

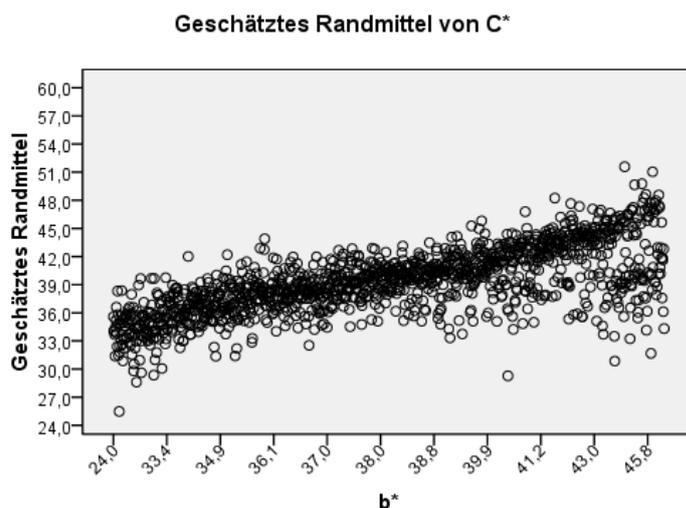


Abbildung 28: Marke „Bajella“ – Zusammenhang zwischen b^* und C^*

In Tabelle 12 sind die durchschnittlichen Mittelwerte und Streuungskennzahlen der beiden Farbmaßzahlen im Untersuchungszeitraum gegenübergestellt.

Tabelle 12: Marke „Bajella“ - Veränderungen von b* und C*

Untersuchungs tag	b*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Anlieferungstag	32,9	1,8	0,05
Angleichungstag	36,0	1,3	0,04
1.T.nEb	38,1	1,6	0,04
2.T.nEb	38,6	1,7	0,04
3.T.nEb	41,4	2,4	0,06
4.T.nEb	42,5	3,3	0,08

Untersuchungs tag	C*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Anlieferungstag	34,7	1,9	0,05
Angleichungstag	37,5	1,4	0,04
1.T.nEb	39,2	1,9	0,05
2.T.nEb	39,6	1,9	0,05
3.T.nEb	41,9	2,5	0,06
4.T.nEb	42,6	3,4	0,08

Abbildung 29 verdeutlicht den Entwicklungsverlauf der b*- und C*- Werte grafisch.

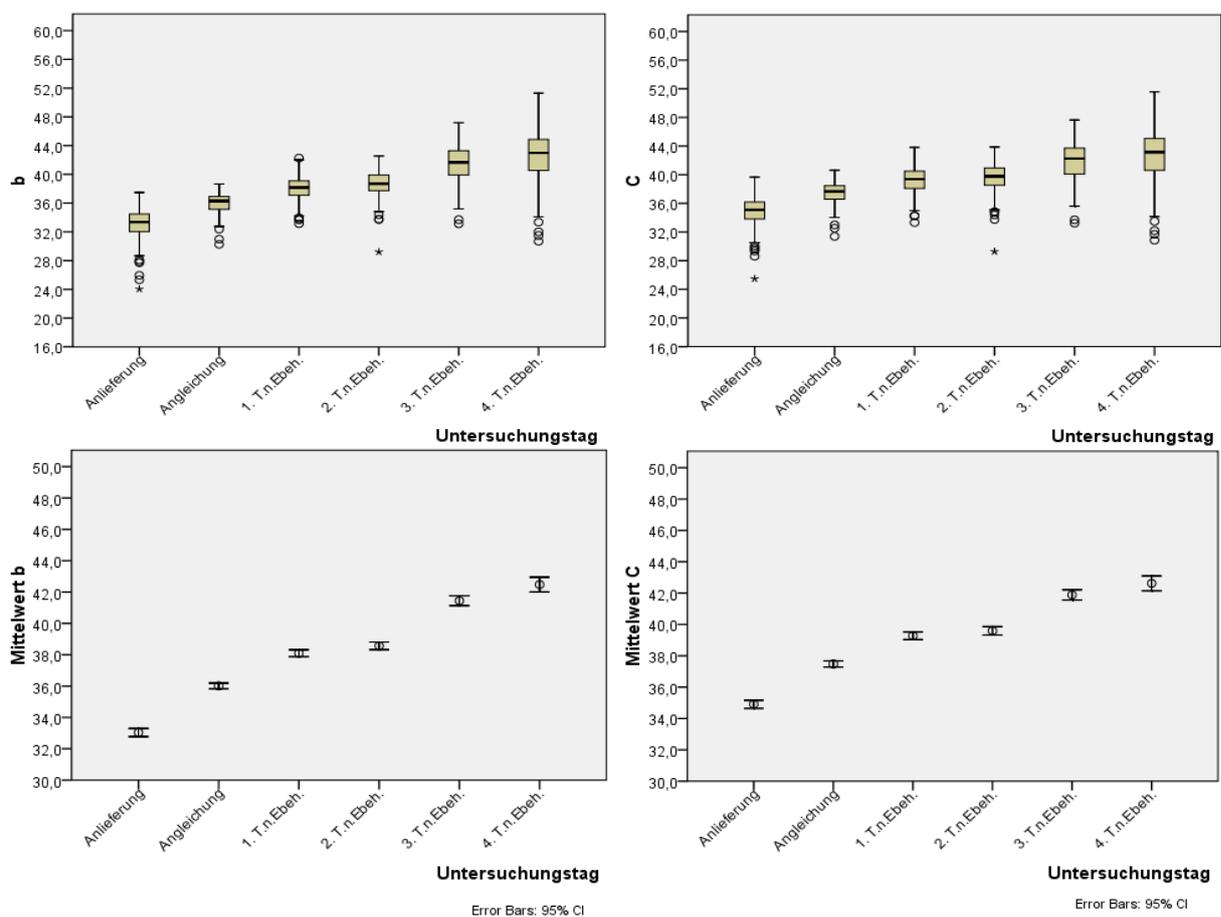


Abbildung 29: Marke Bajella - Entwicklungen der b*- und C*- Werte

Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Ausprägungen der Werte und die auftretende Streuung stark ähnelten. Sowohl die Gelbanteile der Farbe (b* - stehend für den Carotinoidgehalt der Schale) als auch die Buntheit/Farbtintensität (C*) zeigten vom Beginn der Einlagerung am Anlieferungstag bis zum ersten Untersuchungstag nach der Ethylenbehandlung eine deutlich positive Veränderung. Auch bei diesen Farbmaßzahlen waren die Veränderungen der Werte und der Streuung deutlich geringer ausgeprägt als bei der Helligkeit (L*). Im weiteren Verlauf der Reifung wurde durch die Beobachtung stagnierender Werte (1.T.n.Ebeh – 2.T.n.Ebeh.) eine Parallelität zu der Entwicklung der a*-Werte aufgedeckt. Wird die stark zunehmende Streuung des a*-Wertes im Reifungsverlauf

bei der Betrachtung berücksichtigt, ist davon auszugehen, dass in diesem Zeitraum der Chlorophyllabbau ungleichmäßig zunahm. Die hierdurch bedingte, ungleichmäßige Reduktion der Maskierung der in der Bananenschale enthaltenen Carotinoide könnten die am dritten Untersuchungstag sprunghaft angestiegenen Werte der Gelbanteile der Farbe (b^*) und der Buntheit (C^*) erklären. In Relation zu den detektierten Mittelwerten stieg die Datenstreuung über den Untersuchungszeitraum nur minimal an. Interessant ist das über den ganzen Untersuchungszeitraum registrierte Auftreten von deutlich abweichenden Werten im unteren Bereich der aufgenommenen Farbmaßzahlen. Hieraus könnte abgeleitet werden, dass bei einigen Messflächen/Messpunkten eventuell der Chlorophyllabbau stark verzögert oder der Carotinoidgehalt der Schale deutlich geringer war.

Durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson konnte für beide Farbmaßzahlen lediglich ein mittlerer statistischer Zusammenhang mit dem L^* - und dem a^* -Wert ermittelt werden (vgl. Tab. 14).

Die Abhängigkeiten zwischen den Farbmaßzahlen wurden aufgrund der Korrelationsergebnisse noch einmal überprüft und sind in Abbildung A2 (Anhang) grafisch dargestellt. Durch die grafische Darstellung konnte verdeutlicht werden, dass die Entwicklung des b^* - und C^* - Wertes durch den ungleichmäßigen Abbau des Chlorophylls (a^*) und sich daraus ergebender Schwankungen der Helligkeit (L^*) beeinflusst wurde.

Bunttonwinkel (h°)

Die Farbveränderung der Bananenschale im Verlauf der Reifung, d.h. die Änderung des Bunttons von grün zu gelb bzw. gelbgrün wird durch die Veränderung der Farbmaßzahl des Bunttonwinkels (h°) beschrieben.

Tabelle 13: Marke „Bajella“ - Veränderungen von h°

Untersuchungs- tag	h°		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Anlieferungstag	108,3	1,9	0,02
Angleichungstag	106,2	1,9	0,02
1.TnEb	103,0	3,2	0,03
2.TnEb	102,4	3,4	0,03
3.TnEb	97,1	3,9	0,04
4.TnEb	91,5	3,4	0,04

Die Entwicklung der mittleren Kennzahlen des Bunttons (h°) sind in Tabelle 13 dargestellt. Dieser wies im untersuchten Zeitraum von allen Farbmaßzahlen mit einem Wert von ca. 17 Messeinheiten (Winkelgrade) die größte Veränderung auf.

Gleichzeitig kam es im Verlauf der Reifung zu einer gleichmäßigen Zunahme der Streuung. In Relation zu den detektierten Mittelwerten wurden, ähnlich wie bei den b^* - und C^* - Werten, über den Untersuchungszeitraum nur minimale Veränderungen festgestellt.

Abbildung 30 stellt die Entwicklung der Kennzahlen des Bunttons grafisch dar. Gleichzeitig lassen sich aus der grafischen Darstellung Hinweise auf die Abhängigkeiten der Entwicklung des Bunttonwinkels h° ableiten.

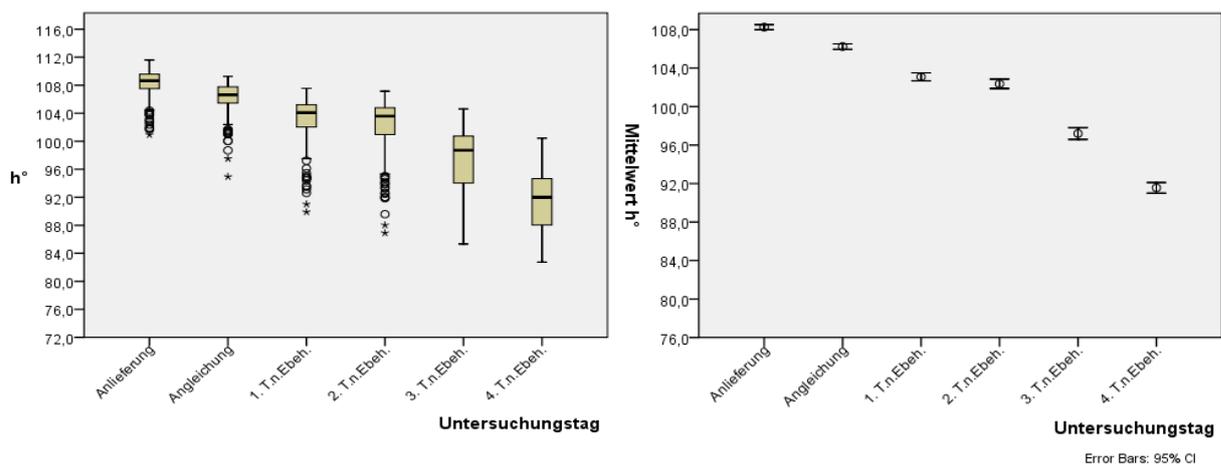


Abbildung 30: Marke „Bajella“ - Entwicklung des h°- Wertes

Hinsichtlich der aufgetretenen Veränderungen des Bunttonwinkels zeigte sich ein vergleichbarer Entwicklungsverlauf wie bei den a*- , b*- und c*- Werten. Von der Anlieferung bis zum ersten Untersuchungstag lagen die Werte recht konzentriert, mit Ausnahme einer deutlichen Anzahl abweichender Messwerte (Ausreißer), im Bereich von 110 bis 105 ME. Im weiteren Reifungsverlauf begannen die Werte ausgeprägt zu streuen, wobei sich die Streuung im unteren Bereich (gelbgrün – gelb) beinahe verdoppelte. Interessant war die sehr deutliche Verschiebung des Bunttons (h°) vom zweiten auf den dritten Tag nach der Ethylenbehandlung. Eine ähnliche Entwicklung wurde auch bei den Grünanteilen der Farbe (a*-Wert) festgestellt. Bei beiden Werten lässt sich an Hand der ermittelten Daten vermuten, dass die Streuungsmaße am dritten Tag nach der Ethylenbehandlung ein Maximum durchschritten.

Durch die Überprüfung der statistischen Zusammenhänge konnte nachgewiesen werden, dass die Veränderung des Bunttons der Schalenfarbe sehr stark mit dem Abbau des Chlorophylls (a*-Wert) und der Veränderung der Helligkeit der Farbe (L*-Wert) korreliert. Im Vergleich hierzu besteht zwischen der beobachteten Zunahme des Gelbanteils der Farbe (b*-Wert) bzw. der Buntheit/Farbintensität (C*-Wert) und der Änderung des Bunttons nur ein mittlerer Zusammenhang. Als mögliche Ursachen kann auch hier die starke Streuung der abhängigen Farbwerte zum Ende des Untersuchungszeitraumes vermutet werden. Die Abhängigkeit der Entwicklung des Bunttonwinkels (h°) von den anderen Farbmaßzahlen wurde überprüft und die Korrelationen grafisch in Abbildung A3 (Anhang) dargestellt

Die im Rahmen der Zusammenhangsanalyse berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Farbmaßzahlen sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Marke „Bajella“ – Korrelationen Farbmaßzahlen

Marke „Bajella“ - Korrelation nach Pearson				
N = 1344	a*	b*	C*	h°
L*	,816**	,561**	,472**	-,861**
a*		,566**	,320**	-,986**
b*			,679**	-,648**
C*				-,443**
** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.				

Die Überprüfung der möglichen Einflussfaktoren – Untersuchungstag, Karton, Reihe, Cluster und Messflächen – erfolgte durch Varianzanalyse (ANOVA). Aus den Ergebnissen konnten folgende Rückschlüsse gezogen werden:

Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden die Ergebnisse signifikant durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Untersuchungstage
 - Im Bezug auf den Anlieferungstag wurden am ersten Tag nach der Ethylenbehandlung signifikante Veränderungen der Gelbanteile der Farbe und der Farbintensität registriert. Deutlicher Chlorophyllabbau führte bereits ab dem dritten Untersuchungstag (2.T.n.Ebeh.) zu einer signifikanten Verschiebung des Bunttonwinkels. In Folge wurden durch die Reduzierung der Carotinoidmaskierung am dritten Tag nach Ethylenbehandlung signifikante Änderungen der Helligkeit, der Gelbanteile und der Farbintensität detektiert. An Hand des ausgewerteten Datenmaterials lässt sich schließen, dass es nach diesem Zeitpunkt keine weitere signifikante Änderung der Farbintensität gab.

- Klassierung in
 - Reihen
 - Innerhalb der untersuchten Reihen wurden die Ergebnisse beeinflusst durch Unterschiede zwischen den Clustern.
 - Cluster
 - Die festgestellten Differenzen zwischen den einzelnen Clustern waren bedingt durch signifikant unterschiedlichen Chlorophyllabbau (detektiert als a^* -Wert = Grünanteil der Farbe) zwischen den einzelnen Messflächen.

Bezogen auf die einzelnen Farbmaßzahlen wurden folgende Abhängigkeiten festgestellt:

- Die Helligkeit (L^*) wurde beeinflusst durch signifikante Streuungsdifferenzen
 - zwischen den einzelnen Bananenclustern
 - zwischen den einzelnen Reihen

- Die Grünanteile der Farbe (a^*) wurden beeinflusst durch signifikante Streuungsdifferenzen
 - zwischen den einzelnen Messflächen
 - zwischen einzelnen Bananenclustern

- Die Gelbanteile der Farbe (b^* -Wert), die Farbintensität (C^* -Wert) und der Buntton (h° -Wert) wurden beeinflusst durch signifikante Streuungsdifferenzen
 - zwischen den einzelnen Bananenclustern
 - zwischen den einzelnen Reihen

Das entsprechende Datenmaterial ist digitalisiert im Anhang unter Marke „Bajella“ - Prüfung ANOVA (A X) ersichtlich.

Farbabstand (DE-Wert)

Das Ausmaß der Farbveränderung zu einem Bezugswert wird mit berechneten Farbabständen beschrieben.

In Abbildung A6 (Anhang) wurde die Veränderung der Schalenfarbe im dreidimensionalen Farbenraum dargestellt. An Hand der grafischen Darstellung ist zu erkennen, wie sich die recht konzentrierte Verteilung aus dem grün-blauen Bereich erst in den gelben- und im weiteren Verlauf der Reifung in den gelb-roten (orangen-) Bereich entwickelte. Gleichzeitig zeigte sich eine extreme Zunahme der Streuung hinsichtlich der Lage im Farbenraum. Die Zunahme der Helligkeit ist in der jeweils links angeordneten Balkengrafik zu verfolgen.

Die durch Produkteigenschaften möglicherweise beeinflusste Helligkeitswahrnehmung, die große Streuung der Helligkeitswerte und deren möglicher Einfluss auf dem Bunnton sowie differente Bedingungen bei der Abmusterung der Bananen waren Grund für die Berechnung des Differenzwertes mit unterschiedlich gewichtetem L*- Wert.

In den Tabellen A2 – A5 (Anhang) sind die Einzelergebnisse für die klassierten Daten der nach unterschiedlichen Formeln berechneten Farbabstände einzusehen.

Der Vergleich der Daten zeigt auf, dass es durch die Verwendung unterschiedlicher Berechnungsformeln zu Ausprägungsdifferenzen der mittleren Farbabstände kam.

- Die deutlichsten Ausprägungsdifferenzen zwischen den unterschiedlichen Berechnungsformeln zeigten sich am letzten Untersuchungstag (4.TnEbeh.). Hier variierten die einfach gewichteten Farbabstände zwischen Ausprägungen von 12,2 bis 18,3 ME.
- Die vergleichende Betrachtung der Entwicklungsverläufe offenbarte bei allen Farbabständen unabhängig von der Gewichtung
 - eine sprunghafte Veränderung der Datenausprägung am dritten Tag nach der Ethylenbehandlung. Dies deutete auf eine Farbveränderung hin, die aufgrund der Farbabstandsausprägung ($DE > 5$) auch deutlich visuell wahrnehmbar sein sollte.
 - vergleichbare Ausprägungen der mittleren Standardabweichungen. Diese durchliefen am dritten Tag nach der Ethylenbehandlung ein Maximum.
 - in Relation zu den Mittelwerten zeigte sich ein deutlicher und stetiger Rückgang der Streuung im Untersuchungszeitraum

Bei den einfach gewichteten Farbabstände (1:1:1)

- wurden bereits am Anlieferungstag Farbabstände zwischen 4,6 ME – 5,8 ME detektiert. Umgesetzt auf die visuellen Farbwahrnehmung bedeutet dies, dass bereits am Anlieferungstag deutliche Farbunterschiede zwischen den untersuchten Bananen vorhanden gewesen sein müssen.

- der für die Bewertung von großen Farbdifferenzen als geeignet angesehene Farbabstand DE^* (www. ps.bam.de - Kittelmann, P, 2005) wies über den gesamten Untersuchungszeitraum die größten Ausprägungen auf.
- bei Verwendung der in DIN 6176 zur Berechnung kleiner Farbabstände empfohlenen Farbabstandsformel DE_{2000} (1:1:1) zeigten sich im Mittel die geringsten Ausprägungen.

Die Anwendung unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren ergab

- bereits bei doppelter Gewichtung des L^* -Wertes eine Reduzierung der Ausprägung des Farbabstandes und der Streuungsmaße zwischen 27 – 33% gegenüber der einfachen Gewichtung.
- durch weitere Erhöhung des Gewichtungsfaktors reduzierten sich die Farbabstandswerte noch zusätzlich – die Differenzen war jedoch deutlich geringer ausgeprägt.
- die vierfache Gewichtung des L^* -Wertes verursachte im Vergleich zur dreifachen Gewichtung nur noch minimale Veränderungen.

In Abbildung A4 und Abbildung A5 wird die Datenverteilung und die Entwicklung der Mittelwerte am Beispiel der nach $DE^*(1)$, DE_{cmc} (1:1) und DE_{cmc} (2:1) berechneten Farbabstände grafisch dargestellt. In der Gegenüberstellung wird der Einfluss der Korrekturfaktoren auf die Größenverhältnisse der Farbabstände deutlich erkennbar.

Wie in den Abbildungen zu erkennen ist, wurde bereits am Anlieferungstag eine starke Streuung der Daten und zahlreiche extreme Farbunterschiede zum Bezugswert detektiert. Die während der Temperaturangleichung scheinbar aufgetretene Reduktion der Streuung kann eventuell darauf zurückgeführt werden, dass die gleichmäßige Temperierung der Bananen bereits ablaufende biochemische Reaktionen beeinflussten. Es wäre jedoch auch möglich, dass es sich um stichprobenbedingte Schwankungen handelte, die als vergleichbar mit der Datenlage am Anlieferungstag anzusehen waren. Bereits am ersten Tag nach der Ethylenbehandlung waren die Farbdifferenzwerte deutlich erhöht. In den folgenden 24 Stunden wurde nur eine geringfügige Änderung der Datenausprägung, aber eine erkennbare Zunahme der Streuung verzeichnet. Am fünften Untersuchungstag (3. T.n.Eb) zeigte sich, wie auch schon bei den anderen Farbmaßzahlen beobachtet, ein deutlicher Anstieg der Datenausprägung. Gleichzeitig kam es zu einer extremen Ausweitung der Datenstreuung – es wurde mit einer Spannweite von 19 ME ein Maximum erreicht. Am letzten Untersuchungstag wurde der größte Farbunterschied zum Bezugswert bei gleichzeitigem Rückgang der Streuung detektiert.

Im weiteren Verlauf der Auswertung sollte bei der Betrachtung der Differenzierungseignung der Farbabstände die beobachtete Streuung der Daten berücksichtigen werden. Im Vergleich zu der Entwicklung der im Farbenraum dargestellten Daten (Abb. A6) zeigte sich ein differenter Entwicklungsverlauf auf. Wird bei der Gegenüberstellung der Entwicklungsverläufe der statistisch berechneten Datenstreuung und der im Farbenraum

abgebildeten Streuung die Homogenität der Messpunkte im Farbraum berücksichtigt, kann die Entwicklung der Streuung als vergleichbar angesehen werden.

Hierdurch könnte auch eine mögliche Fehlerquelle bei der Interpretation der Daten des dritten und vierten Untersuchungstages nach der Ethylenbehandlung erklärt werden. Am dritten Tag war in beiden Auswertungen eine extreme Zunahme der Streuung festzustellen. Aus der statistischen Auswertung resultierte eine extrem große Spannweite der Daten. Demgegenüber zeigte sich in der Darstellung im Farbraum eine inhomogene Verteilung der Messpunkte hinsichtlich der Helligkeit (L^* -Wert) und der a^* - und b^* -Werte. Im weiteren Verlauf der Reifung kam es zwar bei der Darstellung im dreidimensionalen Farbraum zu einer scheinbaren Zunahme der Streuung – die in der statistischen Auswertung festgestellte Reduzierung der Streuung resultierte jedoch aus der Verringerung der

- Streuung der Helligkeit und der
- Differenz der Buntheit und des - Bunttöns zwischen den Messpunkten.

Der Zusammenhang zwischen den Farbabständen und den Farbmaßzahlen ist nachfolgend am Beispiel des DEcmc (2:1) und dem h° - Werten grafisch dargestellt. Wie aus Abbildung 31 zu erkennen ist, weisen die untersuchten Daten keinen linearen Zusammenhang auf. Im Rahmen der Überprüfung konnte keine entsprechende Funktionsgerade ermittelt werden, die die Beziehung zwischen den beiden Farbmaßzahlen beschreibt.

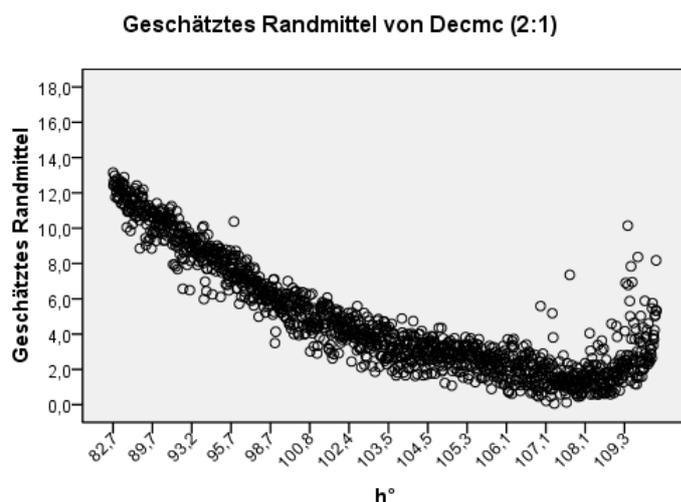


Abbildung 31: Marke „Bajella“ - Zusammenhang zwischen DEcmc (2:1) und h°

6.1.2. Marke Banacol

Für die Marke Banacol wurden an 7 Tagen Farbmessungen durchgeführt. Aufgrund verspäteter Anlieferung wurde erst am Angleichungstag mit der Farbmessung begonnen. Der Reifungsablauf konnte jedoch wie geplant durchgeführt werden - Anlieferung – 24-stündige Temperaturangleichung – Ethylenbehandlung – Reifung im Reiferaum nach festgelegtem Reifungsprogramm.

Der Gesamtumfang der Untersuchung sowie die täglichen Stichprobenumfänge sind nachfolgend in Tabelle 15 aufgeführt.

Tabelle 15: Marke „Banacol“ – Stichprobenumfänge

Untersuchungstage	
Angleichungstag	14 Cluster = 56 Messflächen = 224 Messpunkte
1. Tag nach Ethylenbehandlung	15 Cluster = 60 Messflächen = 240 Messpunkte
2. Tag nach Ethylenbehandlung	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
3. Tag nach Ethylenbehandlung	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
4. Tag nach Ethylenbehandlung	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
5. Tag nach Ethylenbehandlung	16 Cluster = 64 Messflächen = 256 Messpunkte
6. Tag nach Ethylenbehandlung	15 Cluster = 60 Messflächen = 240 Messpunkte
Gesamtumfang	108 Cluster = 432 Messflächen = 1728 Messpunkte

Zur statistischen Auswertung erfolgte eine Stichprobenangleichung auf täglich 224 Messpunkte. Der zur Auswertung genutzte Gesamtprobenumfang betrug 1568 Messpunkte.

Abbildung 32 gibt einleitend einen zusammenfassenden Überblick der Entwicklung der einzelnen Farbmaßzahlen im Untersuchungszeitraum. Eine detaillierte Beschreibung der Veränderungen einzelner Farbmaßzahlen erfolgt in der weiteren Ergebnisdarstellung.

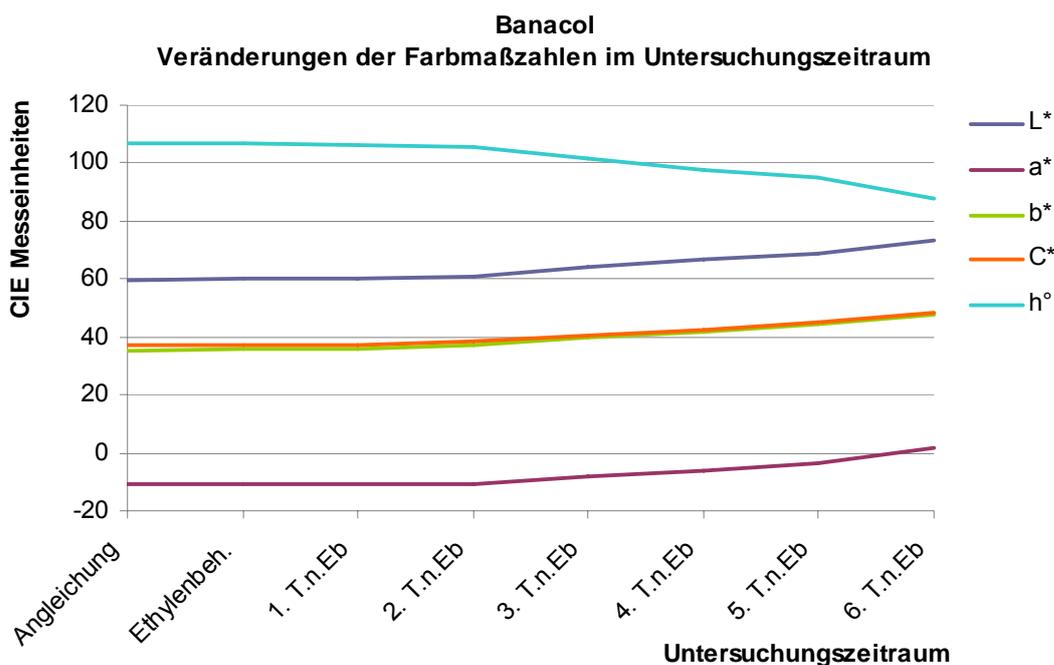


Abbildung 32: Marke Banacol – Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen

In der Grafik ist deutlich zu erkennen, dass die Farbmaßzahlen bis zum dritten Untersuchungstag (2.T.n.Eb.) nahezu konstant blieben, das heißt keine nennenswerten Farbveränderungen detektiert wurden. Erst am zweiten Tag nach der Behandlung mit Ethylen wurden bei allen Farbmaßzahlen Veränderungen registriert, die sich im nachfolgenden Reifungszeitraum in deutlich veränderten Farbmaßzahlen bemerkbar machten.

Die Tabellen 16 - 19 geben einen Überblick über die durchschnittliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Farbmaßzahlen über alle Klassen im Verlauf des Untersuchungszeitraumes. Die Abbildungen 33, 34, 36 und 38

die Entwicklungen der Farbwerte, der Standardabweichungen sowie das Auftreten von „Ausreißern“ und Extremwerten dar. Jeweils auf der rechten Seite der Abbildung ist die Entwicklung der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) ersichtlich.

Helligkeit (L*)

Tabelle 16: Marke „Banacol“ - Veränderungen von L*

Untersuchungs tag	L*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Angleichungstag	59,7	3,6	0,06
1.TnEb	60,3	3,8	0,06
2.TnEb	60,8	3,7	0,06
3.TnEb	64,0	3,7	0,06
4.TnEb	66,9	3,7	0,05
5.TnEb	68,5	3,1	0,04
6.TnEb	73,2	1,8	0,02

Anhand der in Tabelle 16 dargestellten Daten ist zu erkennen, dass sich die Helligkeit vom Angleichungstag bis zum Auslieferungstag um knapp 14 Messeinheiten erhöhte. Die Streuung der Farbmaßzahlen war bis zum 4. Tag nach der Ethylenbehandlung konstant. Erst zum Ende des Untersuchungszeitraumes reduzierte sich die Streuung um über 50% (ca. 1,8 Messeinheiten- 6.TnEb).

Der Entwicklungsverlauf ist in Abbildung 33 grafisch dargestellt.

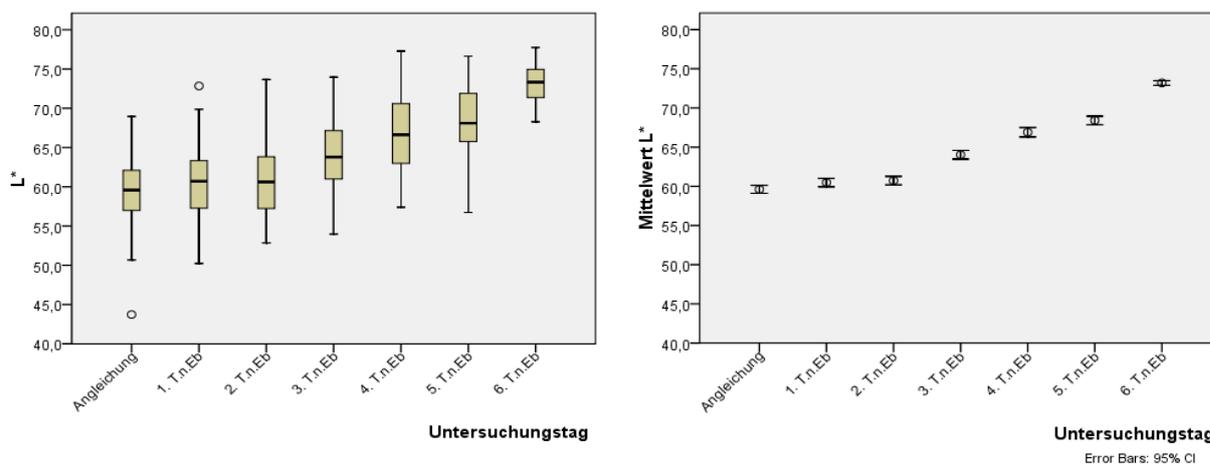


Abbildung 33: Marke „Banacol“ - Entwicklung des L*-Wertes

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Farbe der untersuchten Bananen hinsichtlich der Helligkeit bereits am Angleichungstag mit bis zu 20 Messeinheiten deutlich streute. Gravierend abweichende Daten („Ausreißer“) traten nur vereinzelt auf. Von Untersuchungsbeginn bis zum 2. Tag nach der Ethylenbehandlung wurde nur eine minimale Zunahme des L*-Wertes wahrgenommen. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelte es sich bei der registrierten Veränderung um stichprobenbedingte Schwankungen. Mit Beginn des vierten Untersuchungstages (3.T.n.Eb) wurde ein deutlicher Anstieg der Helligkeit detektiert, der sich bis zum fünften Tag (4.T.n.Eb) nach der Ethylenbehandlung fortsetzte. Es wird auf Grund der relativen Streuungskonstanz angenommen, dass die Reifung bis zu diesem Zeitpunkt (5.T.n.Eb.) gleichmäßig ablief. Erst am letzten Untersuchungstag (6.T.n.Eb) wurde ein abrupter Anstieg der Helligkeit registriert. Wird dieser Umstand gemeinsam mit der extrem reduzierten Streuung der Werte berücksichtigt, kann daraus geschlossen werden, dass die Farbe der untersuchten Bananen innerhalb von 24 Stunden deutlich heller wurde.

Grün – Rot – Achse (a*)

Die wertmäßigen Veränderungen des a-Wertes (stehend für den Anteil des Chlorophylls in der Schale) zeigten im Verhältnis zur Helligkeit eine analoge Entwicklung auf. Mit Zunahme der Helligkeit wurde eine Abnahme der Grünanteile der Farbe, d. h. ein Anstieg des a*-Wertes, registriert. Über den gesamten Untersuchungszeitraum betrug der Anstieg des a*- Wertes 12,9 Messeinheiten (ME). Die Streuungswerte zeigten im Vergleich zu den L*-Werten eine differente Entwicklung auf.

Tabelle 17: Veränderungen von a*

Untersuchungs tag	a*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Angleichungstag	-10,9	1,2	0,11
1.TnEb	-10,6	1,3	0,13
2.TnEb	-10,5	1,4	0,13
3.TnEb	-8,4	2,0	0,23
4.TnEb	-5,9	2,4	0,40
5.TnEb	-3,7	2,4	0,67
6.TnEb	2,0	1,5	0,84

Abbildung 34 verdeutlicht die Entwicklung der Farbmaßzahl und der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) grafisch.

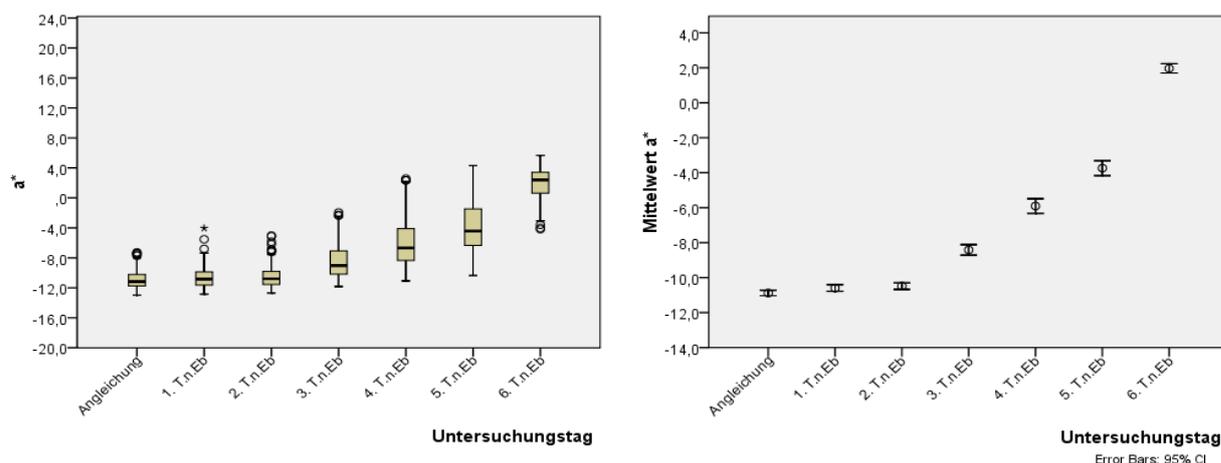


Abbildung 34: Marke „Banacol“ - Entwicklung des a*-Wertes

Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Veränderungen der a*-Werte sowie die auftretende Streuung auf einem geringeren Niveau angesiedelt waren und eine deutlich geringere Spannweite aufwiesen als der L*-Wert. Vom Zeitpunkt der Temperaturangleichung bis zum zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung lagen die Werte, mit Ausnahme einiger Extremwerte (Ausreißer), im Bereich von ca. -13 bis - 8 ME. Nach der Behandlung mit Ethylen wurden bei nahezu konstantem Niveau und stabiler Streuung der Werte das vermehrte Auftreten abweichender Werte (Ausreißer) festgestellt. In dem Zeitraum vom dritten bis zum fünften Tag nach Ethylenbehandlung konnte ein kontinuierlicher wertmäßiger Anstieg der Farbmaßzahlen sowie des Auftretens von deutlich abweichenden Werten detektiert werden. Parallel hierzu stiegen die Streuungsmaße an. Erst am letzten Untersuchungstag (6.T.n.Eb.) wurde ein deutlicher Anstieg der Grünanteile der Farbe und der Streuung festgestellt. Es kam zu einer Verschiebung des Mittelwertes aus dem grünen (-a*) Bereich bis in den roten (+a*) Bereich des Farbenraumes. Hieraus wurde geschlossen, dass das in der Bananenschale enthaltene Chlorophyll innerhalb von 24 Stunden (5.T.n.Eb.

bis 6.T.n.Eb.) bei einer großen Anzahl von Messpunkten vollständig abgebaut wurde und eine deutliche Gelbfärbung der Bananenschale auftrat.

Durch die Überprüfung des statistischen Zusammenhangs nach Pearson konnte ein sehr großer Zusammenhang ($r = 0,88$) zwischen dem a^* - und dem L^* -Wert nachgewiesen werden. (vgl. Tabelle 20).

In Abbildung 35 wird die Korrelation zwischen dem L - und a -Wertes verdeutlicht.

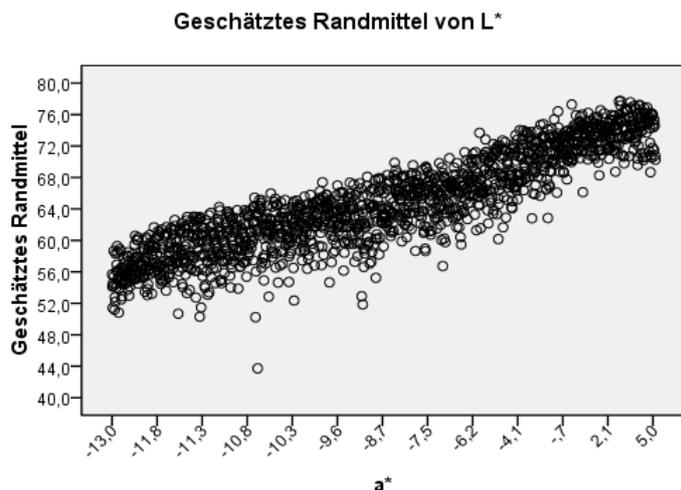


Abbildung 35: Marke „Banacol“ - Zusammenhang von L^* und a^*

Blau – Gelb – Achse (b^*) und Buntheit (Chroma = C^*)

Bereits in Abbildung 32 war zu erkennen, dass die Gelbanteile der Farbe (b^*) und der Buntheit/Farbintensität (C^*) eine nahezu gleiche Entwicklung über den gesamten Untersuchungszeitraum aufwiesen. Dieser Entwicklungsverlauf ist auch an Hand der in Tabelle 18 gegenübergestellten Ausprägungen der Mittelwerte und Streuungsmaße nachzuvollziehen.

Tabelle 18: Marke „Banacol“ - Veränderungen von b^* und C^*

Untersuchungs tag	b^*			Untersuchungs tag	C^*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v		Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Angleichungstag	35,4	1,0	0,03	Angleichungstag	37,1	1,1	0,03
1.TnEb	35,8	1,1	0,03	1.TnEb	37,4	1,3	0,03
2.TnEb	37,1	1,3	0,03	2.TnEb	38,5	1,4	0,04
3.TnEb	39,7	1,6	0,04	3.TnEb	40,7	1,8	0,04
4.TnEb	41,8	2,2	0,05	4.TnEb	42,3	2,3	0,05
5.TnEb	44,5	2,7	0,06	5.TnEb	44,8	2,7	0,06
6.TnEb	48,0	4,2	0,09	6.TnEb	48,1	4,2	0,09

Über den gesamten Untersuchungszeitraum kam es bei beiden Farbmaßzahlen zu einer Erhöhung um ca. 11,6 (b^*) bzw. 11,0 Messeinheiten (C^*).

Abbildung 36 verdeutlicht entsprechend die Entwicklungsverläufe der b^* - und C^* - Werte grafisch.

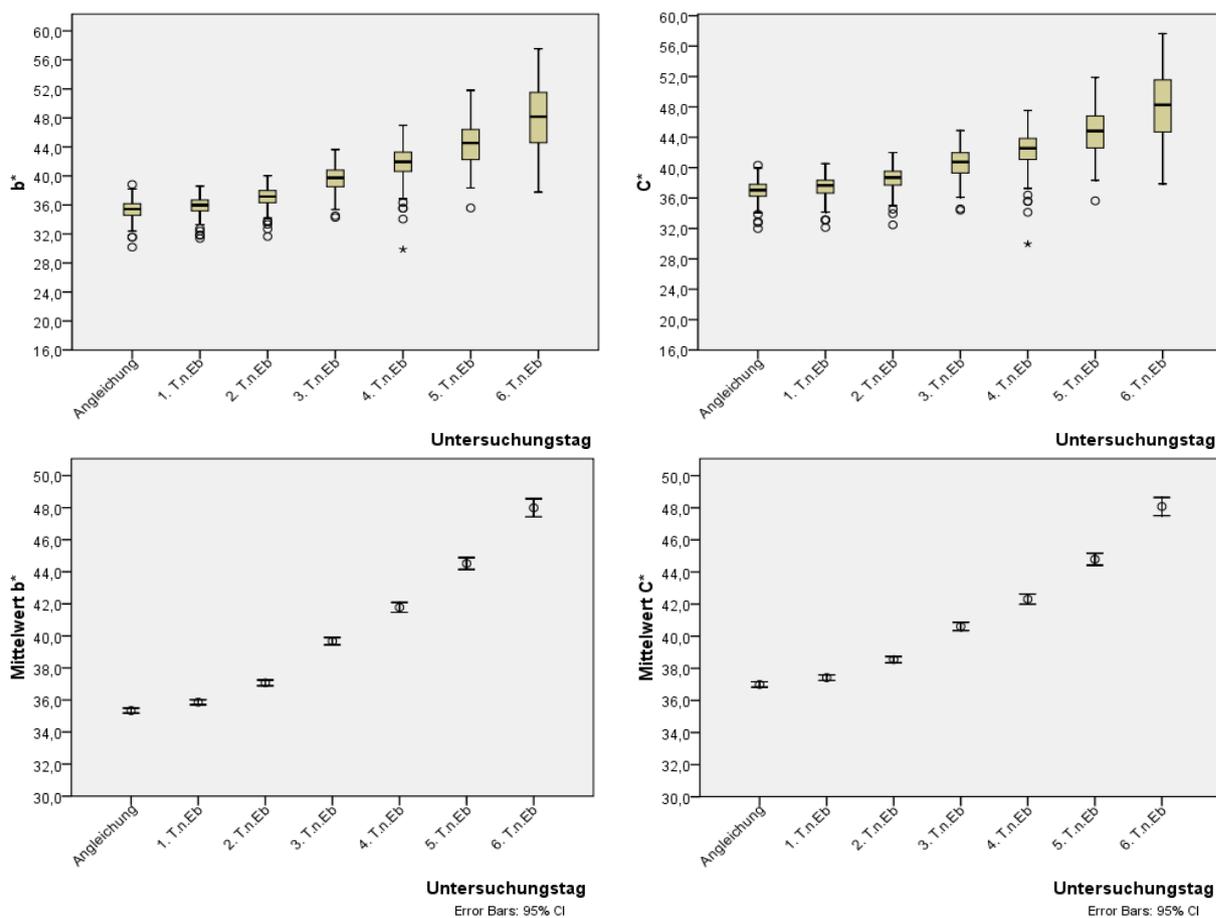


Abbildung 36: Marke „Banacol“ - Entwicklung der b^* - und C^* - Werte

Die beobachteten Veränderungen der Werte und der Streuung waren dabei deutlich geringer ausgeprägt als bei der Helligkeit (L^* -Wert). Nahezu über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden, ähnlich wie bei dem a^* - Wert, einige deutlich abweichende Messpunkte (Ausreißer) registriert. Vom Angleichungstag bis zum ersten Tag nach der Ethylenbehandlung konnten nur minimale Veränderungen festgestellt werden. Mit Beginn des dritten Untersuchungstages (2.TnEb) wurde jedoch für beide Farbmaße eine erkennbare Anstiege der Werte und der Streuung detektiert, der bis zum vierten Tag nach Ethylenbehandlung anhielt. In dem Zeitabschnitt zwischen dem sechsten (5.TnEb) und siebten Untersuchungstag (6.TnEb) kam es, wie auch schon bei den anderen Farbmaße (L^* und a^*) beobachtet, zu einer deutlichen Veränderung der Gelbanteile der Farbe (b^*) und der Farbintensität (C^* -Wert). Es wurden Veränderungen von ca. 3,5 Messeinheiten (Ausprägung) und 1,5 ME (Streuung) detektiert.

Durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson konnte für beide Farbmaße ein hoher statistischer Zusammenhang zwischen allen Farbmaße ermittelt werden. Die Korrelationen des C^* -Wertes (Buntheit) waren dabei etwas geringer ausgeprägt als die des b^* -Wertes (Gelbanteil der Farbe) (vgl. Tab. 20).

Der zwischen den beiden Farbmaße b^* und C^* mit einem Korrelationskoeffizienten $> 0,99$ bestimmte signifikante Zusammenhang ist in Abbildung 37 grafisch dargestellt.

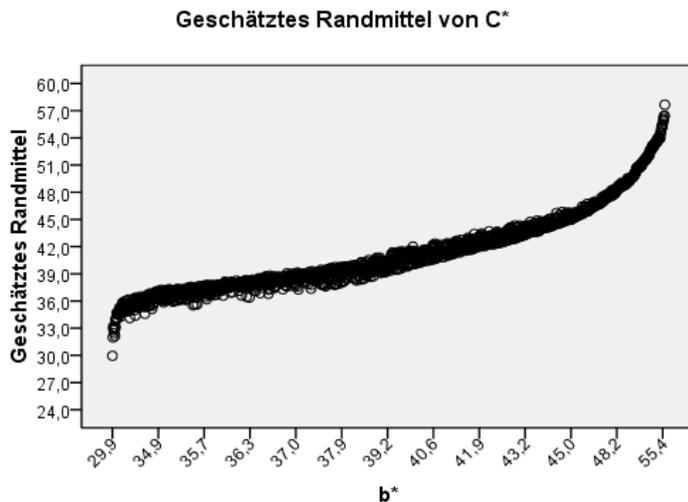


Abbildung 37: Marke „Banacol“ - Zusammenhang von b* und C*

Die zwischen den Farbmaßzahlen bestehenden Zusammenhänge der Entwicklungsverläufe wurden in Abbildung A7 (Anhang) grafisch dargestellt. Sie können als Bestätigung dafür angesehen werden, dass die Entwicklungen des b*- und C*- Wertes maßgeblich durch den ungleichmäßigen Abbau des Chlorophylls und sich daraus ergebender Schwankungen der Helligkeit beeinflusst wurden.

Buntton (h° - Wert)

Die wertmäßige Veränderung des mittleren Bunttonwinkels (h°-Wert) und der Streuungsmaße sind in Tabelle 19 dargestellt. Sie geben Auskunft über die Farbveränderung der Bananen der Marke „Banacol“ im Reifungsverlauf.

Tabelle 19: Marke „Banacol“ - Veränderungen von h°

Untersuchungs tag	h°		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø v
Angleichungstag	107,0	1,7	0,02
1.TnEb	106,5	1,9	0,02
2.TnEb	105,7	1,8	0,02
3.TnEb	101,9	2,6	0,02
4.TnEb	98,0	3,2	0,03
5.TnEb	87,6	3,9	0,02

Der Buntton wies im untersuchten Zeitraum von allen Farbmaßzahlen mit einem Wert von 19,4 Messeinheiten (Winkelgrade) die größte Veränderung auf. Die wertmäßige Entwicklung des h°-Wertes war mit der Entwicklung des a*- Wertes vergleichbar.

Abbildung 38 stellt die Entwicklung des Bunttonwinkels (h°) im Verlauf des Untersuchungszeitraumes grafisch dar.

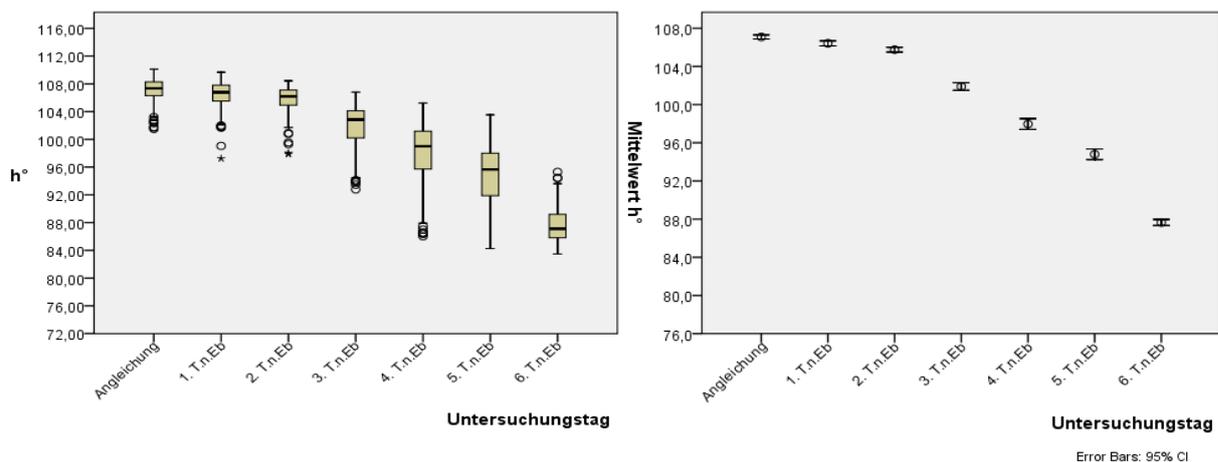


Abbildung 38: Marke „Banacol“ - Entwicklung des h° - Wertes

In der grafischen Darstellung wird die Beeinflussung der Bunttonentwicklung durch die Entwicklung der anderen Farbmaßzahlen verdeutlicht, wie dies bereits für die Marke Bajella festgestellt wurde. Von der Temperaturangleichung bis zum dritten Untersuchungstag (2.T.n.Eb.) lagen die Werte, mit Ausnahme einiger Extremwerte (Ausreißer), recht konstant im Bereich von 110 bis 102 ME. Eine erste Verschiebung des Bunttons (h°) erfolgte vom zweiten auf den dritten Tag nach der Ethylenbehandlung. Im weiteren Reifungsverlauf wurden erkennbare Veränderungen des Bunttons detektiert und die Werte begannen vermehrt zu streuen, wobei sich die Streuung in den unteren Bereich (gelbgrün – gelb) beinahe verdoppelte. Am fünften (4.T.n.Eb.) und sechsten Untersuchungstag (5.T.n.Eb.) war die Streuung der Werte am stärksten ausgeprägt. Innerhalb des Zeitraumes vom fünften auf den sechsten Tag nach der Ethylenbehandlung wurde im Mittel der Bunttonwinkel 90° unterschritten. Am letzten Tag des Untersuchungszeitraumes (6.T.n.Eb.) wurde eine extreme Änderung des Bunttons und gleichzeitige Reduktion der Streuungsmaße registriert. Aus den vorliegenden Daten wurde geschlossen, dass die Schalenfarbe eines Großteils der untersuchten Bananen eine deutliche Gelbfärbung aufwies.

Durch die Überprüfung der statistischen Zusammenhänge konnte nachgewiesen werden, dass die Veränderung des Bunttons der Schalenfarbe stärker mit dem Abbau des Chlorophylls (a^* -Wert) und der Veränderung der Helligkeit der Farbe (L^* -Wert) korreliert als mit dem Gelbanteils der Farbe (b^* -Wert) und der Buntheit (C^* -Wert). Als mögliche Ursache wurde auch hier die starke Streuung der Farbmaßzahlen zum Ende des Untersuchungszeitraumes vermutet. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 20 ersichtlich.

Tabelle 20: Marke „Banacol“ – Korrelationen Farbmaßzahlen

Korrelation nach Pearson				
N = 1568	a^*	b^*	C^*	h°
L^*	,879**	,634**	,567**	-,891**
a^*		,741**	,683**	-,992**
b^*			,995**	-,785**
C^*				-,727**
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.				

Die Abhängigkeit der Entwicklung des Bunttonwinkels (h°) von den anderen Farbmaßzahlen wurden überprüft und ist grafisch in Abbildung A8 (Anhang) dargestellt.

Die Überprüfung (ANOVA) der möglicher Einflussfaktoren – Untersuchungstag, Karton, Reihe, Cluster und Messflächen – ergab, dass die Ergebnisse signifikant durch folgende Faktoren beeinflusst wurden :

➤ Untersuchungstage

- In Bezug auf den Angleichungstag wurden bereits am zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung signifikante Veränderungen der Helligkeit , der Gelbanteile der Farbe und der Farbintensität registriert. Diese Veränderungen konnten zurückgeführt werden auf beginnenden Chlorophyllabbau. Gleichzeitig bewirkten sie eine erste signifikante Bunttonänderung. Durch fortschreitenden Chlorophyllabbau wurde ab dem vierten Untersuchungstag (3. T.n.Eb.) die Maskierung der Carotinoidanteile reduziert, was in Form von signifikant veränderten L^* -, b^* - und c^* - Werten registriert wurde. Diese Veränderungen bewirkten eine Verschiebung des Bunttons, die jedoch erst am letzten Untersuchungstag signifikant wurde.

➤ Klassierung in

- Messflächen
- Cluster
- Reihen
- Karton (nur direkt nach der Ethylenbehandlung und am letzten Tag des Untersuchungszeitraumes)

Die Einflussfaktoren auf die Veränderungen der einzelnen Farbmaßzahlen sind nachfolgend detailliert aufgeführt.

➤ Die Helligkeit (L^*) wurde beeinflusst durch signifikante Streuungsdifferenzen

- zwischen einzelnen Messflächen
- zwischen einzelnen Bananenclustern
- zwischen einzelnen Reihen

➤ Die Grünanteile der Farbe (a^*) wurden beeinflusst durch signifikante Streuungsdifferenzen

- zwischen einzelnen Messflächen
- zwischen einzelnen Bananenclustern

➤ Die Gelbanteile der Farbe (b^* -Wert), die Farbintensität (C^* -Wert) und der Buntton (h°) wurden beeinflusst durch signifikante Streuungsdifferenzen

- zwischen einzelnen Bananenclustern
- zwischen einzelnen Reihen

Das entsprechende Datenmaterial ist digitalisiert im Anhang unter Marke „Banacol“ - Prüfung ANOVA (A X) ersichtlich.

Farbabstand (DE-Wert)

In Abbildung A11 (Anhang) wurde die Veränderung der Schalenfarbe im dreidimensionalen Farbenraum dargestellt. Die Zunahme der Helligkeit ist in der jeweils links angeordneten Balkengrafik zu verfolgen.

Aus der grafischen Darstellung ist zu erkennen, dass es in den ersten drei Untersuchungstagen vorrangig zu einem Anstieg der Helligkeit sowie zu dem vereinzelt Auftreten einiger abweichender Werte kam. Erst ab dem vierten Untersuchungstag (3. T.n.Eb.) zeigte sich eine beginnende Farbstreuung aus dem grün-blauen - in den gelben Bereich. Im weiteren Reifungsverlauf nahm die Streuung erkennbar zu. Besonders deutlich konnte die Farbveränderung vom fünften auf den sechsten Tag nach der Ethylenbehandlung nachvollzogen werden – in der Abbildung war eine deutliche Verschiebung der Lage im Farbenraum und der Messpunktanordnung zu erkennen.

Der Vergleich der mit unterschiedlich gewichteten L*-Werten berechneten Farbabstände zeigte auf, dass es durch die Verwendung unterschiedlicher Berechnungsformeln zu Ausprägungsdifferenzen der mittleren Farbabstände kam.

- Die deutlichsten Ausprägungsdifferenzen zwischen den unterschiedlichen Berechnungsformeln zeigten sich am letzten Untersuchungstag (6.TnEb). Hier variierten die einfach gewichteten Farbabstände zwischen Ausprägungen von 11,2 bis 17,7 ME.
- Die vergleichende Betrachtung der Entwicklungsverläufe offenbarte bei den Farbabständen, mit Ausnahme des DE* (1) unabhängig von der Gewichtung
 - eine schlagartige Veränderung der Datenausprägung am sechsten Tag nach der Ethylenbehandlung. Dies deutete auf eine Farbveränderung hin, die aufgrund der Farbabstandsausprägung ($4,8 < DE < 7,3$) auch deutlich visuell wahrnehmbar war.
 - vergleichbare Ausprägungen der mittleren Standardabweichungen.
 - in Relation zu den Mittelwerten zeigten sich bis zum dritten Tag nach der Ethylenbehandlung lediglich geringe Streuungsdifferenzen. Im folgenden Reifungsverlauf (ab 4.T.n.Eb.) wurde ein Rückgang der Streuung detektiert, der zum Ende des Untersuchungszeitraumes (5. – 6.T.n.Eb) extrem ausgeprägt war.

Bei den einfach gewichteten Farbabstände (1:1:1)

- wurden bereits am Anlieferungstag Farbabstände zwischen 4,8 ME – 6,5 ME detektiert. Umgesetzt auf die visuellen Farbwahrnehmung bedeutet dies, dass bereits am Anlieferungstag deutliche Farbunterschiede hätten wahrgenommen werden müssen.
- der für die Bewertung von großen Farbdifferenzen als geeignet angesehene Farbabstand DE* ([www. ps.bam.de](http://www.ps.bam.de) - Kittelmann, P, 2005) wies über den gesamten Untersuchungszeitraum die größten Ausprägungen auf.

- Bei Verwendung der DEcmc (1:1) zeigten sich im Mittel die geringsten Ausprägungen.

Die Anwendung unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren ergab

- bereits bei doppelter Gewichtung des L*-Wertes eine Reduzierung der Ausprägung des Farbabstandes zwischen 15 – 22% gegenüber der einfachen Gewichtung. Die Streuungsmaße veränderten sich dabei nicht nennenswert.
- Durch weitere Erhöhung des Gewichtungsfaktors reduzierten sich die Farbabstandswerte noch zusätzlich – die Differenzen waren deutlich geringer ausgeprägt und lagen bei maximal 0,8 – 0,5 ME (5 - 8%).
- Die vierfache Gewichtung des L*-Wertes verursachte im Vergleich zur dreifachen Gewichtung nur noch minimale Veränderungen.

Die Datenverteilung und die Entwicklung der Mittelwerte am Beispiel der nach DE*(1), DEcmc (1:1) und DEcmc (2:1) berechneten Farbabstände sind in Abbildung A9 und A10 (Anhang) grafisch dargestellt. Diese Gegenüberstellung verdeutlicht auch den Einfluss der Korrekturfaktoren auf die Größenverhältnisse der Farbabstände.

Wie in den Abbildungen zu erkennen ist, wurden am Anlieferungstag eine deutliche Datenstreuung und vereinzelt abweichende Werte (Ausreißer) detektiert. Im Bezug auf den Angleichungstag waren die Ausprägungen der ermittelten Farbabstände bis zum dritten Tag nach der Ethylenbehandlung vergleichbar. Innerhalb dieses Zeitraums wurde ein leichter Rückgang der Streuung registriert, der jedoch auch durch stichprobenbedingte Schwankungen verursacht sein könnte. Ab dem vierten Tag nach Ethylenbehandlung kam es zu einem erkennbaren Anstieg der Farbabstandswerte bei gleichzeitiger, deutlicher Zunahme der Streuung. Am letzten Untersuchungstag (6.T.n.Eb.) wurde ein extremer Anstieg der Farbabstandsausprägung bei gleichzeitigem Rückgang der Streuung detektiert.

Bei der Betrachtung der Differenzierungseignung der Farbabstände ist auch hier die Datenstreuung von Bedeutung. Im Vergleich zu der Entwicklung der im Farbenraum dargestellten Daten (Abb. A11 - Anhang) zeigte sich ein differenter Entwicklungsverlauf auf. Wird bei der Gegenüberstellung der Entwicklungsverläufe der statistisch berechneten Datenstreuung und der im Farbenraum abgebildeten Streuung die Homogenität der Messpunkte im Farbraum berücksichtigt, ist die Entwicklung der Streuung vergleichbar.

Hierdurch kann auch die mögliche Fehlerquelle bei der Interpretation der Daten des 5. und 6. Tages nach der Ethylenbehandlung erklärt werden. Bereits ab dem vierten Tag wurde in beiden Auswertungen eine Zunahme der Streuung festgestellt. Aus der statistischen Auswertung resultierte nur eine geringe Zunahme der Streuungsmaße. Demgegenüber zeigte sich in der Darstellung im Farbenraum eine inhomogene Verteilung der Messpunkte hinsichtlich der Helligkeit (L*) und der a*- und b*-Werte. Im weiteren Verlauf der Reifung kam es zwar bei der Darstellung im dreidimensionalen Farbenraum zu einer scheinbaren Zunahme der Streuung. Die in der statistischen Auswertung festgestellte Reduzierung der

Streuung vom sechsten (5.T.n.Eb.) auf den siebten Untersuchungstag (6.T.n.Eb.) resultierte jedoch aus der Verringerung der

- Streuung der Helligkeit und der
- geringeren Differenz der Buntheit und des Bunttons zwischen den einzelnen Messpunkten.

In den Tabellen A6 – A9 (Anhang) sind die Einzelergebnisse für die klassierten Daten der nach unterschiedlichen Formeln berechneten Farbabstände einzusehen.

Der Zusammenhang zwischen den Farbabständen und den Farbmaßzahlen ist nachfolgend am Beispiel des DEcmc (2:1) und dem h° - Werten grafisch dargestellt. Wie aus Abbildung 39 zu erkennen ist, weisen die untersuchten Daten keinen linearen Zusammenhang auf. Im Rahmen der Überprüfung konnte keine entsprechende Wachstumsfunktion ermittelt werden.

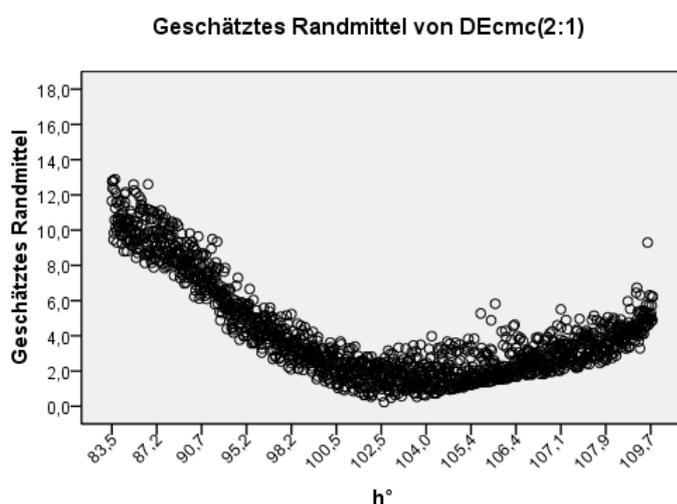


Abbildung 39: Marke „Banacol“ - Zusammenhang zwischen DEcmc (2:1) und h°

6.1.3. Marke „Gourmetbanane“

Für die Marke „Gourmetbanane“ wurden an 10 Tagen Farbmessungen durchgeführt. Die Reifung der Bananen erfolgte vom Angleichungstag bis zum vierten Tag nach der Ethylenbehandlung gemeinsam mit den Bananen der Marke „Bajella“. Im Vergleich wurden sie jedoch vor der Reifung einen Tag länger gelagert. Im Anschluss an die gewerbliche Reifung (bis 4.T.n.Eb.) erfolgte eine Lagerung unter Haushaltsbedingungen bei 15 – 19 °C, um abzuklären, inwieweit durch die veränderten Lagerbedingungen die Farbentwicklung beeinflusst wird und ob auftretende Veränderungen durch instrumentelle Farbmessung detektiert werden können.

Der Gesamtumfang sowie die täglichen Stichprobenumfänge sind nachfolgend in Tabelle 21 aufgeführt. Zur statistischen Auswertung erfolgte eine Stichprobenangleichung auf täglich 64 Messpunkte. Der zur Auswertung genutzte Gesamtprobenumfang betrug 640 Messpunkte.

Tabelle 21: Marke „Gourmetbanane“ - Stichprobenumfänge

Untersuchungstage	
2. Lagertag	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
Angleichungstag	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
1. Tag nach Ethylenbehandlung	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
2. Tag nach Ethylenbehandlung	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
3. Tag nach Ethylenbehandlung	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
4. Tag nach Ethylenbehandlung	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
5. Tag nach Ethylenbehandlung (Haushaltslagerung – 18 – 21°C)	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
6. Tag nach Ethylenbehandlung (Haushaltslagerung – 18 – 21°C)	5 Cluster = 19 Messflächen = 76 Messpunkte
7. Tag nach Ethylenbehandlung (Haushaltslagerung – 18 – 21°C)	5 Cluster = 20 Messflächen = 80 Messpunkte
8. Tag nach Ethylenbehandlung (Haushaltslagerung – 18 – 21°C)	4 Cluster = 16 Messflächen = 64 Messpunkte
Gesamtumfang	49 Cluster = 195 Messflächen = 780 Messpunkte

Abbildung 40 gibt einführend einen zusammenfassenden Überblick der Entwicklungsverläufe der einzelnen Farbmaßzahlen im Untersuchungszeitraum. Eine detaillierte Beschreibung der Veränderungen einzelner Farbmaßzahlen erfolgt in der weiteren Ergebnisdarstellung.

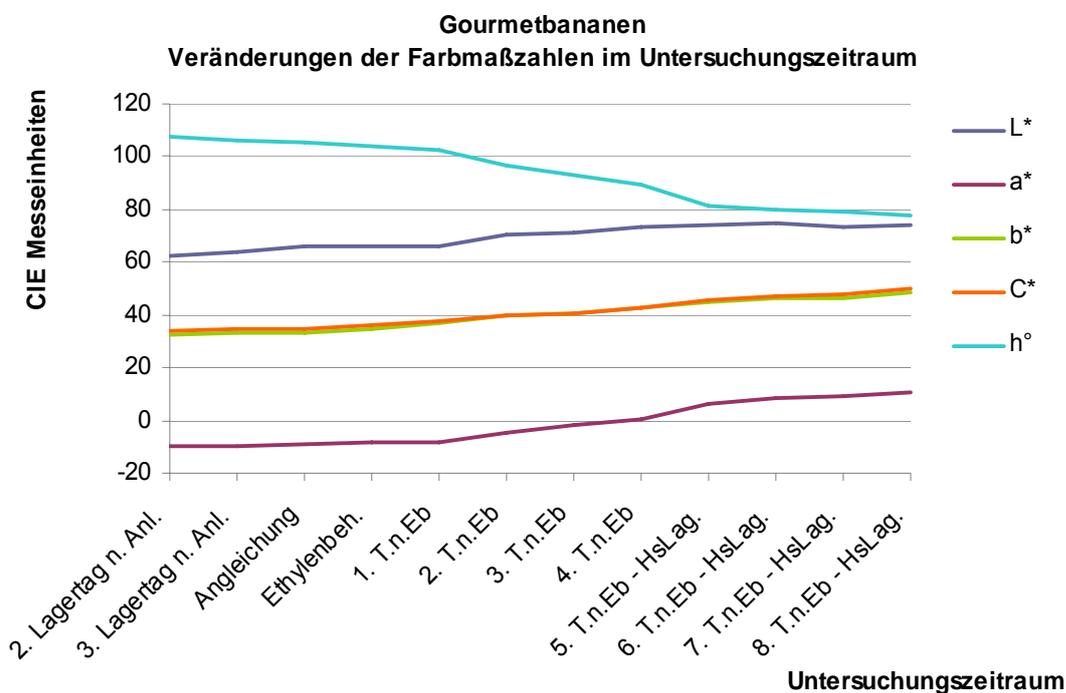


Abbildung 40: Marke „Gourmetbanane“ – Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen

In der Grafik ist deutlich zu erkennen, dass bereits vor der Ethylenbehandlung eine erkennbare Veränderung der Helligkeit (L*) und des Bunttons (h°) stattfand. Auch bei den Grün- (a*) und Gelbanteilen der Farbe (b*) sowie der Buntheit (C*) fand eine leichte Verschiebung statt - diese war jedoch nicht so klar erkennbar. Bereits am ersten Tag nach der Behandlung mit Ethylen (1.T.n.Eb.) wurden über alle Farbmaßzahlen hinweg deutliche

Veränderungen detektiert. Diese setzten sich für die Helligkeit (L^*) und den Bunttonwinkel (h°) bis zum fünften Tag nach der Ethylenbehandlung fort und verblieben in der weiteren Lagerung auf relativ konstantem Niveau. Für die Grün- (a^*) und Gelbanteile der Farbe (b^*) sowie die Farbintensität (C^*) wurde hingegen ein weiterer Anstieg der Farbmaßzahlen bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes festgestellt.

Die Tabellen 22 - 26 geben einen Überblick über die durchschnittliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Farbmaßzahlen. Die Abbildungen 41, 42, 45 und 46 stellen die Entwicklung der Farbwerte, der Standardabweichungen sowie das Auftreten von „Ausreißern“ und Extremwerten dar. Jeweils auf der rechten Seite der Abbildung ist die Entwicklung der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) ersichtlich.

Helligkeit (L^*)

Tabelle 22: Marke „Gourmetbanane“ - Veränderungen von L^*

Untersuchungs tag	L^*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø Var.koeff.
2. Lagertag n. Anlief.	62,1	3,9	0,06
Angleichungstag	65,6	4,2	0,06
1. TnEb	66,5	3,5	0,05
2. TnEb	70,4	3,2	0,05
3. TnEb	71,2	3,3	0,05
4. TnEb	73,0	2,2	0,03
5. TnEb = 1. T Haushalt	74,6	2,1	0,03
6. TnEb = 2. T Haushalt	74,5	1,8	0,02
7. TnEb = 3. T Haushalt	73,4	1,9	0,02
8. TnEb = 4. T Haushalt	73,7	1,8	0,02

An Hand der in Tabelle 22 dargestellten Daten ist zu erkennen, dass sich die Helligkeit über den gesamten Untersuchungszeitraum um ca. 12 Messeinheiten erhöhte. Zum Ende des Untersuchungszeitraumes wurde eine deutliche Reduzierung der Streuung festgestellt. Gleichzeitig kann eine deutliche Veränderung des Entwicklungsverlaufes nachvollzogen werden.

Der Entwicklungsverlauf ist in Abbildung 41 grafisch dargestellt.

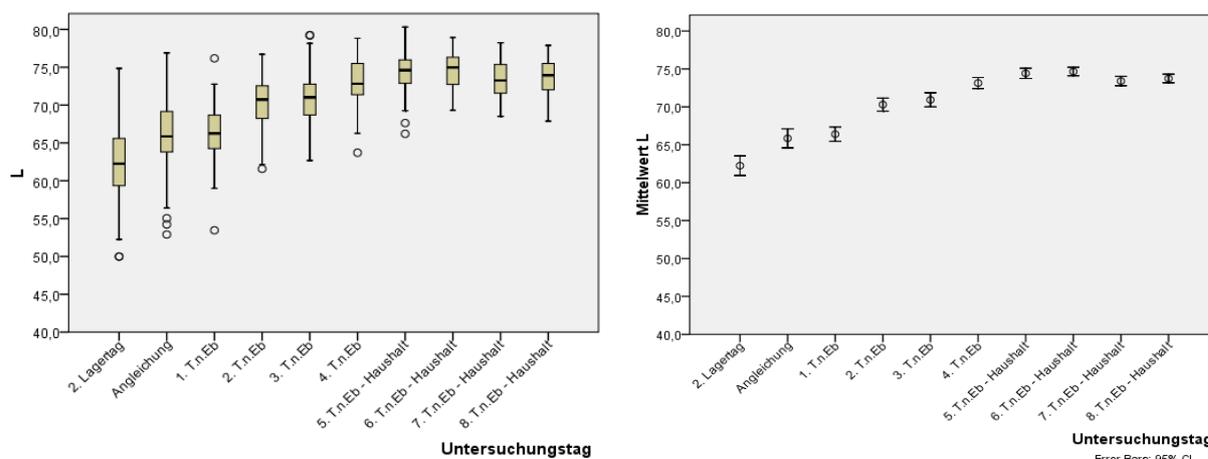


Abbildung 41: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung des L^* -Wertes

Die registrierte, extreme Datenstreuung (bis zu 24 ME) vor der Ethylenbehandlung lässt vermuten, dass sich die Bananen zu Untersuchungsbeginn stark in der Helligkeit unterschieden. Zusätzlich wurden weitere, eindeutig abweichende Werte (Ausreißer) registriert. In der grafischen Darstellung der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) ist zu erkennen, dass die Farbe der untersuchten Bananen bereits vor der Ethylenbehandlung (bei ausgeprägter Streuung der Werte) deutlich heller wurde. Vom Angleichungstag bis zum ersten Tag nach der Ethylenbehandlung wurde ein Rückgang der Streuung detektiert während die Ausprägung der Farbmaßzahl in diesem Zeitraum auf nahezu gleichem Niveau verblieb.

Am folgenden Untersuchungstag (2.T.n.Eb.) erfolgte eine deutliche Zunahme der Helligkeit. Ein weiterer starker Anstieg der Helligkeit wurde erst zum Ende der gewerblichen Reifung (4.T.n.Eb.) detektiert, der sich bis zum fünften Tag nach der Ethylenbehandlung (1. Tag Haushalt) fortsetzte. Parallel verringerte sich die Streuung deutlich. In der Abbildung ist gut zu erkennen, dass das Helligkeitsniveau vom ersten auf den zweiten Lagertag unter Haushaltsbedingungen erneut stagnierte und sich anschließend scheinbar verringerte. Dieser Umstand lässt vermuten, dass es mit Beginn des dritten Lagertages unter Haushaltsbedingungen (7.T.n.EB. Haushalt) zu einer Veränderung der biochemischen Prozesse gekommen sein könnte.

Grün – Rot – Achse (a*)

Im Vergleich mit der Helligkeit wiesen die Veränderungen des a-Wertes/der Grünanteile (stehend für den Anteil des Chlorophylls in der Schale) hinsichtlich der Mittelwerte eine ähnliche Entwicklung auf. Hinsichtlich der Streuung zeigte sich jedoch ein verändertes Verhalten. Über den gesamten Untersuchungszeitraum kam es zu einem Anstieg des a*-Wertes um 20 Messeinheiten.

**Tabelle 23: Marke „Gourmetbanane“-
Veränderung von a***

Untersuchungs tag	a*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø Var.koeff.
2. Lagertag n. Anlief.	-10,2	1,1	0,10
Angleichungstag	-9,2	1,4	0,15
1.TnEb	-7,9	1,6	0,20
2.TnEb	-4,6	2,0	0,45
3.TnEb	-2,1	1,9	2,87
4.TnEb	0,5	1,8	3,73
5.TnEb = 1.T Haushalt	6,6	1,1	0,15
6.TnEb = 2.T Haushalt	8,2	0,8	0,10
7.TnEb = 3.T Haushalt	9,1	1,2	0,12
8.TnEb = 4.T Haushalt	10,3	0,8	0,08

Aus der in Abbildung 42 grafisch dargestellten Entwicklung der Farbmaßzahl ist zu ersehen, dass bereits vor Beginn der Ethylenbehandlung erkennbare Veränderungen der Mittelwerte und Streuungsmaße detektiert wurden. Diese setzten sich bis zum zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung fort. Interessant ist, dass die Werte bis zu diesem Zeitpunkt (2.T.n.Eb.) hauptsächlich in den oberen Bereich streuten und sich in der nachfolgenden Reifung eine gleichmäßigere Streuung der Grünanteile der Farbe (a*) zeigte. Die, in den folgenden beiden Reifungstagen detektierte, extrem angestiegene Streuung kann eventuell durch verstärkt eingesetzten Chlorophyllabbau im Verlauf des vierten Untersuchungstages (2.T.n.Eb.) erklärt werden. Am letzten Untersuchungstag der gewerblichen Reifung wurden Mittelwerte um den Nullpunkt registriert.

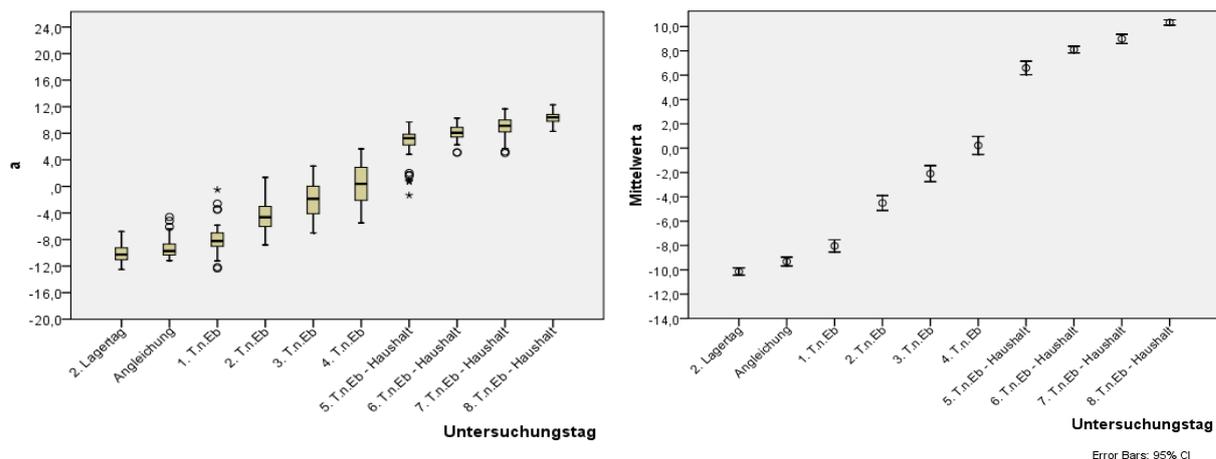


Abbildung 42: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung des a*- Wertes

Dieser Umstand zeigte an, dass das Chlorophyll zu diesem Zeitpunkt weitgehend abgebaut war. Durch die Lagerung unter Haushaltsbedingungen kam es direkt im Anschluss zu einem sehr starken Anstieg des a*- Wertes. Diese Veränderung kann auf Grund des untypischen Entwicklungsverlaufs bzw. des extremen Anstiegs der Farbmaßzahl direkt den veränderten Reifungs- und Lagerbedingungen sowie dem vermehrten Auftreten von Zuckerflecken zugeschrieben werden. In der nachfolgenden Lagerung unter Haushaltsbedingungen kam es zu einem weiteren, aber deutlich geringer ausgeprägten Anstieg der a*- Werte bei gleichzeitiger Reduktion der Streuung.

Die Überprüfung des statistischen Zusammenhangs nach Pearson ergab einen großen Zusammenhang ($r = 0,72$) zwischen der Helligkeit (L^*) und dem a^* - Wert. (vgl. Tabelle 27).

In Abbildung 43 wird die Korrelation dieser beiden Farbmaßzahlen verdeutlicht. Gleichzeitig ist in der Abbildung zu erkennen, wie sich die anfänglich stark ausgeprägte Streuung der Helligkeit mit zunehmendem Chlorophyllabbau reduzierte und sich im weiteren Verlauf kaum veränderte.

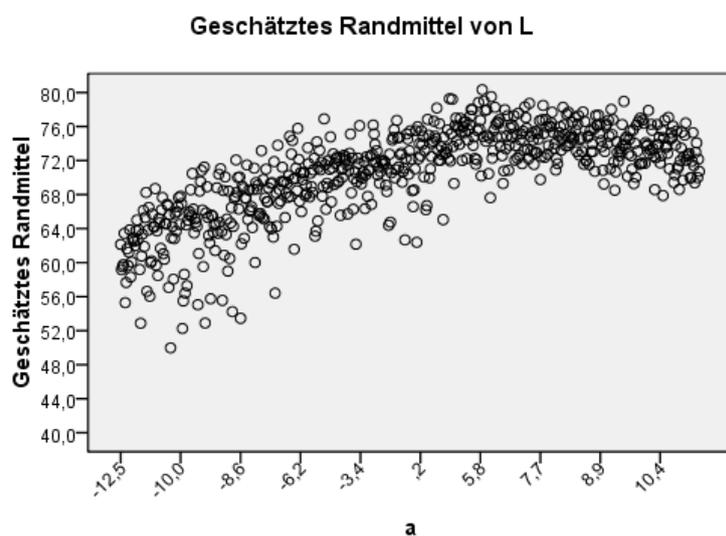
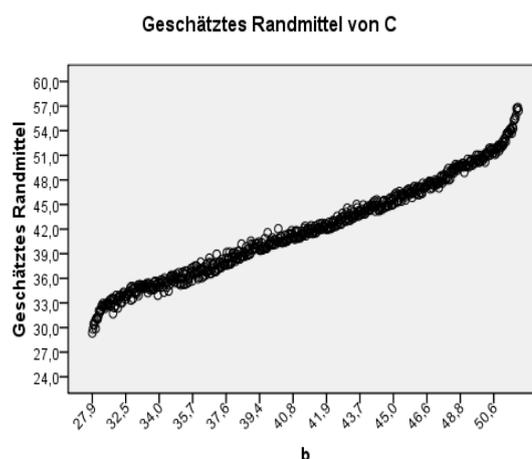


Abbildung 43: Marke „Gourmetbanane“ - Zusammenhang von L^* und a^*

Blau – Gelb – Achse (b*) und Buntheit (Chroma = C*)

Hinsichtlich der Gelbanteile der Farbe (b*) und der Buntheit / Farbintensität (C*) ist in Abbildung 44 zu erkennen, dass die Entwicklung dieser beiden Farbmaßzahlen sehr eng miteinander verbunden war. Die Zusammenhanganalyse ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Farbmaßzahlen ($r = 0,99$) (vgl. Tabelle 27), der in Abbildung 44 grafisch dargestellt wurde.



**Abbildung 44: Marke „Gourmetbanane“-
Abhängigkeit von b* und C***

In den Tabellen 24 und 25 sind die durchschnittlichen Mittelwerte und Streuungskennzahlen der beiden Farbmaßzahlen im Untersuchungszeitraum gegenübergestellt.

Tabelle 24: Veränderungen von b*

Untersuchungs tag	b*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø Var.koeff.
2. Lagertag n. Anlief.	32,5	1,4	0,04
Angleichungstag	33,4	1,3	0,04
1.TnEb	36,8	1,9	0,05
2.TnEb	39,4	2,3	0,06
3.TnEb	40,4	2,6	0,06
4.TnEb	42,3	2,6	0,06
5.TnEb = 1.T Haushalt	45,0	3,4	0,08
6.TnEb = 2.T Haushalt	46,3	3,2	0,07
7.TnEb = 3.T Haushalt	47,1	3,3	0,07
8.TnEb = 4.T Haushalt	48,6	2,9	0,06

Tabelle 25: Veränderungen von C*

Untersuchungs tag	C*		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø Var.koeff.
2. Lagertag n. Anlief.	34,1	1,6	0,05
Angleichungstag	34,6	1,5	0,04
1.TnEb	37,7	2,0	0,05
2.TnEb	39,8	2,4	0,06
3.TnEb	40,6	2,6	0,06
4.TnEb	42,4	2,6	0,06
5.TnEb = 1.T Haushalt	45,5	3,4	0,07
6.TnEb = 2.T Haushalt	47,0	3,2	0,07
7.TnEb = 3.T Haushalt	48,0	3,3	0,07
8.TnEb = 4.T Haushalt	49,7	3,0	0,06

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Ausprägungen der Werte und die auftretende Streuung der Gelbanteile der Farbe (b*) und der Buntheit (C*) ähnlich ausgeprägt waren. Sowohl bei den Gelbanteilen der Farbe (b* - stehend für den Carotinoidgehalt der Schale) als auch für die Buntheit/ Farbintensität (C*) wurden vor der Ethylenbehandlung nur minimale Veränderungen detektiert, die wahrscheinlich stichprobenbedingt verursacht wurden. Wie bereits bei dem a*- Wert festgestellt wurde, waren sowohl die Veränderung der Werte wie auch die Streuung geringer ausgeprägt als bei der Helligkeit (L*). Über den gesamten Untersuchungszeitraum kam es zu einem Anstieg der Mittelwerte um 16,1 (b*) / 14,4 (C*) Messeinheiten.

In Abbildung 45 wird der Entwicklungsverlauf der b^* - und C^* - Werte grafisch dargestellt.

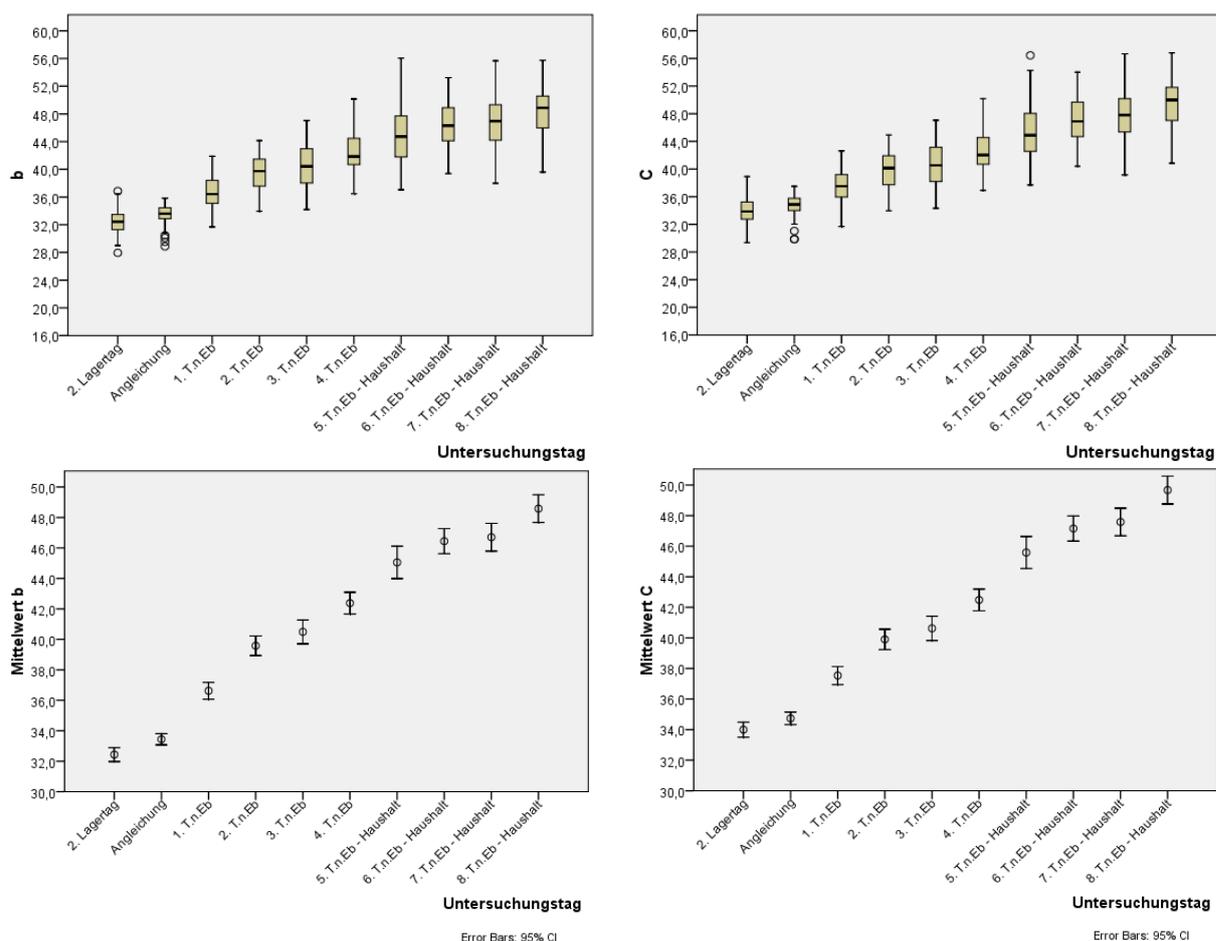


Abbildung 45: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung der b^* - und C^* - Werte

Nach der Ethylenbehandlung kam es im Verlauf der ersten beiden Reifungstage zu einem deutlichen Anstieg der Mittelwerte und der Streuung. Wird die Entwicklung des a^* - Wertes bei der Betrachtung berücksichtigt, ist davon auszugehen, dass in diesem Zeitraum der Chlorophyllabbau zunahm. Die hierdurch bedingte Reduktion der Maskierung der in der Bananenschale enthaltenen Carotinoide könnten die angestiegenen Werte der Gelbanteile der Farbe und der Buntheit erklären. In Relation zu den detektierten Mittelwerten stieg die Streuung über den Untersuchungszeitraum nur minimal an. Vom zweiten auf den dritten Tag nach der Ethylenbehandlung stagnierten die Werte auf nahezu gleichem Niveau. Am letzten Untersuchungstag (4.T.n.Eb.) der gewerblichen Reifung wurde ein erneuter Anstieg der Gelbanteile der Farbe (b^*) und der Farbintensität (C^*) detektiert. Durch die Lagerung unter Haushaltsbedingungen kam es direkt im Anschluss an die gewerbliche Reifung zu einem sehr starken Anstieg der b^* - und C^* - Werte. Diese Veränderung kann auf Grund des untypischen Entwicklungsverlaufs bzw. des extremen Anstiegs der Farbmaßzahl direkt den veränderten Reifungs- und Lagerbedingungen zugeordnet werden. In der nachfolgenden Lagerung unter Haushaltsbedingungen kam es zu einem weiteren, aber deutlich geringer ausgeprägten Anstieg der Farbmaßzahlen bei nahezu unverändertem Streuungsniveau.

Durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson konnte für die beiden Farbmaßzahlen ein hoher statistischer Zusammenhang mit der Helligkeit (L^*) und den

Grünanteilen der Farbe (a^*) ermittelt werden (vgl. Tab. 27). Dabei waren die ermittelten Zusammenhänge mit den a^* -Werten ($r = 0,81$) stärker ausgeprägt als die der L^* -Werte ($r = 0,66 / 0,62$)

Die Abhängigkeiten zwischen den Farbmaßzahlen wurden geprüft und sind in Abbildung A12 (Anhang) grafisch dargestellt. Sie bestätigen, dass die Entwicklung der b^* - und C^* -Werte durch den ungleichmäßigen Abbau des Chlorophylls (a^*) und sich daraus ergebender Schwankungen der Helligkeit (L^*) beeinflusst wurde.

Buntton (h° - Wert)

Die Entwicklung der mittleren Kennzahlen des Bunttonwinkels (h°) ist in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Marke „Gourmetbanane“ - Veränderungen von h°

Untersuchungs tag	h°		
	Ø Mittelwert	Ø Stabw	Ø Var.koeff.
2. Lagertag n. Anlief.	107,4	1,5	0,01
Angleichungstag	105,4	2,0	0,02
1.TnEb	102,1	2,3	0,02
2.TnEb	96,5	2,7	0,03
3.TnEb	92,9	2,8	0,03
4.TnEb	89,3	2,5	0,03
5.TnEb = 1.T Haushalt	81,6	1,6	0,02
6.TnEb = 2.T Haushalt	79,9	0,9	0,01
7.TnEb = 3.T Haushalt	79,0	1,3	0,02
8.TnEb = 4.T Haushalt	78,0	0,8	0,01

Wie aus den dargestellten Daten ersichtlich ist, zeigen sich Analogien im Entwicklungsverlauf des Bunttonwinkels h° mit den Entwicklungsverläufen der anderen Farbmaßzahlen. Im Verlauf der Reifung kam es zu einer gering ausgeprägten, aber gleichmäßigen Zunahme der Streuung. Bedingt durch den verlängerten Untersuchungszeitraum veränderte sich der Bunttonwinkel um 28,6 Messeinheiten (Winkelgrade).

Abbildung 46 stellt die Entwicklung der Kennzahlen des Bunttonwinkels grafisch dar.

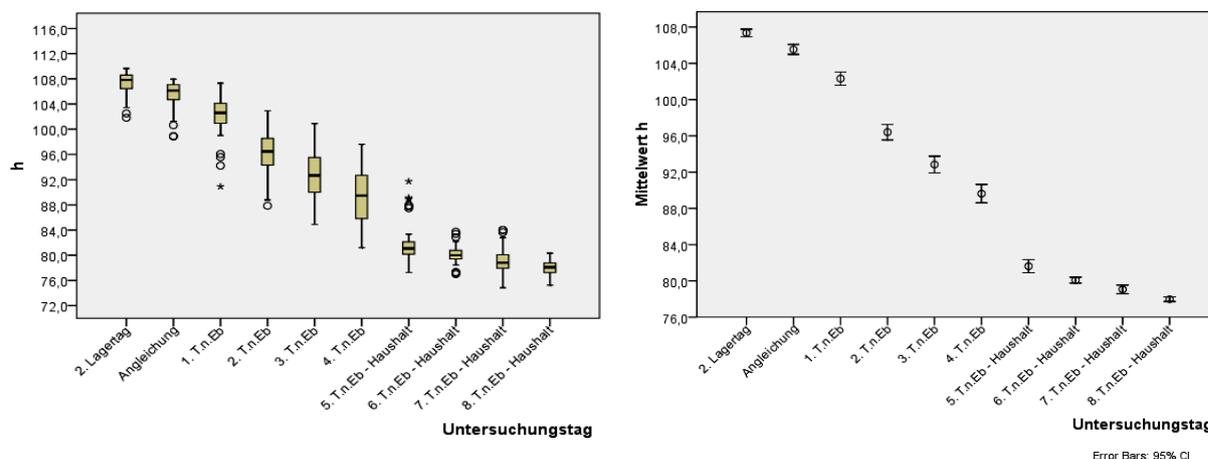


Abbildung 46: Marke „Gourmetbanane“ - Entwicklung des h° - Wertes

Wie auch schon bei den anderen Farbmaßzahlen beobachtet, konnte an Hand des vorliegenden Datenmaterials festgestellt werden, dass die untersuchten Bananen bereits vor der Ethylenbehandlung einen unterschiedlichen Buntton aufwiesen. Die festgestellte leichte Verschiebung der Kennzahlen zu diesem Zeitpunkt könnte durch bereits beginnende Reifung oder aber stichprobenbedingt verursacht sein. Die Entwicklung verlief ähnlich wie bei den a^* -Werten. Nach der Ethylenbehandlung verringerte sich der Bunttonwinkel h° bei gleichzeitig ansteigender Streuung bis zum Ende der gewerblichen Reifung. Dabei wurde vom ersten auf den zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung ein deutlich stärkerer Rückgang der Farbmaßzahl detektiert als an den anderen Reifungstagen. Auf Grund des am letzten Tag der gewerblichen Reifung (4.T.n.Eb) detektierten Mittelwertes von 89,3 kann davon ausgegangen werden, dass die untersuchten Bananen größtenteils eine gelbe Schalenfarbe hatten. Durch die Lagerung unter Haushaltsbedingungen kam es anschließend zu einer sehr starken Verschiebung des Bunttons um mehr als 7 Messeinheiten. Diese Veränderung kann auf Grund der extremen Veränderung der Farbmaßzahl direkt den veränderten Reifungs- und Lagerbedingungen zugeschrieben werden. In der nachfolgenden Lagerung reduzierten sich die Farbmaßzahl und die Streuung weiter – allerdings auf eindeutig geringerem Niveau.

Durch die Überprüfung der statistischen Zusammenhänge konnten große Korrelationen des Bunttons mit den anderen Farbmaßzahlen nachgewiesen werden (vgl. Tab. 27). Besonders stark korreliert die Veränderung des Bunttonwinkels der Schalenfarbe mit dem Abbau des Chlorophylls ($r_{a^*} = 0,99$).

Die Abhängigkeit der Entwicklung des Bunttonwinkels (h°) von den anderen Farbmaßzahlen wurden geprüft und grafisch in Abbildung A13 (Anhang) dargestellt.

Die im Rahmen der Überprüfung des statistischen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Farbmaßzahlen berechneten Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 27 ersichtlich.

Tabelle 27: Marke „Gourmetbanane“ – Korrelationen Farbmaßzahlen

Korrelation nach Pearson				
N = 640	a	b	C	h
L	0,724	0,662	0,629	-0,754
a		0,811	0,807	-0,993
b			0,996	-0,810
C				-0,798
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.				

Farbabstand (DE-Wert)

In Abbildung A15 (Anhang) wurde die Veränderung der Schalenfarbe im dreidimensionalen Farbenraum dargestellt. Die Zunahme der Helligkeit ist in der jeweils links angeordneten Balkengrafik zu verfolgen.

In der grafischen Darstellung ist zu erkennen, dass die vor der Ethylenbehandlung untersuchten Cluster leichte Unterschiede hinsichtlich der Helligkeit (L^*) und des

hierzu wurde nach der Ethylenbehandlung ein Anstieg des Farbabstandes detektiert, der zwischen dem dritten (1.T.n.Eb) - und vierten Untersuchungstag (2.T.n.Eb) besonders deutlich ausgeprägt war und sich bis zum Ende der gewerblichen Reifung (4.T.n.Eb.) fortsetzte. Durch die Ethylenbehandlung kam es scheinbar mit fortschreitendem Reifungsverlauf zur Angleichung der Farbdifferenzen und Integration abweichender Werte. Direkt im Anschluss an die gewerbliche Reifung wurde ein sehr starker Anstieg des Farbabstandes (ca. 5 ME), eine große Streuung sowie das Auftreten zahlreicher deutlich abweichender Werte registriert. In der nachfolgenden Lagerzeit stieg der Farbdifferenzwert bei stark reduzierter Streuung noch weiter an.

Der Vergleich der statistisch ermittelten Streuungsdaten mit der Entwicklung der im Farbenraum dargestellten Daten (Abb. A16) bis zum Ende der gewerblichen Reifung zeigte erneut einen differenten Entwicklungsverlauf auf. Demgegenüber traten diese möglichen Interpretationsdifferenzen während der Lagerung unter Haushaltsbedingungen nicht auf – in beiden Darstellungsformen konnte ein Rückgang der Streuungsmaße festgestellt werden. Eine mögliche Ursache hierfür ist mit großer Wahrscheinlichkeit in der gleichmäßigen Gelbfärbung der Schalenfarbe zu sehen.

In den Tabellen A10 – A13 (Anhang) sind die Einzelergebnisse für die klassierten Daten der nach unterschiedlichen Formeln berechneten Farbabstände einzusehen.

Der Vergleich der Daten zeigt auf, dass es durch die Verwendung unterschiedlicher Berechnungsformeln zu Ausprägungsdifferenzen der mittleren Farbabstände kam.

- Die deutlichsten Ausprägungsdifferenzen zeigten sich für alle Berechnungsformeln zwischen dem ersten und zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung (1.T.n.Eb. – 2.T.n.Eb.) und nach Veränderung der Reifungsbedingungen (4.T.n.Eb. – 5.T.n.Eb.). Die zum Folgetag ermittelten Differenzen der einfach gewichteten Farbabstände variierten dabei zwischen Ausprägungen von 3,5 – 5,1 ME (1./2.T.n.Eb.) bzw. 4,0 – 6,1 ME (4./5.T.n.Eb.).
- Die vergleichende Betrachtung der Entwicklungsverläufe offenbarte bei den Farbabständen
 - bei einfacher Gewichtung
 - vergleichbare Ausprägungen der mittleren Standardabweichungen nur zwischen DE2000 und DEcmc
 - bei mehrfacher Gewichtung
 - vergleichbare Ausprägungen der mittleren Standardabweichungen zwischen DE94, DE2000 und DEcmc
 - In Relation zu den Mittelwerten zeigten sich lediglich geringe Streuungsdifferenzen zwischen den unterschiedlichen Berechnungsformeln. Im gewerblichen Reifungsverlauf wurde für alle Farbabstände ein deutlicher Rückgang der Streuung (17% bis 45 %) detektiert. Im Verlauf der anschließenden Haushaltslagerung wurden nur minimale Veränderungen der Streuung ermittelt (< 0,1).

Bei den einfach gewichteten Farbabstände (1:1:1)

- wurden bereits vor der Ethylenbehandlung (2. Lagertag) Farbabstände zwischen 3,7– 5,0 ermittelt. Umgesetzt auf die visuellen Farbwahrnehmung bedeutet dies, dass bereits zu Untersuchungsbeginn deutliche Farbunterschiede wahrgenommen wurden.
- der für die Bewertung von großen Farbdifferenzen als geeignet angesehene Farbabstand DE^* (vgl. Diplomarbeit..CIEDE) wies über den gesamten Untersuchungszeitraum die größten Ausprägungen auf.
- Bei Verwendung der DE_{2000} (1:1:1) und dem DE_{cmc} (1:1) zeigten sich im Mittel die geringsten Ausprägungen.

Die Anwendung unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren ergab

- bereits bei doppelter Gewichtung des L^* -Wertes eine Reduzierung der Ausprägung des Farbabstandes zwischen 39% und 51% gegenüber der einfachen Gewichtung. Die Streuungsmaße veränderten sich entsprechend.
- Durch weitere Erhöhung des Gewichtungsfaktors reduzierten sich die Farbabstandswerte noch zusätzlich – die Differenzen waren deutlich geringer ausgeprägt und lagen bei maximal 0,8 – 0,4 ME.
- Die vierfache Gewichtung des L^* -Wertes verursachte im Vergleich zur dreifachen Gewichtung nur noch minimale Veränderungen.

Eine Überprüfung möglicher Einflussfaktoren wurde auf Grund der abweichenden Verpackung der „Gourmetbananen“ und des geringen Stichprobenumfangs nicht durchgeführt.

Beispielhaft ist nachfolgend der Zusammenhang zwischen dem Farbabstand DE_{cmc} (2:1) und dem h° - Wert grafisch für den Zeitraum der gewerblichen Reifung und für den gesamten Untersuchungszeitraum gegenübergestellt. Wie in Abbildung 48 zu erkennen ist, weisen die untersuchten Daten keinen linearen Zusammenhang auf.

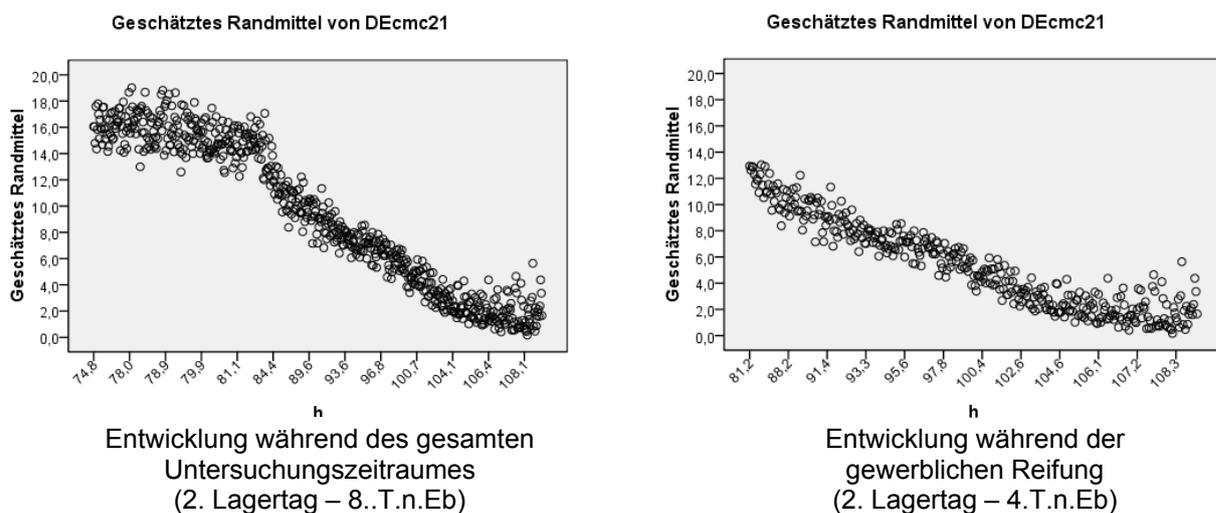


Abbildung 48: Marke „Gourmetbanane“ - Zusammenhang zwischen DE_{cmc} (2:1) und h°

6.1.4. Vergleich Cavendish-Bananen

Für den Vergleich der Farbentwicklung der „Cavendish“-Bananen - Marke „Bajella“ und Marke „Banacol“ - wurde das auf gleiche Stichprobenumfänge reduzierte Datenmaterial vom Angleichungstag bis zum 4. Tag nach der Ethylenbehandlung zu Grunde gelegt. Der durchgeführte Vergleich diente der Detektierbarkeit von Differenzen in der Farbentwicklung und der Aufdeckung möglicher verursachender Faktoren. Vergleichende Aussagen hinsichtlich eines möglichen Einflusses anbauspezifischer Differenzen waren aufgrund differenter Ausgangsbedingungen vor der Reifung und differenter Reifungsbedingungen nicht möglich.

Die vergleichende Betrachtung erfolgte an Hand

- tabellarisch dargestellter statistischer Kennzahlen,
- grafisch dargestellte Entwicklung der Farbmaßzahlen und Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) - Boxplots, Fehlerbalken und Liniendiagramm -
 - Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit von Entwicklungsverläufen wurden die mittleren Farbdifferenzwerte in dem Liniendiagramm parallel zu einem imaginären Toleranzbereich (Mittel +/- s) dargestellt. Zur Bildung des Toleranzbereiches wurden die entsprechenden Kennzahlen für die Bananen der Marke Banacol verwendet, da hier der Reifungsablauf optimaler gestaltet war. Das heißt, die Temperaturangleichung erfolgte direkt im Anschluss an die Anlieferung.
- grafischer Darstellung der Farbdifferenzwerte im dreidimensionalen Farbraum (siehe Anhang)

In der grafischen Übersicht (Abbildung 49) ist zu erkennen, dass der Verlauf der Entwicklungen der einzelnen Farbmaßzahlen im Vergleichszeitraum annähernd gleich war.

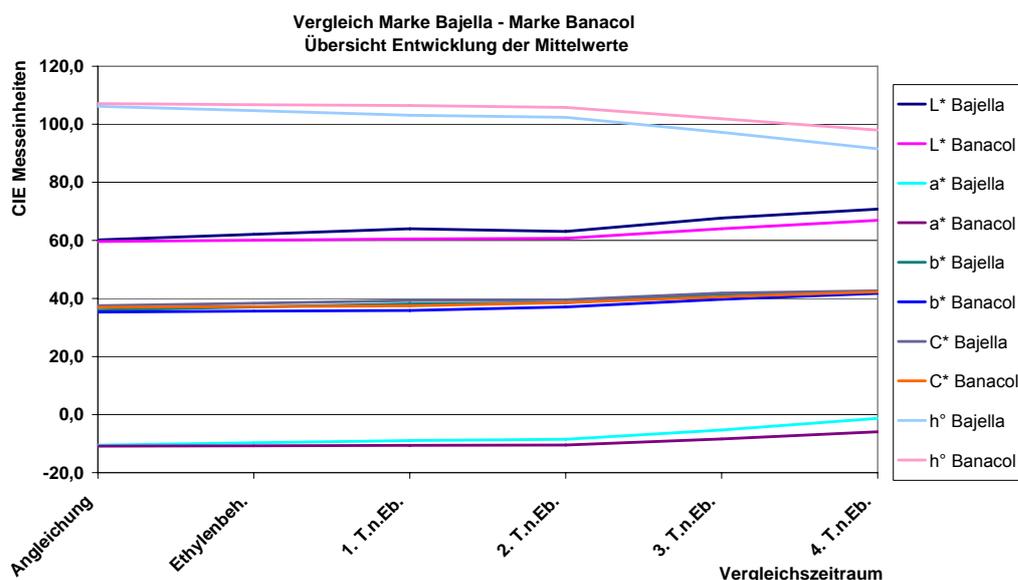


Abbildung 49: Vergleich Marken „Bajella“ und „Banacol“ - Übersicht Entwicklung Farbmaßzahlen

Um Differenzen in der Farbentwicklung über den Vergleichszeitraum aufzudecken erfolgte in einem ersten Schritt die Gegenüberstellung der Farbabstandswerte DEcmc (2:1).

Tabelle 28: Vergleich Cavendish - Bananen – Veränderung Farbabstand DEcmc (2:1)

Vergleichs- zeitraum	N = 1120	DEcmc(2:1) Bajella	DEcmc(2:1) Banacol
Angleichung	Mittel	2,2	3,1
	SEM	0,1	0,1
	s	1,2	1,3
	v	0,53	0,41
1. T.n.Eb.	Mittel	3,9	2,8
	SEM	0,1	0,1
	s	1,6	1,3
	v	0,41	0,46
2. T.n.Eb.	Mittel	3,9	2,6
	SEM	0,1	0,1
	s	1,8	1,2
	v	0,47	0,46
3. T.n.Eb.	Mittel	6,9	2,3
	SEM	0,2	0,1
	s	2,3	1,1
	v	0,34	0,48
4. T.n.Eb.	Mittel	9,7	3,7
	SEM	0,1	0,1
	s	1,8	1,9
	v	0,18	0,52

Legende Tabellen 27 - 30

Mittel	Arithmetischer Mittelwert
SEM	Standardfehler des Mittelwertes
s	Standardabweichung
v	Variationskoeffizient

In Abbildung 50 ist die Entwicklung der Farbabstände sowie der Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) grafisch dargestellt.

Durch die Gegenüberstellung des ausgewerteten Datenmaterials wurde für die untersuchten Bananen der Marke „Banacol“ Folgendes festgestellt:

- am Angleichungstag zeigte sich ein etwas uneinheitlicheres Erscheinungsbild als bei den Bananen der Marke „Bajella“
- der Reifungsverlauf war gleichmäßiger
 - bei vergleichbarer Streuung des Mittelwertes wurden bei den Bananen der Marke „Bajella“ bis zum zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung eindeutig mehr abweichende Farbabstandswerte detektiert. Gleichzeitig kam es im Verlauf der weiteren Reifung zu einem Rückgang der Streuung, während bei den Bananen der Marke „Banacol“ in Relation zu den Mittelwerten keine Änderung der Streuung festzustellen war.
- der Beginn der Farbveränderung trat deutlich zeitverzögert auf
 - bei den Farbmessungen der Bananen der Marke „Bajella“ wurde bereits direkt nach der Ethylenbehandlung ein Anstieg der Farbabstandswerte detektiert, der sich mit zunehmender Reifungsdauer fortsetzte. Am dritten und vierten Tag nach der Ethylenbehandlung kam es zu einem ausgeprägten Anstieg der Farbabstandswerte.

- demgegenüber zeigte sich bei den Bananen der Marke „Banacol“ erst am vierten Tag nach der Ethylenbehandlung ein erkennbarer Anstieg der Farbabstandswerte und der Streuung. Die am letzten Tag des Vergleichszeitraumes festgestellte Differenz der Farbabstandswerte betrug 6 ME.

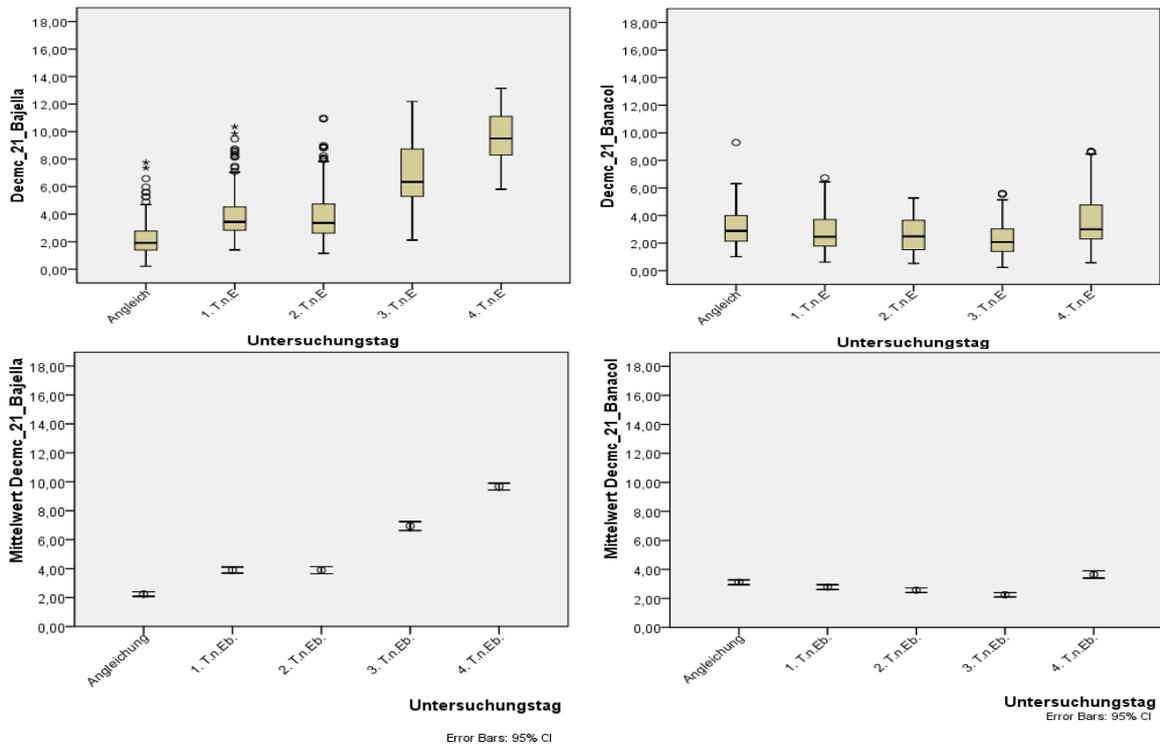


Abbildung 50: Vergleich Marken „Bajella“ und „Banacol“ - Entwicklung DEcmc (2:1)

- Aus dem vorliegenden Datenmaterial kann geschlossen werden, dass die untersuchten Bananen eine unterschiedliche Entwicklung der Schalenfarbe aufweisen.

Die different ablaufende Farbveränderung der Bananen wird in Abbildung 51 verdeutlicht.

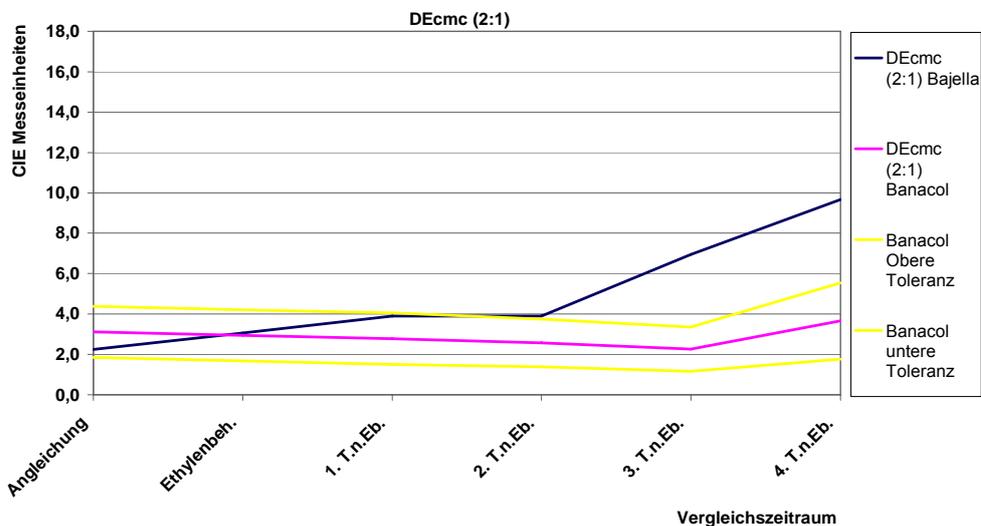


Abbildung 51: Vergleich Marken „Bajella“ : Marke „Banacol“ - Entwicklung DEcmc (2:1)

Durch die parallele Darstellung des imaginären Toleranzbereiches für die Marke „Banacol“ ist klar zu erkennen, dass die Schalenfarbe der beiden untersuchten Bananenmarken nach dem zweiten Tag nach der Ethylenbehandlung (2.T.n.Eb.) nicht mehr vergleichbar war.

Um die Ursachen für die festgestellten Unterschiede in der Farbentwicklung aufzudecken, wurden die einzelnen Farbmaßzahlen nachfolgend detailliert betrachtet. Die entsprechenden statistischen Kennzahlen sind, soweit in der folgenden Ausführung nicht dargestellt, im Anhang unter A16 bis A19/ Tab. A14 – A16 ersichtlich.

Grünanteile der Farbe - a*

Die Betrachtung der einzelnen Farbmaßzahlen ergab, dass die abweichende Farbentwicklung hauptsächlich durch den different ausgeprägten Chlorophyllabbau (detektiert über a*) zu Beginn des Vergleichszeitraumes verursacht wurde. Hierdurch kam es in Folge zu einer zeitlichen Verschiebung der Maskierungsreduzierung der enthaltenen Carotinoide. Die entsprechenden Kennzahlen sind nachfolgend dargestellt.

Tabelle 29: Vergleich – a* - Cavendish – Bananen

Vergleichs-zeitraum	N =	a*	a*
Angleichung	Mittel	-10,5	-10,9
	SEM	0,1	0,1
	s	1,5	1,2
	v	-0,15	-0,11
1. T.n.Eb.	Mittel	-8,9	-10,6
	SEM	0,2	0,1
	s	2,3	1,4
	v	-0,26	-0,13
2. T.n.Eb.	Mittel	-8,5	-10,5
	SEM	0,2	0,1
	s	2,7	1,4
	v	-0,31	-0,14
3. T.n.Eb.	Mittel	-5,3	-8,4
	SEM	0,2	0,2
	s	3,4	2,3
	v	-0,64	-0,27
4. T.n.Eb.	Mittel	-1,3	-5,9
	SEM	0,2	0,2
	s	3,1	3,2
	v	-2,37	-0,54

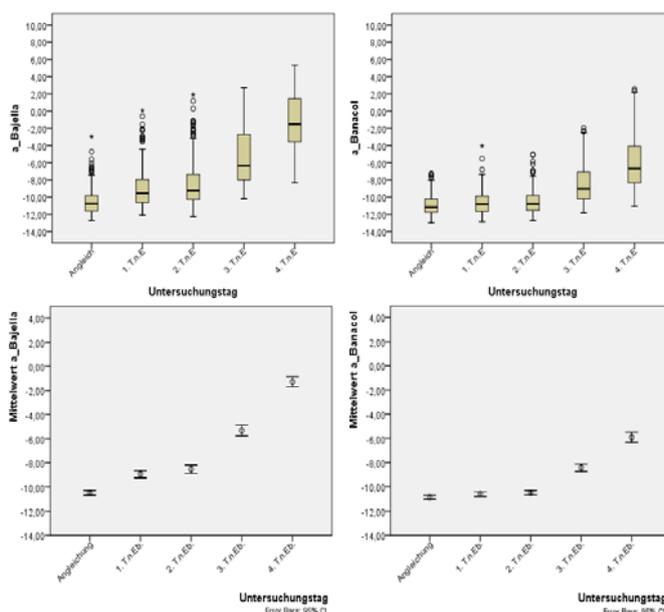


Abbildung 52: Vergleich a* - Cavendish – Bananen

Bereits am ersten Tag nach der Ethylenbehandlung war bei den Bananen der Marke „Bajella“ ein deutlich fortgeschrittener Abbau des Chlorophylls (Anstieg a*) sowie ein deutlich differenter Streuungsanstieg zu erkennen. Im Vergleich hierzu zeigte sich bei den Bananen der Marke „Banacol“ zwar ein ähnlicher Entwicklungsverlauf – dieser fand jedoch auf einem eindeutig niedrigeren Niveau statt. Der entsprechend grafisch dargestellte Verlauf der Entwicklungen ist in Abbildung A16 dargestellt.

Gelbanteile der Farbe (b*) und Farbintensität (C*)

Der differente Chlorophyllabbau führte dazu, dass besonders in den ersten beiden Tagen nach der Ethylenbehandlung der Anstieg der Gelbanteile der Farbe (b*) und der Farbintensität (C*) in der Schale der „Bajella“-Bananen auf einem höheren Niveau stattfand. Zum Ende des Vergleichszeitraumes glichen sich die Werte beider Marken an. Deutlich zu erkennen waren auch Differenzen im Anstieg der Helligkeit. Diese bewegten sich jedoch innerhalb des Toleranzbereiches, sodass die Entwicklungsverläufe als vergleichbar anzusehen sind. Die Entwicklungsverläufe sind in den Abbildungen A17 und A18 (Anhang) grafisch dargestellt.

Zusammengefasst führten die genannten Abweichungen in den Entwicklungsverläufen der kartesischen Polarkoordinaten zu der in Abbildung 53 grafisch dargestellten, deutlich abweichenden Bunttonentwicklung der Schalenfarben.

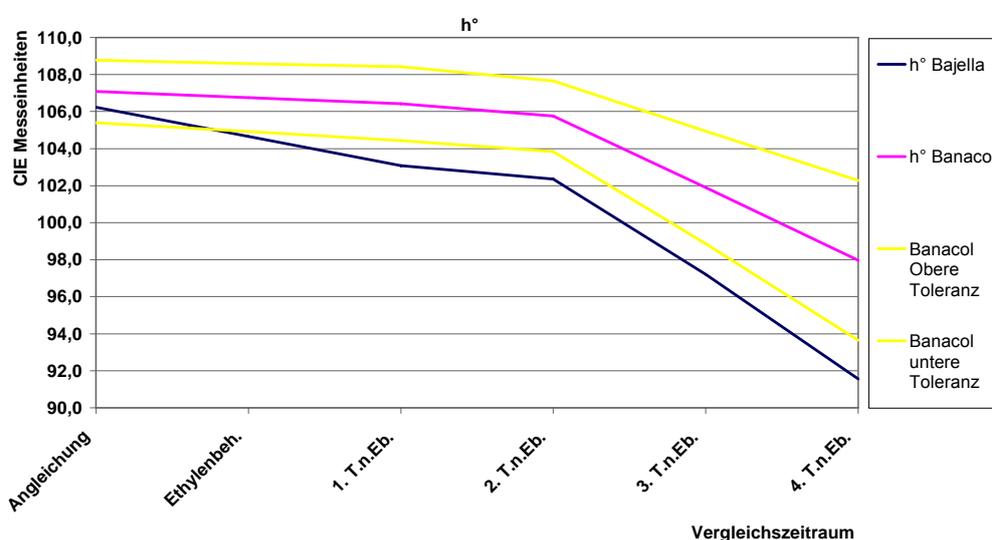


Abbildung 53: Vergleich h° - Cavendish – Bananen

Im Anschluss wurden für beide Bananenmarken die statistischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Farbmaßzahlen im Vergleichszeitraum überprüft.

Tabelle 30: Korrelationen Marken „Bajella“ und „Banacol“

Korrelationen nach Pearson				
N = 1120	a*	b*	C*	h°
L* Bajella	Bajella	Bajella	Bajella	Bajella
L* Bajella	0,84	0,38	0,21	-0,85
a* Bajella		0,50	0,18	-0,99
b* Bajella			0,53	-0,55
C* Bajella				-0,26
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.				

Korrelationen nach Pearson				
N = 1120	a*	b*	C*	h°
L* Banacol	Banacol	Banacol	Banacol	Banacol
L* Banacol	0,82	0,43	0,29	-0,83
a* Banacol		0,42	0,26	-0,98
b* Banacol			0,98	-0,58
C* Banacol				-0,43
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.				

Wie aus Tabelle 30 ersichtlich ist,

- wurden für die Bananen der Marke „Bajella“ deutlich differente Zusammenhänge ermittelt
 - zwischen den Gelbanteilen der Farbe (b^*) und der Buntheit/Farbintensität (C^*)
 - für die Farbentwicklung der Bananen der Marke Banacol wurde ein mehr als doppelt so großer statistischer Zusammenhang zwischen den beiden Farbmaßzahlen ermittelt.
 - zwischen der Buntheit/Farbintensität (C^*) und dem Buntton (h°)
 - für die Farbentwicklung der Bananen der Marke Banacol wurde ein fast doppelt so großer statistischer Zusammenhang zwischen den beiden Farbmaßzahlen ermittelt.

Hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen den anderen Farbmaßzahlen wurden Ähnlichkeiten festgestellt. Die ermittelten Differenzen sind nachfolgend zusammengefasst:

- für die Bananen der Marke Bajella ergaben sich geringfügig größere Zusammenhänge
 - zwischen dem Buntton (h°) und den Grünanteilen der Farbe (a^*) sowie der Helligkeit (L^*)
 - zwischen den Grün (a^*)- und Gelbanteilen (b^*) der Farbe
- für die Bananen der Marke Bajella wurden geringfügig kleinere Zusammenhänge ermittelt
 - zwischen dem Buntton (h°) und der Helligkeit (L^*), den Grünanteilen der Farbe (a^*) sowie der Farbintensität (C^*)

Nachfolgend wurden die Korrelationen zwischen den einzelnen Farbmaßzahlen der beiden untersuchten Bananenmarken überprüft. Wie aus Tabelle 32 ersichtlich ist, bestehen zwischen den Bunttönen (h°), den Grün (a^*) - und Gelbanteilen (b^*) der beiden Bananenmarken annähernd vergleichbare Korrelationen. Zwischen den anderen Farbmaßzahlen wurden nur mittlere Zusammenhänge ermittelt.

Tabelle 31: Marken „Bajella“ und „Banacol“ – Korrelationen zwischen einzelnen Farbmaßzahlen

Korrelationen nach Pearson					
N = 1120	L* Banacol	a* Banacol	a* Banacol	C* Banacol	h° Banacol
L* Bajella	0,36				
a* Bajella		0,51			
b* Bajella			0,56		
C* Bajella				0,43	
h° Bajella					0,62
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.					

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass es ähnliche Verlaufsformen der Farbentwicklung bei den beiden Bananenmarken gibt. Die festgestellten zeitlichen

Differenzen der Farbveränderungen der Schalenfarbe könnten durch einen oder mehrere der nachfolgend aufgeführten Einflussfaktoren verursacht worden sein:

- Möglicherweise fortgeschrittenere Vorreifung der „Bajella“ - Bananen
 - diese wurden vor der Temperaturangleichung bereits einen Tag gekühlt in unkontrollierter Atmosphäre im Reiferaum gelagert. Durch bereits ablaufende endogene Ethylensynthese kann eine Vorreifung initiiert worden sein, die in Folge durch die Ethylenbehandlung zu einem schnelleren Beginn und stärkerer Ausprägung des Chlorophyllabbaus führte.
 - es wäre jedoch auch denkbar, dass unter CA-Bedingungen transportierte Bananen gleicher Untergruppe sensibler gegenüber Temperaturschwankungen und Veränderungen der atmosphärischen Gaszusammensetzung sind.

- Unterschiedlicher Chlorophyllgehalt der Bananenschalen
 - durch unterschiedliche Chlorophyllgehalte in der Schale könnte bei annähernd gleichen Reifungsbedingungen und/oder gleichem Reifungsverlauf der Grenzwert, an dem vorhandene Carotinoide sichtbar werden, erst später erreicht werden.

- Unterschiedliche Carotinoide oder Gehalte an Carotinoiden in der Schale
 - Carotinoide dienen dem Schutz des Chlorophylls. Durch einen erhöhten Gehalt an Carotinoiden könnte der Abbau stärker behindert sein, was sich in Folge in einem zeitlich verzögertem Chlorophyllabbau bemerkbar machen würde. Es wäre auch denkbar, dass die Schutzfunktionen verschiedener Carotinoide unterschiedlich ausgeprägt sind.

6.1.5. Vergleich aller untersuchten Bananenmarken

Für den Vergleich der Farbentwicklung aller Marken - Marke „Bajella“, Marke „Banacol“ und Marke „Gourmetbanane“ – konnte lediglich ein vergleichsweise kleiner Gesamt-Stichprobenumfang von 320 Proben zu Grunde gelegt werden. Ursächlich hierfür verantwortlich war die geringe Anzahl der untersuchten Gourmetbananen. Das vorliegende Datenmaterial für die Marken „Bajella“ und „Banacol“ wurde dementsprechend mittels generierter Zufallszahlen auf einen Umfang von 64 Proben/Tag reduziert. Als Vergleichszeitraum wurden die Untersuchungstage vom Angleichungstag bis zum 4. Tag nach der Ethylenbehandlung definiert. Der durchgeführte Vergleich diente der Detektierbarkeit von Differenzen in der Farbentwicklung und der Aufdeckung möglicher verursachender Faktoren.

Die vergleichende Betrachtung erfolge an Hand

- tabellarisch dargestellter statistischer Kennzahlen,
- grafisch dargestellte Entwicklung der Farbmaßzahlen und Mittelwerte (95% Konfidenzintervall) - Boxplots, Fehlerbalken, Liniendiagramm –

- Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit von Entwicklungsverläufen wurden die mittleren Farbdifferenzwerte im Liniendiagramm parallel zu einem imaginären Toleranzbereich (Mittel +/- s) dargestellt. Zur Bildung des Toleranzbereiches wurden die entsprechenden Kennzahlen für die Bananen der Marke „Banacol“ verwendet, da hier der Reifungsablauf optimaler gestaltet war. Das heißt, die Temperaturangleichung erfolgte direkt im Anschluss an die Anlieferung.
- grafischer Darstellung der Farbdifferenzwerte im dreidimensionalen Farbraum (siehe Anhang)

Die zur Darstellung der statistischen Kennzahlen benutzten Bezeichnungen in den Tabellen 32 – 34 haben folgende Bedeutung:

Mittel	➤	Arithmetischer Mittelwert	s	➤	Standardabweichung
SEM	➤	Standardfehler des Mittelwertes	v	➤	Variationskoeffizient

An Hand der in Abbildung 54 grafisch dargestellten Entwicklung der Farbmaßzahlen für die drei untersuchten Bananenmarken kann vermutet werden, dass die Bananen der Marke „Gourmetbanane“ eine deutlich abweichende Farbentwicklung aufweisen. Die Differenzen sind besonders für die Farbmaßzahlen L^* , a^* und h° klar zu erkennen.

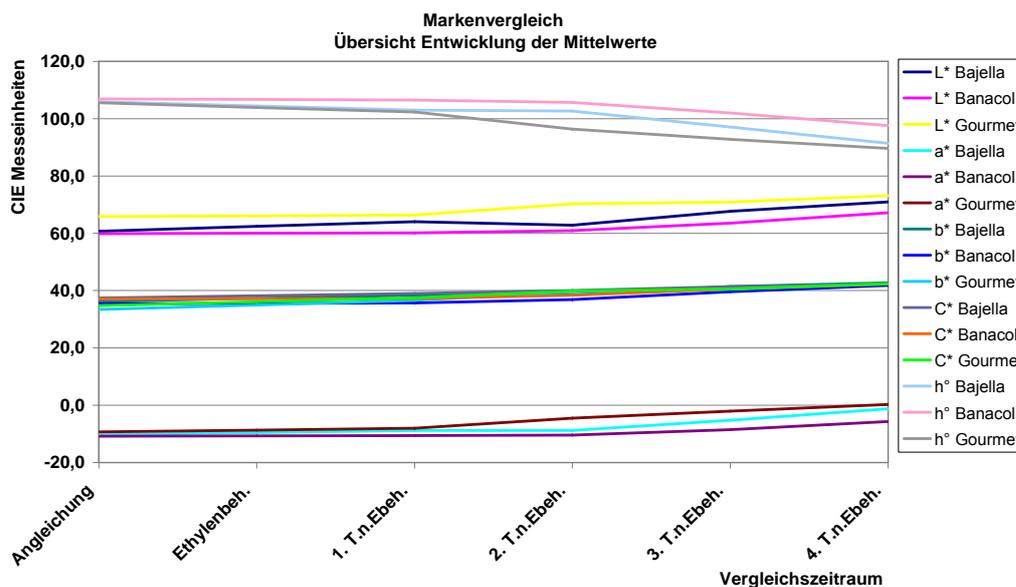


Abbildung 54: Markenvergleich – Übersicht der Entwicklung der Farbmaßzahlen

Zur Überprüfung der vermuteten Differenzen in der Farbentwicklung erfolgte die vergleichende Betrachtung der Farbabstandswerte DE_{cmc} (2:1). Diese sind Tabelle 32 zu entnehmen.

Tabelle 32: Markenvergleich – Veränderungen von Farbabstand DEcmc (2:1)

Vergleichs- zeitraum	N = 64	DEcmc (2:1) Bajella	DEcmc (2:1) Banacol	DEcmc (2:1) Gourmet
Angleichung	Mittel	2,4	3,0	2,3
	SEM	0,2	0,2	0,2
	s	1,3	1,2	1,5
	v	0,56	0,41	0,64
1. T.n.Eb.	Mittel	3,9	2,8	3,4
	SEM	0,2	0,2	0,2
	s	1,6	1,4	1,4
	v	0,41	0,49	0,41
2. T.n.Eb.	Mittel	3,8	2,6	6,5
	SEM	0,2	0,1	0,2
	s	1,8	1,2	1,4
	v	0,47	0,45	0,22
3. T.n.Eb.	Mittel	6,9	2,2	8,0
	SEM	0,3	0,1	0,2
	s	2,4	1,1	1,6
	v	0,35	0,50	0,20
4. T.n.Eb.	Mittel	9,7	3,7	10,0
	SEM	0,2	0,2	0,2
	s	1,8	1,8	1,9
	v	0,18	0,48	0,19

Durch die Gegenüberstellung des ausgewerteten Datenmaterials konnten folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- Am Angleichungstag wiesen die berechneten Farbabstände und Streuungsmaße der verschiedenen Marken nur geringe Unterschiede auf.
- Die Bananen der Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ zeigten eine ähnliche Farbentwicklung.
 - Direkt im Anschluss an die Ethylenbehandlung wurde für die Bananen der Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ eine beginnende Farbveränderung detektiert, die für die „Gourmetbananen“ deutlich stärker ausgeprägt war. Im weiteren Reifungsverlauf setzte sich diese Entwicklung fort - die Farbabstandswerte der „Gourmetbananen“ stiegen dabei stärker an als bei den Bananen der Marke „Bajella“. Zum Ende des Vergleichszeitraums (4.T.n.Eb.) wiesen die Bananen beider Marken eine nahezu gleich stark ausgeprägte Farbveränderung im Bezug zum Angleichungstag auf.
- Für die Bananen der Marke „Banacol“ wurde eine deutlich differente Farbentwicklung detektiert.
 - erste nennenswerte Veränderungen der Farbabstandswerte der „Banacol“-Bananen konnten erst am dritten Tag nach der Ethylenbehandlung festgestellt werden. Am letzten Tag des Vergleichszeitraumes war der Farbabstandswert um 6 Messeinheiten (ca. 60%) geringer als bei den beiden anderen Marken.

- Es wurden Differenzen im Streuungsverhalten der Daten aufgedeckt.
 - Die Bananen der Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ zeigten im Verlauf der fortschreitenden Reifung einen Rückgang der Streuung. Bei den Bananen der Marke „Banacol“ kam es hingegen zu einem Anstieg der Streuungsmaße.

In Abbildung 55 ist die Entwicklung der Farbabstände grafisch dargestellt. Durch die parallele Darstellung des imaginären Toleranzbereiches für die Marke „Banacol“ wird klar erkennbar, dass die Schalenfarben der untersuchten Bananenmarken nach dem dritten Untersuchungstag (2.T.n.Eb.) nicht mehr vergleichbar waren.

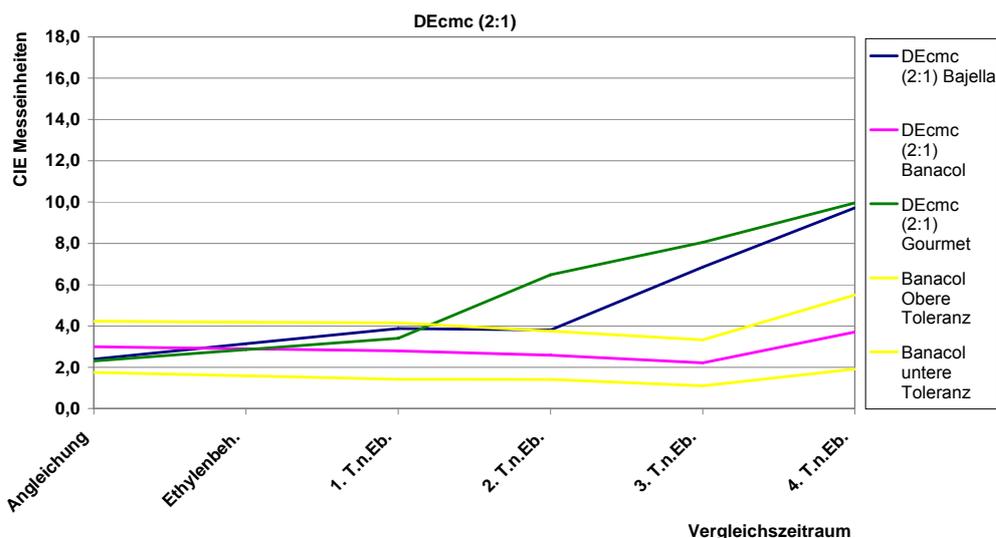


Abbildung 55: Markenvergleich - Entwicklung von DEcmc (2:1)

Um die Ursachen für die in der Übersicht erkennbaren Differenzen aufzudecken, wurden die einzelnen Farbmaßzahlen nachfolgend detailliert betrachtet. Die entsprechenden statistischen Kennzahlen wurden tabellarisch und grafisch dargestellt. Sie sind, soweit in der folgenden Ausführung nicht dargestellt, im Anhang unter A20 bis A27 / Tabellen A17 - A19 ersichtlich.

Die übergreifende Betrachtung der einzelnen Farbmaßzahlen ergab, dass die abweichende Farbentwicklung hauptsächlich durch den different ausgeprägten Chlorophyllabbau (detektiert über a^* - Wert) zu Beginn des Vergleichszeitraumes verursacht wurde. Die entsprechenden statistischen Kennzahlen der jeweiligen Bananenmarken sind in Tabelle 33 gegenübergestellt.

Bei vergleichbaren Streuungswerten zeigten die „Gourmetbananen“ bereits am Angleichungstag einen reduzierten Chlorophyllgehalt in der Schale (größerer a^*). Am ersten Tag nach der Ethylenbehandlung wurde eine ähnliche Entwicklung der Farbmaßzahl und der Streuung zwischen den den Bananen der Marken „Gourmetbanane“ und „Bajella“ festgestellt. Die Bananen der Marke „Banacol“ wiesen zu diesem Zeitpunkt noch nahezu unveränderte Werte auf.

- Bereits am darauf folgenden Untersuchungstag (2.T.n.Eb.) konnten eindeutige Differenzen im Entwicklungsverlauf verzeichnet werden.
 - Während die Bananen der Marken „Bajella“ und „Banacol“ weiterhin auf nahezu unverändertem Niveau verblieben, wurden bei den „Gourmetbananen“ ein deutlich gesteigerter Chlorophyllabbau bestimmt (detektiert als a^*). Im Vergleich zu den Bananen der Marke „Bajella“ konnte eine fast doppelt so hohe Abbaurrate und Steigerung der Streuung festgestellt werden. Dieser Entwicklungsverlauf setzte sich bis zum Ende des Vergleichszeitraumes fort, wobei sich bei den „Gourmetbananen“ am letzten Untersuchungstag ein unverhältnismäßig großer Streuungsanstieg zeigte.
- Für die Bananen der Marke „Banacol“ wurde im Vergleich ein deutlich geringerer Anstieg der Farbmaßzahl a^* und der Streuungswerte detektiert.

Die differente Entwicklung des Chlorophyllabbaus (detektiert als a^*) für die drei untersuchten Bananenmarken ist in Abbildung 56 grafisch dargestellt.

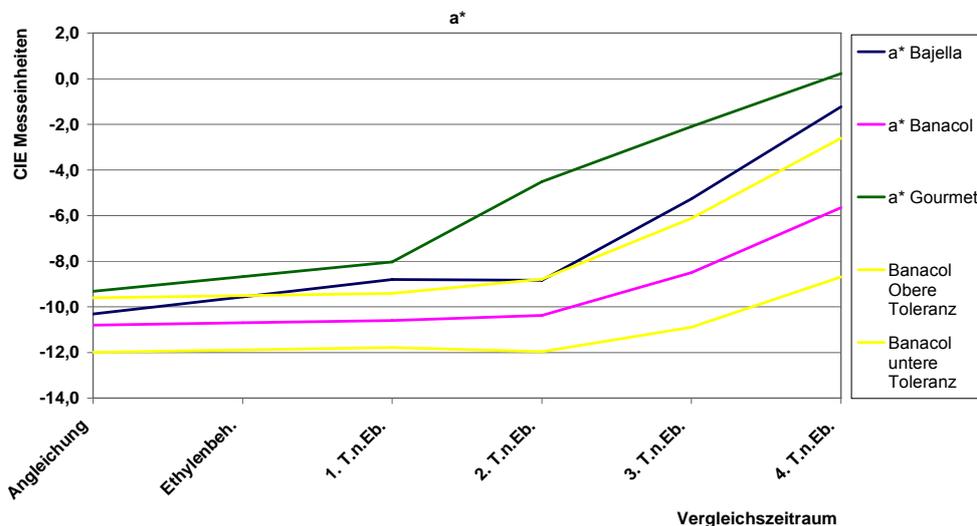


Abbildung 56: Markenvergleich – Entwicklungen von a^*

Bedingt durch den differenten Chlorophyllabbau kam es in Folge zu einer unterschiedlichen Entwicklung der anderen Farbmaßzahlen. Besonders deutlich wirkte sich dies auf die Entwicklung der Helligkeit und des Bunttonwinkels aus.

Die aufgetretenen Veränderungen hinsichtlich der Helligkeit (L^*) sind nachfolgend beschrieben. Die statistischen Kennzahlen sind entsprechend in Tabelle 33 dargestellt.

- Für die „Gourmetbananen“ wurde bereits am Angleichungstag eine deutlich hellere Farbe detektiert als bei den Bananen der Marken „Bajella“ und „Banacol“.
- Am ersten Tag nach der Ethylenbehandlung zeigte sich eine ähnliche Entwicklung der Farbmaßzahl und der Streuung bei den Bananen der Marken „Gourmetbanane“ und „Bajella“. Bei beiden Bananenmarken wurde ein Anstieg der Helligkeit bei gleichzeitigem Rückgang der Streuung beobachtet. Im direkten Vergleich war jedoch der Anstieg der Farbmaßzahl bei den „Bajella“ - Bananen und der Rückgang der Streuung bei den „Gourmetbananen“ stärker ausgeprägt.

- Die Bananen der Marke „Banacol“ hingegen wiesen zu diesem Zeitpunkt keine nennenswerten Veränderungen der Helligkeit auf.

Tabelle 33: Markenvergleich – Veränderungen von L*

Vergleichs- zeitraum	N = 64	L* Bajella	L* Banacol	L* Gourmet
Angleichung	Mittel	60,7	59,9	65,8
	SEM	0,6	0,5	0,6
	s	4,7	3,8	5,1
	v	0,08	0,06	0,08
1. T.n.Eb.	Mittel	64,1	60,1	66,4
	SEM	0,6	0,5	0,5
	s	4,4	3,9	3,8
	v	0,07	0,07	0,06
2. T.n.Eb.	Mittel	62,8	61,0	70,3
	SEM	0,5	0,5	0,4
	s	4,4	4,3	3,4
	v	0,07	0,07	0,05
3. T.n.Eb.	Mittel	67,7	63,6	70,9
	SEM	0,6	0,5	0,5
	s	4,5	4,0	3,7
	v	0,07	0,06	0,05
4. T.n.Eb.	Mittel	71,0	67,2	73,1
	SEM	0,5	0,5	0,4
	s	3,8	4,3	2,9
	v	0,05	0,06	0,04

Bereits am folgenden Untersuchungstag (2.T.n.Eb.) wurden eindeutige Differenzen im Entwicklungsverlauf festgestellt. Während bei den Bananen der Marke „Bajella“ ein leichter Rückgang und bei den Bananen der Marke „Banacol“ ein leichter Anstieg der Helligkeit (L*) detektiert wurde, zeigte sich bei den „Gourmetbananen“ ein deutlich gesteigerter Helligkeitswert. Für die Cavendish – Bananen traten eindeutige Helligkeitsänderungen erst einen Tag später (3. T.n.Eb) auf und setzten sich stetig bis zum Ende des Vergleichsraumes fort. Bei den „Gourmetbananen“ hingegen zeigte sich erst am letzten Untersuchungstag ein weiterer Anstieg der Helligkeit bei gleichzeitig reduzierter Streuung.

Die differentiellen Entwicklungsverläufe hinsichtlich der Helligkeit der Schalenfarbe sind in Abbildung 57 grafisch dargestellt.

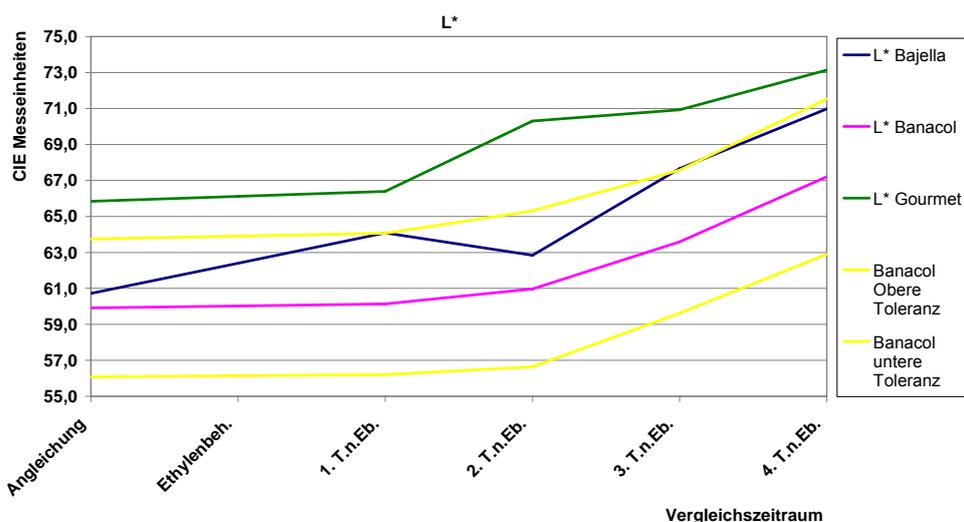


Abbildung 57: Markenvergleich – Entwicklung von L*

An Hand der grafischen Darstellung der Entwicklung der Helligkeit im Vergleichszeitraum konnten folgende Auffälligkeiten festgestellt werden:

- besonders in dem Zeitraum zwischen dem ersten und dritten Tag nach der Ethylenbehandlung zeigte sich eine deutlich differente Entwicklung.
- die „Gourmetbananen“ zeigten anfänglich eine ähnlich gleichmäßige, aber auf einem höherem Niveau angesiedelte Entwicklung wie die Bananen der Marke „Banacol“.
- bei den Bananen der Marke „Bajella“ war ein wesentlich steilerer Anstieg der Helligkeit zu verzeichnen.
- bei den Bananen der Marke „Banacol“ wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt deutlich geringer ausgeprägte Veränderungen der Helligkeit detektiert. Die Entwicklung der Helligkeit verlief bei den Bananen der Marke „Banacol“ eindeutig gleichmäßiger als bei den beiden anderen Marken.

Die registrierten Veränderungen der Gelbanteile der Farbe (b^*) und der Farbintensität (C^*) sind nachfolgend aufgeführt. Die für die Entwicklung der Farbmaßzahlen relevanten statistischen Kennzahlen wurden in den Tabellen A17 und A18 (Anhang) gegenübergestellt.

Aus den Tabellen ist zu ersehen, dass die beiden Farbmaßzahlen für die untersuchten Bananenmarken einen annähernd gleichen Entwicklungsverlauf aufwiesen. Folgende Differenzen konnten aufgedeckt werden:

- für die „Gourmetbananen“ wurde am Angleichungstag ein wahrnehmbar geringerer Gelbanteil der Farbe (b^*) und eine geringere Farbintensität (C^*) detektiert als für die Cavendish-Bananen.
- Bei annähernd gleicher Streuung zeigte sich bei den „Gourmetbananen“ bereits am ersten Tag nach der Ethylenbehandlung ein größerer Anstieg der beiden Farbmaßzahlen und der Streuung.
- In den folgenden Untersuchungstagen kam es zu einer Angleichung der wertmäßigen Ausprägung der Gelbanteile der Farbe und der Farbintensität zwischen den untersuchten Marken.
- Bei den Bananen der Cavendish-Untergruppe wurde für beide Farbmaßzahlen ein Anstieg der Farbmaßzahlen und der Streuung bis zum Ende des Vergleichszeitraumes registriert.
 - die untersuchten Bananen der Marke „Bajella“ wiesen für beide Farbmaßzahlen jeweils höhere Ausgangswerte und einen anfänglich stärker ausgeprägten Anstieg auf als die untersuchten Bananen der Marke „Banacol“.
- Im Vergleich stiegen die Streuungswerte der „Gourmetbananen“ nur bis zum dritten Tag nach der Ethylenbehandlung an und reduzierten sich anschließend.

In den Abbildungen 22 und 25 (Anhang) ist die Entwicklung der Farbmaßzahlen grafisch dargestellt.

Die genannten Abweichungen in den Entwicklungsverläufen der anderen Farbmaßzahlen führten zu der in Abbildung 58 grafisch dargestellten, deutlich abweichenden Buntton-Entwicklung der Schalenfarben.

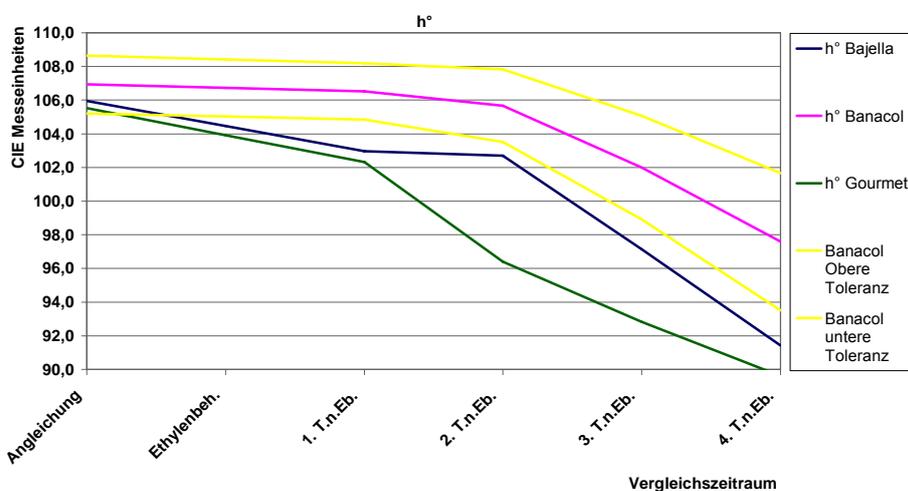


Abbildung 58: Markenvergleich – Entwicklungen des h°-Wertes

In der Abbildung ist zu erkennen, dass sich die Bunttonwinkel aller drei Marken unterschiedlich entwickelten. Zusammenfassend kann das ausgewertete Datenmaterial folgendermaßen interpretiert werden:

- der Buntton der Schalenfarbe der Bananen der Marke „Banacol“ veränderte sich eindeutig langsamer und auf höherem Niveau als bei den beiden anderen Bananenmarken
- die „Gourmetbananen“ zeigten ab dem ersten Tag nach der Ethylenbehandlung eine deutlich differente Bunttonentwicklung
 - bis zu diesem Zeitpunkt war die Entwicklung der Bananen der Marke „Bajella“ auf etwas erhöhtem Niveau vergleichbar
- die Bananen der Marken „Bajella“ und „Banacol“ – beide der Cavendish-Untergruppe zuzuordnen – zeigten ab dem ersten Tag nach der Ethylenbehandlung einen vergleichbaren Verlauf der Bunttonentwicklung.
 - dieser lief jedoch für die „Bajella“- Bananen auf Grund des anfänglich differenten, stärker abfallenden Bunttonwinkels auf einem deutlich geringerem Niveau ab.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Zusammenhangsanalyse zwischen den einzelnen Farbmaßzahlen der untersuchten Bananenmarken aufgeführt. Wie aus Tabelle A19 (Anhang) ersichtlich ist,

- wurden für die Bananen der Marke „Bajella“ deutlich differente Zusammenhänge ermittelt
 - zwischen der Farbintensität (C*) und der Helligkeit (L*) sowie den Grünanteilen der Farbe (a*) wurden nur geringe, nicht signifikante Zusammenhänge ermittelt.

- zwischen den Gelbanteilen der Farbe (b^*) und der Buntheit/Farbintensität (C^*)
 - Für die Farbentwicklung der Bananen der Marken „Banacol“ und „Gourmetbanane“ wurde ein mehr als doppelt so großer statistischer Zusammenhang zwischen den beiden Farbmaßzahlen ermittelt.
- zwischen der Buntheit/Farbintensität (C^*) und dem Bunttonwinkel (h°)
 - Für die Farbentwicklung der Bananen der Marken „Banacol“ und „Gourmetbananen“ wurde ein mehr als dreimal so großer statistischer Zusammenhang zwischen den beiden Farbmaßzahlen ermittelt.

Hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen den anderen Farbmaßzahlen wurden Ähnlichkeiten festgestellt, die nachfolgend zusammengefasst sind:

- Bei allen drei untersuchten Bananenmarken
 - wurden große Zusammenhänge ermittelt zwischen dem Buntton (h°) und den Grünanteilen der Farbe (a^*) sowie der Helligkeit (L^*).
 - wurden deutlich geringere Zusammenhänge ermittelt zwischen dem Buntton (h°) und den Gelbanteilen der Farbe (b^*) sowie der Farbintensität (C^*).
 - wurden vergleichbare, mittlere Korrelationen zwischen den a^* -, L^* - und b^* - Werten ermittelt.
- Die Farbmaßzahlen der Marken „Banacol“ und „Gourmetbanane“ zeigten
 - gleichzeitig sehr starke Korrelationen zwischen den Gelbanteilen (b^*) der Farbe und der Farbintensität (C^*).
 - mittlere Korrelationen zwischen den a^* -, L^* - und C^* - Werten.
- für die Bananen der Marke „Gourmetbanane“ wurde ein geringerer Zusammenhang ermittelt zwischen der Helligkeit (L^*) und den Grünanteilen der Farbe (a^*) als bei den Bananen der Cavendish-Untergruppe.

Die Kreuzkorrelationen zwischen den einzelnen Farbmaßzahlen der untersuchten Bananenmarken sind in Tabelle A20 (Anhang) dargestellt. Aus der vergleichenden Betrachtung ergaben sich annähernd vergleichbar große statistische Zusammenhänge zwischen den Bunttönen (h°), den Grün (a^*) - und Gelbanteilen (b^*) der Farbe. Zwischen den anderen Farbmaßzahlen wurden nur mittlere Zusammenhänge ermittelt.

6.2. Differenzierung

6.2.1. Grundlagen der Differenzierung

Die Beschreibung des Reifegrades von Bananen erfolgt in der Praxis meist durch Zuordnung eines Farbgrades, der durch visuellen Abgleich der Schalenfarbe einzelner Bananencluster oder ganzer Bananenkartons gegen einen Farbchart bestimmt.

Die Überprüfung der Differenzierbarkeit der Schalenfarbe im fortschreitenden Reifungsverlauf erfolgte an Hand entsprechend klassierter Farbmaßzahlen visuell bewerteter

Bananencluster. Durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman wurden statistische Zusammenhänge zwischen den berechneten Farbmaßzahlen, den unterschiedlich berechneten Farbabständen und den visuellen Bewertungen bzw. Rangzuordnungen der Reifemeister ermittelt.

Hierzu wurden parallel die ermittelten Farbmaßzahlen aller untersuchten Bananenmarken genutzt, um Schlussfolgerungen hinsichtlich einer markenübergreifenden Anwendbarkeit ziehen zu können. Die Ergebnisse der Korrelationsberechnungen zwischen den Farbrangzuordnungen und den Farbmaßzahlen der Bananenmarken wurden genutzt zur Ermittlung möglicher markenspezifischer Differenzen im Zusammenhang mit der Differenzierungseignung einzelner Farbmaßzahlen. Die ermittelten statistischen Zusammenhänge zwischen den visuell ermittelten Farbrangzuordnungen und den unterschiedlich berechneten Farbabständen dienen der Eignungsabschtzung der verschiedenen Farbabstndsformeln zur Differenzierung der Schalenfarbe. Zur Überprüfung der untersuchten Bananenmarken standen unterschiedlich viele Bananencluster zur Verfügung. Die genaue Anzahl der für die Berechnungen zur Grunde gelegten Bananencluster wurde jeweils in der Ergebnisdarstellung der einzelnen Marken angegeben. Die originären Daten, die Einzelauswertungen, das klassierte Datenmaterial und weitere Berechnungsgrundlagen stehen digitalisiert unter der Bezeichnung „Berechnungsgrundlagen“ zur Verfügung.

Die in Tabelle 34 dargestellten Ergebnisse zeigen auf, dass alle detektierten Farbmaßzahlen sehr gut mit den visuell bestimmten Rangzuordnungen der einzelnen Bananencluster übereinstimmen.

**Tabelle 34: Markenvergleich Bananencluster
- Korrelationen Farbmaßzahlen und visueller Farbrang**

Korrelationen nach Spearman-Rho			
	Bajella Rang	Banacol Rang	Gourmet Rang
Farbmaßzahlen	N = 76	N = 108	N = 27
L	,93 (**)	,91 (**)	,93 (**)
a	,92 (**)	,92 (**)	,95 (**)
b	,85 (**)	,90 (**)	,90 (**)
C	,83 (**)	,89 (**)	,90 (**)
h°	-,92 (**)	-,93 (**)	-,96 (**)
** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).			

Für alle drei untersuchten Bananenmarken wurden annähernd gleich große Korrelationen zwischen allen Farbmaßzahlen und der Rangzuordnung ermittelt. Die ermittelten stärkeren Korrelationen für die Farbmaßzahlen L*, a* und den Bunttonwinkel (h°) können auf Grund der geringen Differenzausprgung vernachlässigt werden.

Die Ergebnisse der Überprüfung des statistischen Zusammenhangs zwischen den nach unterschiedlichen Formeln berechneten Farbabstndswerten und den visuell ermittelten Rangzuordnungen sind in Tabelle 35 dargestellt.

**Tabelle 35: Markenvergleich Bananencluster
- Korrelationen Farbabstände und visueller Farbrang**

Korrelationen nach Spearman-Rho			
	Bajella Rang	Banacol Rang	Gourmet Rang
Farbabstände	N = 76	N = 108	N = 27
DE* (1)	,94 (**)	,66 (**)	,96 (**)
DE94 (1:1:1)	,90 (**)	,50 (**)	,95 (**)
DE2000 (1:1:1)	,87 (**)	,49 (**)	,95 (**)
Decmc (1:1)	,91 (**)	,55 (**)	,95 (**)
DE94 (2:1:1)	,94 (**)	,60 (**)	,96 (**)
DE2000 (2:1:1)	,93 (**)	,60 (**)	,96 (**)
Decmc (2:1)	,94 (**)	,65 (**)	,96 (**)
DE94 (3:1:1)	,94 (**)	,64 (**)	,96 (**)
DE2000 (3:1:1)	,93 (**)	,64 (**)	,96 (**)
Decmc (3:1)	,94 (**)	,68 (**)	,96 (**)
DE94 (4:1:1)	,93 (**)	,66 (**)	,96 (**)
DE2000 (4:1:1)	,92 (**)	,66 (**)	,96 (**)
Decmc (4:1)	,92 (**)	,69 (**)	,96 (**)
**. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).			

Wie aus dargestellten Daten ersichtlich ist, konnten für die untersuchten Bananenmarken deutliche Unterschiede hinsichtlich des statistischen Zusammenhanges zwischen den berechneten Farbabständen und den visuell bestimmten Farbrangzuordnungen ermittelt werden.

- Für die Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ wurde für alle berechneten Farbabstände, unabhängig von der Helligkeitskorrektur, sehr große Korrelationen mit den visuell vorgenommenen Bewertungen festgestellt.
 - für die „Gourmetbananen“ wurden keine Differenzen zwischen den verwendeten Farbabstandsformeln festgestellt.
 - für die untersuchten Cluster der Marke „Bajella“ konnten hinsichtlich der verwendeten Farbabstandsformeln geringfügige Korrelationsdifferenzen ermittelt werden
 - im Ganzen betrachtet, lagen die ermittelten Werte sehr dicht beieinander – eine Differenzierung hinsichtlich der zur Berechnung verwendeten Farbabstandsformel würde in der praktischen Anwendung keine Vorteile erbringen.
- Für die Marke „Banacol“ hingegen zeigten sich im Vergleich eindeutig abweichende Ergebnisse.
 - aus den dargestellten Daten wird ersichtlich, dass die ermittelten statistischen Zusammenhänge zwischen den berechneten Farbabständen und den visuellen Bewertungen für diese Bananenmarke deutlich geringer waren als für die Marke „Bajella“.

- für die einfach gewichteten Farbabstände – Ausnahme DE* (1) – wurden nur mittlere Korrelationen festgestellt.
- für die mehrfach gewichteten Farbabstände zeigten sich mit berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen 0,60 und 0,69 nur beschränkt große statistische Zusammenhänge.
- im Vergleich der einzelnen Berechnungsformeln scheint die Formel für den Farbabstand DE_{cmc} geringe Vorteile gegenüber den anderen Farbabstandsformeln aufzuweisen.
- bei der Betrachtung der Ergebnisse zeigte sich eine geringe Verbesserung der statistischen Zusammenhänge mit zunehmender Korrektur der Helligkeit.

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist davon auszugehen, dass die zwischen den unterschiedlichen Bananenmarken festgestellten Differenzen hinsichtlich des statistischen Zusammenhangs der Farbabstände und der visuellen Bewertungen durch den Einsatz mehrerer Beobachter verursacht wurde. Während die visuellen Bewertungen der Bananencluster in dem Reifungszentrum Stelle nur größtenteils durch einen - maximal zwei - Reifemeister erfolgten, wurden diese im Reifungszentrum Lübeck täglich von mindestens zwei bis drei Reifemeistern vorgenommen. Im Rahmen der Auswertung ergaben sich jedoch deutliche Bewertungsdifferenzen zwischen den unterschiedlichen Reifungszentren, aber auch zwischen einzelnen Beobachtern. Eine Quantifizierung der Beobachterübereinstimmung für das jeweilige Reifungszentrum konnte nachträglich auf Grund anonymisierter Bewertungsprotokolle nicht durchgeführt werden.

- Die ermittelten Differenzen wurden für die weitere Betrachtung zur Kenntnis genommen, aber nicht bei der Auswahl einer zur Differenzierung geeigneten Farbabstandsformel berücksichtigt.

Bei der Eignungsprüfung der unterschiedlichen Farbabstandsformeln wurden folgende, im Rahmen der Untersuchung gewonnene, Erkenntnisse berücksichtigt:

- die recht große Ausprägung ($4,4 < DE < 6,5$) der mit einfacher Gewichtung berechneten Farbabstände am Anlieferungstag
- die in der Praxis üblichen Abmusterungsbedingungen
 - Hier werden bestenfalls einzelne Bananencluster bzw. der Inhalt eines/mehrerer Kartons gegen Erfahrungswerte oder ein Printmedium (Farbchart) unter Normlicht abgeglichen. Bedingt durch die unterschiedliche Größe und Form der „Vergleichsproben“ kann es dabei zu unterschiedlichen, jedoch deutlich größeren Abständen zwischen den Proben kommen, als dies bei der Abmusterung von z.B. Lack- oder Textilproben der Fall ist. Aus diesem Grund war davon auszugehen, dass eine Gewichtung bzw. Korrektur der Helligkeit bei der Berechnung von Farbabständen für die Differenzierung von Bananenschalenfarben auf jeden Fall größer als „Faktor 1“ gewählt werden sollte.

- Aus den vorliegenden Ergebnissen der Zusammenhangsanalyse der unterschiedlich berechneten Farbabstände wurde deutlich, dass durch die Verwendung differenter Korrekturfaktoren bei der Berechnung von Farbabständen nur geringe Ausprägungsdifferenzen verursacht werden. Derart geringe Farbabstandsdifferenzen sind visuell nicht zu differenzieren. Bereits kleine Abweichungen in der Abmusterungsgenauigkeit können größere Farbunterschiede verursachen, als sie durch die Verwendung von unterschiedlichen Berechnungsformeln zur Bestimmung des Farbabstandes auftraten (Berger-Schunn, A., 1994, S. 63).
- ↪ Alle überprüften Farbabstände konnten die Ergebnisse der visuellen Bewertung der Bananencluster sehr gut darstellen

Zur Auswahl einer geeigneten Berechnungsformel zur Farbdifferenzierung wurden dementsprechend folgende Überlegungen zu Grunde gelegt:

- Der nach $DE^*(1)$ berechnete Farbabstand zeigte im Vergleich die stärkste Datenstreuung. Zusammen mit den vorab durchgeführte Überlegungen hinsichtlich des Abmusterungsabstandes der Bananen führte dieser Umstand zum Ausschluss des $DE^*(1)$ als geeignete Differenzierungs-Maßzahl.
- Die nach Formeln mit Helligkeit – Gewichtungsfaktoren von 3 und 4 berechneten Farbabstände zeigten gegenüber den mit doppelter Gewichtung berechneten Farbabständen keine eindeutigen Korrelationsdifferenzen. Gemeinsam mit der Überlegung, dass zu ihrer Anwendung keinerlei Hinweise in der Fachliteratur zu finden waren, wurden sie von der weiteren Verwendung ausgeschlossen.
- Von den verbliebenen Farbabständen zeigt der DE_{cmc} gegenüber den anderen Farbabständen geringe Vorteile sowie eine etwas geringere Streuung der Daten. Diese Erkenntnisse sowie ausreichend vorhandene Literatur zu positiven Anwendungserfahrungen aus anderen Bereichen führte zur Bevorzugung der Farbabstandsformel $DE_{cmc} (2:1)$ als Differenzierungsmaß auftretender Farbveränderungen von Bananenschalen im fortschreitenden Reifungsverlauf.

Neben der Differenzierung auftretender Farbveränderungen durch Berechnung und Vergleich von Farbabständen besteht auch die Möglichkeit die ermittelten Farbmaßzahlen zur Differenzierung zu nutzen. Die Schaffung einer diesbezüglichen Differenzierungsalternative hätte den Vorteil, dass die Richtung der auftretenden Farbdifferenz gegebenenfalls abgeschätzt werden könnte. Zur Auswahl einer geeigneten Farbmaßzahl wurden die Ergebnisse der ermittelten Korrelationen zusammengefasst. Hieraus ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Die drei Farbmaßzahlen – L^* , a^* und h° - sind relevant für die stattfindenden Farbveränderungen im Reifungsverlauf von Bananen.
 - sie zeigen die beste Übereinstimmung mit den visuell bestimmten Rangzuordnungen.

- die im Verlauf der fortschreitenden Reifung eintretende Farbveränderung der Schalenfarbe wird am besten durch Veränderungen des Bunttons (detektiert als Bunttonwinkel h°) beschrieben.
- Veränderungen des Bunttonwinkels werden im Wesentlichen durch Veränderungen des a^* -Wertes und des L^* -Wertes beeinflusst.
- die Korrelationen zwischen dem a^* - und h° -Wert waren dabei deutlich höher ausgeprägt als die des L^* - und h° -Wertes.

Zur besseren Veranschaulichung sind die Ergebnisse der jeweils markenspezifisch durchgeführten Zusammenhangsanalysen in den Tabellen A21 – A24 (Anhang) zusammengefasst.

Bei der Betrachtung der ermittelten Korrelationen ist zu beachten, dass die für die Marke „Gourmetbanane“ ermittelten Korrelationen nicht signifikant sind.

Zur Differenzierung der im Reifungsverlauf aufgetretenen Farbveränderungen wurden die entsprechend Rangzuordnung klassierten Farbmaßzahlen und Farbabstandswerte wieder in Farbchart – entsprechende Reifegrade / Farbgrade zurück transformiert (vgl. Kap. 5.2.2 – Ermittlung der visuellen Reifegrade) Tabelle 36 gibt Aufschluss über die Zuordnung.

Tabelle 36: Zuordnung Farbhang – Reifegrad entsprechend Farbchart

Rangskala	Reifegrad/Farbgrad laut Farbchart (Dole)
1	< 2
2	2
3	
4	
5	3
6	
7	
8	4
9	
10	
11	5
12	
13	
14	6
15	
16	
17	7

Zur Überprüfung der Differenzierbarkeit wurden für die einzelnen Farbmaßzahlen jeweils Akzeptanzbereiche von Mittelwert +/- Standardabweichung (1 s) erstellt. Durch Ermittlung und Auswertung von auftretendem Überschneidungspotential der Akzeptanzbereiche konnten Erkenntnisse hinsichtlich der Differenzierbarkeit gewonnen werden. Die statistische Absicherung wird dabei begrenzt durch die vorliegende Anzahl an Ergebnissen des geringsten Stichprobenumfangs. Optimale Stichprobenumfänge zur statistischen Absicherung der Effektstärke können entsprechenden Tabellen entnommen werden (vgl. Bortz, J., Döring, J., 2006, S.628f).

6.2.2. Differenzierung Bananencluster Marke „Bajella“

In Tabelle 37 sind die durch Rücktransformation erhaltenen Ergebnisse der Reifegrad-Zuordnung für die untersuchten Cluster der Marke „Bajella“ dargestellt. Da zur statistischen Absicherung eine ausreichende Anzahl an untersuchten Proben vorliegen sollte, wurden zur Auswertung lediglich die Farbdaten der Reifegrade 2 – 4 genutzt.

Tabelle 37: Marke „Bajella“ – Reifegrad-Zuordnungen Bananencluster

Bajella - Reifegradzuordnung der Farbmaßzahlen								
n	Reife grad		L*	a*	b*	C*	h°	DEcmc (2:1)
31	2	Mittelwert	58,9	-9,8	35,5	37,0	105,6	3,1
		Stabw	4,2	1,3	2,8	2,5	3,0	0,8
		Akzeptanzbereich	54,7- 63,1	-11,1 bis - 8,6	32,7 - 38,4	34,5 - 39,5	108,6 - 102,6	2,4 - 3,9
21	3	Mittelwert	65,5	-7,6	39,5	40,4	100,8	5,0
		Stabw	2,3	1,8	1,6	1,4	2,8	1,5
		Akzeptanzbereich	63,2 - 67,8	- 9,3 bis - 5,8	37,9 - 41,2	39,0 - 41,8	103,6 - 98,1	3,5 - 6,5
22	4	Mittelwert	69,1	-3,4	41,9	42,2	94,6	8,2
		Stabw	2,4	2,6	1,8	1,6	3,8	1,9
		Akzeptanzbereich	66,7 - 71,4	- 6,0 bis - 0,8	40,1 - 43,7	40,6 - 43,8	98,4 - 90,8	6,3 - 10,1
2	5 -	Mittelwert	73,2	0,2	41,1	41,2	89,5	10,6
		Stabw	1,2	0,7	1,3	1,3	1,1	0,4
		Akzeptanzbereich	72,0 - 74,4	- 0,5 bis 0,9	39,8 - 42,4	39,9 - 42,5	90,6 - 88,4	10,2 - 11,1

Durch den Vergleich der Akzeptanzbereiche für die Farbmaßzahlen und die Reifegrade wurde festgestellt, dass der DEcmc (2:1) im Rahmen der durchgeführten Untersuchung gut zur Differenzierung der Reifegrade geeignet war. Die Zuordnung der Daten ergab geringe Überschneidungen zu Reifungsbeginn, also im Übergang von Reifegrad 2 zu Reifegrad 3 (0,4ME) sowie im weiteren Reifungsverlauf beim Übergang von Reifegrad 3 zu Reifegrad 4 (0,2 ME). Derart geringe Farbabstandsdifferenzen sind visuell nicht zu differenzieren, da bei hoch gesättigten, wie z.B. gelben Farben die Wahrnehmungsgrenzen von Farbunterschieden grundsätzlich höher als bei ungesättigten und grauen Farben sowie bei anderen Bunttönen sind (Berger-Schunn, A., S. 57). Beim Vergleich des Differenzierungspotentials des a*- und des h°- Wertes zeigte der Buntton (h°) mit Werten von 1,0 / 0,2 ME etwas größere Überschneidungen des Akzeptanzbereiches als der a* -Wert (0,7 ME / 0,2 ME) in den Grenzbereichen von Reifegrad 2 zu 3 bzw. Reifegrad 3 zu 4.

Die bestimmten Ergebnisse können jedoch nur auf die überprüften Reifegrade der Marke Bajella bezogen werden, da zu höheren Reifegraden nicht ausreichend Untersuchungsmaterial zur Verfügung stand. Eine pauschale Aussage zur Differenzierungseignung über den ganzen Reifungszyklus kann an Hand der vorliegenden Ergebnisse nicht getroffen werden. Erst wenn eine genügend große Anzahl an Referenzwerten über alle Reifegrade (Farbgrade) zur markenspezifischen Standardbildung zur Verfügung stehen, könnte der DEcmc 2-1-1 zur Farbdifferenzierung genutzt werden

6.2.3. Differenzierung Bananencluster Marke „Banacol“

In Tabelle 38 sind die durch Rücktransformation erhaltenen Ergebnisse der Reifegrad-Zuordnung für die untersuchten Cluster der Marke „Banacol“ dargestellt. Zur Auswertung wurden die Farbdaten der Reifegrade 2 – 6 genutzt.

Tabelle 38: Marke „Banacol“– Reifegrad-Zuordnungen Bananencluster

Marke „Banacol“ - Reifegradzuordnung der Farbmaßzahlen								
n	Reife grad		L*	a*	b*	C*	h°	Decmc (2:1:1)
1	1	Mittelwert	58,1	-11,3	35,6	37,4	107,6	3,6
		Stabw						
		Akzeptanzbereich						
13	2	Mittelwert	59,8	-10,8	35,4	37,0	107,0	3,0
		Stabw	1,4	0,5	0,47	0,5	0,7	0,5
		Akzeptanzbereich	58,4 - 61,3	- 11,3 bis -10,4	34,9 - 35,9	36,6 - 37,5	107,7 - 106,3	2,5 - 3,5
41	3	Mittelwert	61,2	-10,1	37,3	38,7	105,2	2,6
		Stabw	1,8	1,0	1,7	1,5	1,8	0,4
		Akzeptanzbereich	59,5 - 63,0	- 11,1 bis - 9,2	35,6 - 39,0	37,2 - 40,2	107,0 - 103,4	2,2 - 3,0
24	4	Mittelwert	66,1	-6,5	41,9	42,5	98,9	3,3
		Stabw	2,1	1,6	2,0	1,8	2,4	1,1
		Akzeptanzbereich	64,0 - 68,3	- 8,1 bis - 4,9	39,9 - 43,8	40,7 - 44,3	101,3 - 96,5	2,2 - 4,4
18	5	Mittelwert	69,9	-2,2	44,6	44,84	92,9	6,3
		Stabw	2,0	2,4	2,5	2,4	3,1	1,7
		Akzeptanzbereich	68,0 - 71,9	- 4,6 bis 0,1	42,1 - 47,1	42,4 - 47,3	95,9 - 89,8	4,6 - 8,0
11	6	Mittelwert	73,5	2,3	48,1	48,2	87,3	9,8
		Stabw	0,8	1,1	1,3	1,3	1,3	0,6
		Akzeptanzbereich	72,7 - 74,3	1,1 - 3,4	46,9 - 49,9	47,0 - 49,5	88,6 - 85,9	9,2 - 10,4

Aus den in Tabelle 38 dargestellten Ergebnissen geht hervor, dass der Farbabstand DEcmc (2:1) zur Differenzierung der visuell wahrgenommenen Farbdifferenzen von Bananen der Marke „Banacol“ nicht geeignet war. Obwohl die untersuchten Bananencluster im Verlauf des Untersuchungszeitraumes mit unterschiedlichen Reifegraden bewertet wurden, konnten für den berechneten Farbabstand im Rahmen der Auswertung keine Unterschiede zwischen den Reifegraden 1 bis 4 ermittelt werden. Auch der Vergleich der Akzeptanzbereiche der a*- und h°- Werte zeigte zwischen den Reifegraden 1 und 3 kein Differenzierungspotential. Der Vergleich der Daten ergab jeweils deutliche, teilweise vollständige Überschneidungen. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sich die untersuchten Bananencluster der Marke „Banacol“ erst nach Erreichen des visuell bestimmten Reifegrades 4 durch instrumentell ermittelte Farbmaßzahlen differenzieren lassen.

6.2.4. Differenzierung Bananencluster Marke „Gourmetbanane“

In Tabelle 39 sind die durch Rücktransformation erhaltenen Ergebnisse der Reifegrad-Zuordnung für die untersuchten Cluster der Marke „Gourmetbanane“ dargestellt.

Auf Grund des deutlich kleineren Stichprobenumfangs können die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse nicht als repräsentativ angesehen werden. Die Interpretation und der Vergleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen der Cavendish - Bananen sollten deshalb nur als informativer Hinweis aufgefasst werden. Zur Auswertung und Interpretation wurden die Farbdaten der Reifegrade 2 – 4 genutzt.

Tabelle 39: Marke „Gourmetbanane“ – Reifegrad-Zuordnungen Bananencluster

Marke „Gourmetbanane“ - Reifegradzuordnung der Farbmaßzahlen								
n	Reife grad		L*	a*	b*	C*	h°	Decmc (2:1)
9	2	Mittelwert	64,7	-8,4	34,6	35,8	103,9	3,3
		Stabw	4,3	2,7	2,8	2,3	5,0	1,9
		Akzeptanzbereich	60,3 - 69,0	-11,8 bis - 5,8	31,8 - 37,5	33,5 - 38,1	108,9 - 98,9	1,4 - 5,3
7	3	Mittelwert	69,0	-5,6	38,8	39,3	98,1	5,6
		Stabw	1,6	2,3	1,9	1,7	3,6	1,8
		Akzeptanzbereich	67,5 - 70,6	- 7,9 bis - 3,2	36,9 - 40,7	37,6 - 41,0	101,8 - 94,5	3,8 - 7,3
7	4	Mittelwert	71,9	-1,5	41,1	41,2	92,0	8,6
		Stabw	1,0	1,1	1,4	1,4	1,6	0,9
		Akzeptanzbereich	70,9 - 72,8	- 2,6 bis - 0,4	39,7 - 42,4	39,8 - 42,6	93,6 - 90,4	7,7 - 9,5
2	5	Mittelwert	74,0	2,0	43,1	43,2	87,3	11,2
		Stabw	2,1	2,9	0,2	0,1	3,9	1,8
		Akzeptanzbereich	71,9 - 76,2	- 0,5 bis 4,9	42,9 - 43,3	42,1 - 43,3	91,1 - 83,4	9,4 - 12,9
1	6	Mittelwert	75,1	7,5	41,1	41,8	79,6	13,9
		Stabw						
		Akzeptanzbereich						
1	7	Mittelwert	75,6	7,2	46,5	47,1	81,0	14,8
		Stabw						
		Akzeptanzbereich						

Aus den dargestellten Ergebnissen geht hervor, dass der Farbabstand DEcmc (2:1) zur Differenzierung der visuell wahrgenommenen Farbdifferenzen der Marke „Gourmetbanane“ nur bedingt geeignet war. Die Zuordnung der Daten ergab nicht unerhebliche Überschneidungen zu Reifungsbeginn, also im Übergang von Reifegrad 2 zu Reifegrad 3. Das Überschneidungspotential zwischen den beiden Reifegraden betrug 1,5 ME. Der Vergleich der Akzeptanzbereiche des a*-Wertes wies ähnliche Überschneidungen in diesem Bereich auf (2,1 ME). Für den Akzeptanzbereich des Bunttonwinkels (h°) ergaben sich sogar bis Reifegrad 4 Überschneidungen. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sich die untersuchten Bananencluster der Marke „Gourmetbanane“ erst nach Erreichen des visuell bestimmten Farbgrades 4 durch instrumentell ermittelte Farbmaßzahlen differenzieren lassen.

6.3. Grundlagenermittlung zur Prüfmethodik

Aufgrund der durch Varianzanalyse gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich des beeinflussenden Faktors „Datenklassierung“ wurde nachfolgend geprüft, ob sich die für die Cluster ermittelten Ergebnisse auf die untersuchten Messflächen übertragen lassen. Hierbei wurde von folgenden Überlegungen ausgegangen:

- Die Farbwahrnehmung im Rahmen der Farbbeurteilung beruht auf einer Integration der Farbwahrnehmung einzelner Bananenfinger-Oberflächen (Messflächen)
 - Entsprechend kann das einzelne Bananencluster entweder durch Summierung der Farbwahrnehmungen der einzelnen Bananenfinger – Oberflächen oder aber durch Priorisierung einzelner Bananenfinger-Oberflächen beurteilt werden.
- Die Überprüfung der Untersuchungsergebnisse mittels Varianzanalyse ergab teilweise signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Messflächen.
 - Durch Zusammenfassung der Ergebnisse für die einzelnen Messflächen ergibt sich ein Mittelwert für die bewerteten Bananencluster, der sich zusammensetzt aus den Farbeindrücken / Farbwahrnehmungen teilweise signifikant unterschiedlicher Messflächen.
 - Durch die Summierung differenter Werte wird eine größere Datenstreuung verursacht. Die Varianz bzw. die Standardabweichung hat direkten Einfluss auf die Größe des berechneten Akzeptanzbereiches zur Reifegrad-Differenzierung und kann sich deshalb negativ auf die Differenzierbarkeit auswirken.
- Die Überprüfung der statistischen Zusammenhänge zwischen den nach Messflächen klassierten Daten und den visuell bestimmten Reifegradzuordnungen ermöglicht Hinweise über
 - die eventuelle Bevorzugung einzelner Messflächen bei der Farbbeurteilung der Bananencluster und
 - die Differenzierbarkeit der Reifegrade

Zur Prüfung wurde das für die einzelnen Messflächen klassierte Datenmaterial der untersuchten Bananenmarken genutzt.

Die in den Tabellen A21, A23 und A25 (Anhang) dargestellten Ergebnisse zeigen auf, dass für alle detektierten Farbmaßzahlen der einzelnen Messflächen ein sehr großer Zusammenhang mit den visuellen Rangzuordnungen besteht.

Für alle drei untersuchten Bananenmarken wurden annähernd gleich große Korrelationen zwischen den Farbmaßzahlen und der Rangzuordnung ermittelt. Im Vergleich mit den ermittelten statistischen Zusammenhängen der Bananencluster waren die Korrelationskoeffizienten jedoch etwas geringer ausgeprägt. Durch die vergleichende Ergebnisbetrachtung konnten folgende Differenzen festgestellt werden:

- Für die Marke „Banacol“ zeigten sich nur minimale Korrelationsdifferenzen zwischen den einzelnen Messflächen.
 - bei den für die Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ ermittelten Farbmaßzahlen wurden jedoch erkennbar differente Zusammenhänge zwischen den Messflächen festgestellt. Für beide Marken wiesen die Messflächen 1 und 2 eine höhere Korrelation mit den visuellen Farbrangzuordnungen auf als die Messflächen 3 und 4.
 - Für die Marke „Bajella“ war Messfläche 4 deutlicher abweichend als Messfläche 3.
 - Für die Marke „Gourmetbanane“ wurde Messfläche 3 als deutlicher abweichend ermittelt

- Der Vergleich der Korrelationen der einzelnen Farbmaßzahlen über alle Messflächen deckte auf, dass
 - die Farbmaßzahl a^* möglicherweise besser zur Differenzierung geeignet ist als der Bunttonwinkel h° .
 - die für a^* ermittelten Korrelationen waren für alle untersuchten Bananenmarken über alle Messflächen annähernd gleich stark ausgeprägt.
 - Demgegenüber zeigten sich bei dem Vergleich der Korrelationen des Bunttonwinkels eindeutig schlechtere statistische Zusammenhänge bei der vierten Messfläche der Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“.
 - Für die Bananenmarken der Cavendish – Untergruppe wäre an Hand der vorliegenden Ergebnisse eventuell auch eine Differenzierung über die Helligkeit (L^*) möglich. Auf Grund der festgestellten stark ausgeprägten Streuung dieser Farbmaßzahl kann dies nicht empfohlen werden.
 - Die Farbmaßzahlen b^* und C^* aufgrund der deutlich geringer ausgeprägten Zusammenhänge der Messflächen 3 und/oder vier der Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ weniger gut zur Differenzierung geeignet sind.

Die Ergebnisse der Überprüfung des statistischen Zusammenhangs zwischen den nach unterschiedlichen Formeln berechneten Farbabstandswerten und den visuell ermittelten Rangzuordnungen für die Messflächen der einzelnen Bananenmarken sind den Tabellen A22, A24 und A26 (Anhang) zu entnehmen.

Wie aus den dargestellten Daten ersichtlich ist, konnten für die untersuchten Bananenmarken deutliche Unterschiede hinsichtlich des statistischen Zusammenhangs zwischen den berechneten Farbabständen und den visuell bestimmten Farbrangzuordnungen ermittelt werden.

- für die Marken „Bajella“ und „Gourmetbanane“ wurde für nahezu alle berechneten Farbabstände, mit Ausnahme der nach den Formeln DE94, DE2000 und DEcmc mit einfacher Helligkeitsgewichtung berechneten Farbabstände, große Korrelationen mit den visuell vorgenommenen Bewertungen festgestellt.

- für die „Gourmetbananen“ konnten lediglich geringfügige Differenzen zwischen den verwendeten Farbabstandsformeln und den untersuchten Messflächen festgestellt werden.
 - für die untersuchten Messflächen der Marke „Bajella“ wurden klar erkennbare Korrelationsdifferenzen zwischen den Messflächen 3 / 4 und den Messflächen 1 / 2 ermittelt.
 - Für die Marke Bajella wies Messfläche 4 die stärksten Korrelationen mit den visuellen Farbzuordnungen auf
 - Für die Marke Gourmetbanane zeigten sich bei Messfläche 4 geringfügig stärker ausgeprägte statistische Zusammenhänge.
- Für die Marke „Banacol“ zeigten sich im Vergleich eindeutig abweichende Ergebnisse.
- aus den dargestellten Daten wird ersichtlich, dass die ermittelten statistischen Zusammenhänge zwischen den berechneten Farbabständen und den visuellen Bewertungen für diese Bananenmarke deutlich geringer waren als für die Marke „Bajella“.
 - für die einfach gewichteten Farbabstände – Ausnahme DE* (1) – wurden lediglich nicht oder nur auf dem 0,05 Niveau signifikante schwach ausgeprägte Korrelationen festgestellt.
 - für die mehrfach gewichteten Farbabstände zeigten sich sehr deutlich ausgeprägte Korrelationsdifferenzen zwischen den Messflächen 3 / 4 und den Messflächen 1 / 2.
 - mit berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen 0,30 und 0,57 zeigten sich nur mittlere statistische Zusammenhänge für die Messflächen 1 und 2.
 - Demgegenüber wiesen die Messflächen 3 und 4 starke Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten von 0,68 – 0,77 auf.
 - im markenübergreifenden Vergleich der einzelnen Berechnungsformeln wurden für die Marken „Bajella“ und „Banacol“ geringfügig steigende Korrelationen mit zunehmendem Gewichtungsfaktor registriert.
- Die festgestellten, deutlich geringer ausgeprägten Korrelationen der Marke „Banacol“ werden, wie auch schon bei der Betrachtung der Bananencluster festgestellt, auf eine geringe Bewertungsübereinstimmung der beurteilenden Personen zurückgeführt. Die ermittelten Ergebnisse der Zusammenhangsanalyse bleiben deshalb in der weiteren Betrachtung unberücksichtigt.
- Obwohl teilweise geringe positive Veränderungen der statistischen Zusammenhänge einzelner Berechnungsformeln mit zunehmendem Gewichtungsfaktor registriert wurden, scheint der zur Differenzierung der Bananencluster ausgewählte Farbabstand DEcmc (2:1) auch geeignet zur Differenzierung der Messflächen. Unter der Voraussetzung, dass die für die Marke „Banacol“ ermittelten Daten

unberücksichtigt bleiben, dürften die ermittelten Differenzen zwischen den einzelnen Messflächen nur einen geringen Effekt auf die Ergebnisse haben.

- Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse der Zusammenhangsanalyse zwischen den Farbabständen und den visuellen Bewertungen der einzelnen Messflächen kann davon ausgegangen werden, dass die Messflächen 3 und 4 bei der Bewertung der Bananencluster der Marken „Bajella“ und „Banacol“ einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Farbrangzuordnung hatten.
 - Bei der Farbbeurteilung der Bananen der Marke „Gourmetbananen“ wurde eine Priorisierung einzelner Messflächen nicht festgestellt. Als Ursache hierfür kann möglicherweise die differente Wachstumsform, aber auch die festgestellte scheinbar schneller erfassbare Farbveränderung dieser Bananen angesehen werden.

Ausgehend von den Ergebnissen der Korrelationsberechnungen für die einzelnen Messflächen erfolgte die Prüfung der Differenzierbarkeit für die Marken Bajella und Gourmetbanane unter Verwendung der für Messfläche 1 ermittelten Daten. Diese Messfläche wies die größten statistischen Zusammenhänge mit den möglicherweise zur Differenzierung geeigneten Farbmaßzahlen a^* und h° auf. Gleichzeitig ist der zu erwartende Effekt auf die Ergebnisse mit Differenzen von $dr < 0,1$ zwischen den ermittelten Korrelationskoeffizienten des Farbabstandes DEcmc (2:1) der Messflächen 1 und 4 als gering einzustufen.

- Die Überprüfung der Differenzierbarkeit erfolgte an Hand folgender Parameter
 - Farbmaßzahl a^*
 - Farbmaßzahl h°
 - Farbabstand DEcmc (2:1)
- Zur Überprüfung wurde die gleiche Methodik angewandt wie bei der Prüfung der Bananencluster
 - Berechnung der statistischen Kennzahlen – arithmeischer Mittelwert und Standardabweichung
 - Erstellung des Akzeptanzbereiches – Mittelwert +/- Standardabweichung (1s)

In Tabelle 40 sind die durch Rücktransformation erhaltenen Ergebnisse der Reifegradzuordnung für die Messfläche 1 der Marke „Bajella“ dargestellt. Zur Berechnung der erforderlichen Kennzahlen wurden die Daten der 76 Cluster genutzt, die auch schon als Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des entsprechenden Differenzierungspotentials der Bananencluster verwendet wurden. Zur Auswertung wurden die Farbdaten der Reifegrade 2 – 4 genutzt.

Tabelle 40: Marke „Bajella“ – Kennzahlen der Reifegrad-Zuordnungen MF1

n	Reifegrad		Bajella MF1 a*	Bajella MF1 h°	Bajella MF1 Decmc (2:1:1)
31	2	Mittelwert	-10,2	106,4	2,9
		Stabw	0,9	2,2	0,8
		Akzeptanzbereich	- 11,2 -bis -9,3	108,7 - 104,2	2,0 - 3,7
21	3	Mittelwert	-9,1	102,9	4,0
		Stabw	1,3	2,1	1,3
		Akzeptanzbereich	- 10,3 bis - 7,8	105,1 - 100,8	2,7 - 5,3
22	4	Mittelwert	-5,3	97,2	6,9
		Stabw	3,0	4,3	2,2
		Akzeptanzbereich	- 8,3 bis -2,3	101,5 - 92,8	4,7 - 9,2
2	5-	Mittelwert	-1,7	92,2	9,5
		Stabw	0,2	0,2	0,0
		Akzeptanzbereich	- 1,9 bis -1,5	92,5 - 92,0	9,5 – 9,5

Durch den Vergleich der Akzeptanzbereiche der ausgewählten Differenzierungsparameter für die Messfläche 1 wurde für die Reifegrade festgestellt, dass der DEcmc (2:1) für die ausgewählte Messfläche nur bedingt zur Differenzierung der Reifegrade geeignet war. Die Zuordnung der Daten ergab deutlich erkennbare Überschneidungen zu Reifungsbeginn, also im Übergang von Reifegrad 2 zu Reifegrad 3 (1,0 ME) sowie im weiteren Reifungsverlauf beim Übergang von Reifegrad 3 zu Reifegrad 4 (0,6 ME). Die ermittelten Farbstandsdifferenzen können noch als klein bezeichnet werden. Beim Vergleich des Differenzierungspotentials des a*- und des h°- Wertes zeigten die Grünanteile der Farbe (a*) und der Buntton (h°) mit Werten von 1,0 bzw. 0,5/0,6 ME ähnliche Überschneidungen der Akzeptanzbereiche von Reifegrad 2 zu 3 bzw. Reifegrad 3 zu 4.

Auf Grund der ermittelten Ergebnisse kann die instrumentelle Farbmessung nicht als geeignetes Prüfmittel zur Differenzierung der Schalenfarbe von Bananen der Marke „Bajella“ empfohlen werden. Die recht vielversprechenden Ergebnisse der Cluster-klassierten Daten (16 MP) konnten durch die Reduzierung des erforderlichen Messumfangs auf Messflächen (4 MP) nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse können jedoch nur auf die überprüften Reifegrade der Marke „Bajella“ bezogen werden, da zu höheren Reifegraden nicht ausreichend Untersuchungsmaterial zur Verfügung stand. Eine pauschale Aussage zur Differenzierungseignung über den ganzen Reifungszyklus kann deshalb an Hand der vorliegenden Ergebnisse nicht getroffen werden. Erst wenn eine genügend große Anzahl an Referenzwerten über alle Reifegrade (Farbgrade) zur markenspezifischen Standardbildung zur Verfügung stehen, könnte der DEcmc 2-1-1 zur Farbdifferenzierung genutzt werden (Bortz, J.; Döring, N.; 2006, S.627ff.).

Auf Grund des deutlich kleineren Stichprobenumfangs können die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse für die Marke „Gourmetbanane“ nur einen informellen Hinweis auf eine mögliche Differenzierungseignung geben. Die Ergebnisse können jedoch nicht als repräsentativ angesehen werden. Zur Berechnung der erforderlichen Kennzahlen wurden die Daten der 27 Bananencluster genutzt, die auch schon als Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des

entsprechenden Differenzierungspotentials dienten. Zur Auswertung und Interpretation wurden die Farbdaten der Reifegrade 2 – 4 genutzt.

Tabelle 41: Marke „Gourmetbanane“ – Kennzahlen der Reifegrad-Zuordnungen MF1

n	Reifegrad		Gourmet MF1 a*	Gourmet MF1 h°	Gourmet MF1 Decmc (2:1)
9	2	Mittelwert	-8,8	104,5	3,4
		Stabw	2,6	4,8	1,8
		Akzeptanzbereich	- 11,6 bis - 6,2	109,3 - 99,7	1,6 - 5,1
7	3	Mittelwert	-6,0	98,8	5,4
		Stabw	2,6	4,0	2,0
		Akzeptanzbereich	- 8,6 bis - 3,4	102,8 - 94,8	3,4 - 7,4
7	4	Mittelwert	-3,7	95,0	7,5
		Stabw	1,5	1,9	1,0
		Akzeptanzbereich	- 5,2 bis - 2,2	96,9 - 93,1	6,5 - 8,5
2	5	Mittelwert	1,8	87,7	11,7
		Stabw	2,3	2,9	0,9
		Akzeptanzbereich	- 0,5 bis 4,1	90,6 - 84,8	10,8 - 12,6
1	6	Mittelwert	6,6	80,7	12,9
1	7	Mittelwert	6,2	82,6	14,8

Aus den in Tabelle 41 dargestellten Ergebnissen geht hervor, dass der Farbabstand DEcmc (2:1) zur Differenzierung der visuell wahrgenommenen Farbdifferenzen der Marke „Gourmetbanane“ nur bedingt geeignet war. Die Zuordnung der Daten ergab deutliche Überschneidungen aller Prüfparameter in den Übergängen von Reifegrad 2 bis Reifegrad 4. Das Überschneidungspotential zwischen den Reifegraden reduzierte sich mit zunehmender Reifung. Der Vergleich der Akzeptanzbereiche zeigte auf, dass die a*- und h° - Werte stärker ausgeprägte Überschneidungen aufwiesen als der Farbdifferenzwert DEcmc (2:1). Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sich die untersuchte Messfläche der Marke „Gourmetbanane“ erst nach Erreichen des visuell bestimmten Farbgrades 4 eventuell durch instrumentell ermittelte Farbmaßzahlen differenzieren lassen könnte.

7. Diskussion

Zur Reifegradbestimmung von Bananen gibt es verschiedene Prüfmethode. Die Bestimmung der Schalenfarbe mittels visueller Beurteilung hat gegenüber anderen Methoden den Vorteil, dass sie einfach, schnell und auf Grund des geringen Bedarfs an technischem Equipment und Personal kostengünstig durchzuführen ist. Gleichzeitig erfolgt die Prüfung non – destruktiv, das heißt die untersuchten Früchte werden durch die Prüfmethode nicht zerstört und stehen weiterhin für den Vertrieb zur Verfügung.

- Der Vergleich von Farben kann jedoch korrekt nur unter Einhaltung abgestimmter Prüfbedingungen und mit einheitlich geschultem Prüfpersonal erfolgen. In der praktischen Umsetzung werden wissenschaftlich sensorische Schulungsmethoden eines Prüfpanels oder entsprechender Prüfpersonen, die Überprüfung und Berücksichtigung von Beurteilungsübereinstimmungen sowie die Schaffung konstanter, vergleichbarer Prüffeld-Bedingungen noch nicht konsequent umgesetzt.

Gleichzeitig können durch biologische- oder anbaubedingte Eigenschaften sowie die nach der Ernte durchgeführte Reifung der Bananen biochemische Prozesse derart beeinflusst werden, dass es in Folge zu abweichender Übereinstimmung der Schalenfarbe mit anderen Reifungsparametern kommt.

Bedingt durch die Personalabhängigkeit, der Abhängigkeit der Ergebnisse vom individuellen Farbwahrnehmungsvermögen der Prüfperson und bislang nicht standardisierten Prüfbedingungen weist die visuelle Beurteilung der Schalenfarbe deshalb ein relativ großes Fehlerpotential auf.

- Die subjektive visuelle Einschätzung des Reifegrades beeinflusst dabei als maßgebliche Grundlage der individuell angepassten Reifungssteuerung die Endqualität der Ware. Subjektive Prüfergebnisse im Rahmen der Ein- oder Ausgangskontrolle können in der Praxis zu Differenzen in der Qualitätsbeurteilung zwischen den involvierten Parteien – Transportunternehmen, Produzenten und Handel – führen. Hierauf basierende mögliche Reifungsfehler als Folge einer fehlerhaften Reifegradbestimmung, aber auch Beanstandungen und Warenreklamationen können in der Praxis zu wirtschaftlichen Einbußen der beteiligten Unternehmen führen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde geprüft, ob und zu welchen Zwecken die instrumentelle Farbmessung in der täglichen routinemäßigen Qualitätskontrolle und der Reifegradbestimmung von Bananen eingesetzt werden kann. Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung war es erforderlich ein Prüfschema zu entwerfen, das repräsentative und reproduzierbare Ergebnisse liefern kann und gleichzeitig personell sowie zeitlich in den täglichen Ablauf entsprechender Bananen - Reifungszentren integrierbar ist. Hierbei waren besonders die fruchtspezifischen Eigenschaften der Bananen im Reifungsverlauf zu berücksichtigen. Diese sind gekennzeichnet durch eine große Sensibilität hinsichtlich Schwankungen der Reifungsbedingungen Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Licht und atmosphärischer Gaszusammensetzung.

- Bei der Planung der Untersuchung führte dies zu ersten Problemen hinsichtlich der Organisation der Stichprobenziehung. Um repräsentative Ergebnisse zur Eignungsprüfung zu erhalten, war es erforderlich eine genügend große Anzahl an Proben zu untersuchen. Bedingt durch die sehr enge und größtenteils vollständige Bestückung der Reiferäume erfolgt jedoch die visuelle Beurteilung im Rahmen der visuellen Reifegradbestimmung entweder durch Begutachtung ganzer Verpackungseinheiten (Kartons) oder einzelner Cluster meist direkt im Reifungsraum.
- Diese Vorgehensweise ließ sich für die Farbmessung des festgelegten Probenumfangs nicht umsetzen. Durch den recht hohen Zeitaufwand für die Entnahme der Proben sowie die täglich durchzuführenden Farbmessungen wären die Reifungsbedingungen im gesamten Reifungsraum derart gestört worden, dass eventuelle Reifungsfehler der ganzen Warenpartie befürchtet wurden.
- Um korrekte statistische Ergebnisse zu erhalten sollte die Stichprobe zufällig gezogen sein. Die hierzu durchgeführten Überlegungen und die daraus folgende Umsetzung entsprechen möglicherweise nicht hundertprozentig den korrekten Anforderungen der

Statistik. Sie waren jedoch im routinemäßigen Ablauf praktikabel und personell zu bewältigen.

- Für den Einsatz der instrumentellen Farbmessung im Rahmen der täglichen Qualitätskontrolle haben der Stichprobenumfang und die Stichprobenziehung eine besondere Bedeutung. Sie sollten auf den Verwendungszweck, Kontrolle des Reifungsfortschritts oder Ermittlung markenspezifischer Grundlageninformationen, standardisiert und abgestimmt werden.

Die Farbmessungen mit dem Spektralphotometer SP64 ließen sich an den Cavendish - Bananen größtenteils problemlos durchführen. Bei der Farbmessung an den deutlich kleineren Gourmetbananen war es aufgrund der differentiellen Wuchsform, des horizontalen Messdesigns und der Größe des Farbmessgerätes manchmal schwierig die Messungen korrekt an den vorab festgelegten Messpunkten auszuführen. Die hierbei aufgetretenen Probleme reduzierten sich jedoch mit zunehmender Übung der prüfenden Person im Handling des Gerätes. Möglicherweise ist für kleine, mehr oder weniger stark gekrümmte Früchte der Einsatz vertikal ausgerichteter Geräte praktischer. Der Datentransfer der ermittelten Daten vom mobilen Messgerät auf ein Computersystem funktionierte einwandfrei.

- Zur Ermittlung des Informationspotentials, dass aus den gewonnenen Farbdaten heraus extrahieren werden kann, wurden die Daten entsprechend möglicher visueller Betrachtungsweisen klassiert. Die Programmierung der Messreihenfolge direkt in das Farbmessgerät ermöglichte die gezielte Bereitstellung der klassierten Daten und die direkte Auswertung über die vorhandene Auswertungssoftware. Im Vergleich zur Auswertung der ersten Messreihe, bei der diese Vorgehensweise nicht genutzt wurde, konnte der benötigte Zeitaufwand deutlich reduziert werden

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass sich durch instrumentell gewonnene Farbmaßzahlen die auftretenden Farbveränderungen der Bananen eindeutig detaillierter bestimmen und beschreiben lassen, als dies durch die visuelle Beurteilung möglich ist.

Eine ausreichend gesicherte Interpretationen der Ergebnisse war jedoch nicht möglich, da

- keine einheitlichen Reifungsbedingungen hergestellt werden konnten
- keine Wiederholungen zur Bestätigung der Ergebnisse durchgeführt wurden
- der Untersuchungsumfang zu klein war
 - die Ergebnisse beziehen sich nur auf die Untersuchung einer Warenpartie
 - die Schalenfarbe von Bananen weist jedoch eine natürlich bedingte Streuung auf, die dazu führt, dass die Bananen innerhalb jeder Verpackungseinheit differente Schalenfarben aufweisen können.
- Zur Ermittlung und/oder Bestimmung der zur Differenzierung benötigten Referenzwerte (Standards) ist die Untersuchung mehrerer Warenpartien erforderlich. Zur Auswertung könnte dadurch auf einen statistisch besser abgesicherten Datenpool zurückgegriffen werden, der auch die natürlich bedingten Farbunterschiede integriert.

Im Rahmen der Datenauswertung zu Differenzierungszwecken wurden größtenteils sehr große statistische Zusammenhänge zwischen den aufgenommenen Farbmaßzahlen und den

visuell ermittelten Reifegradeinstufungen festgestellt. Die ermittelten Farbdifferenzwerte (Farbabstände) zeigten jedoch nur bedingt gutes Differenzierungspotential. Es wird angenommen, dass die zwischen den unterschiedlichen Bananenmarken festgestellten Differenzen hinsichtlich des statistischen Zusammenhangs der Farbabstände und der visuellen Bewertungen vermutlich verursacht sein könnten durch

- den Einsatz einer unterschiedlich großen Anzahl von Prüfpersonen in den Reifungszentren, deren sensorischer Schulungsstand und Beurteilungsübereinstimmung nicht vergleichbar waren. Im Rahmen der Auswertung ergaben sich deutliche Bewertungsdifferenzen zwischen den verschiedenen Reifungszentren, aber auch zwischen einzelnen Prüfpersonen.
- den Einfluss einzelner deutlich abweichender Messwerte bei ansonsten homogener Farbverteilung. Durch teilweise große Differenzen zwischen einzelnen Messwerten wird das statistisch ermittelte Streuungsmaß wertmäßig beeinflusst. Entsprechend ergeben sich große Streuungskennzahlen, die die Größe der für die einzelnen Reifegrade ermittelten Akzeptanzbereiche beeinflussen. Bei zwei Bananenmarken wurden deutliche Überschneidungspotentiale zwischen einzelnen Reifegraden ermittelt.

Inwieweit dabei eine visuelle Differenzierung von Farbabständen der aufgetretenen Größenordnungen möglich ist, kann nur unter standardisierten Prüfbedingungen im direkten Vergleich mehrerer entsprechender Proben herausgefunden werden.

Im Ganzen betrachtet könnten durch den Einsatz der instrumentellen Farbmessung deutliche Vorteile in der Qualitätsbestimmung von Bananen erzielt werden. Die über ermittelte Farbmaßzahlen mögliche, genaue Farbbeschreibung kann zur Dokumentation von Reifungsverläufen, aber auch zur Ermittlung sorten- oder markenspezifischer Eigenschaften oder Abklärung von Zusammenhängen mit anderen Reifungsparametern genutzt werden. Im Anbauland wäre eventuell über den Vergleich von Farbmaßzahlen eine Bestimmung des Ausreifungsgrades an der Staude oder anbauspezifischer Differenzen möglich. Schwankungen in der Temperaturführung oder atmosphärischen Gaszusammensetzung können ursächlich verantwortlich sein für einen beginnenden Chlorophyllabbau, der gut über die Farbmaßzahl a^* festzustellen ist. Bei entsprechend vorhandenem Referenzmaterial könnten somit auch Transportschäden nachgewiesen werden. Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist der Einsatz zur Differenzierung der Reifegrade nicht endgültig zu klären, da es im Rahmen der Untersuchung zu viele mögliche Fehlerquellen gab. Gleichzeitig wird der Untersuchungsumfang als zu klein angesehen. Die Ergebnisse können deshalb nur erste Hinweise liefern.

- Es kann festgestellt werden, dass eine Farbdifferenzierung über den Farbabstand DE bei alleiniger Verwendung nicht zur Bestimmung des Reifegrades geeignet ist, da er keine weiteren Informationen hinsichtlich der Richtung der Farbabweichung liefert. Wenn eine Differenzierung erfolgen kann, sollte entweder zusätzlich zum Farbabstand oder als alleiniges Differenzierungsmaß der Bunttonwinkel h° genutzt werden. Über diese Farbmaßzahl kann ganz eindeutig die Veränderung der Schalenfarbe von grün zu gelb detektiert werden.

- Eine mögliche Prüfmethodik im Rahmen der täglichen Qualitätskontrolle sollte auf standardisierten Prüfbedingungen hinsichtlich der Lage und Anzahl der Messpunkte aufgebaut sein. Durch die varianzanalytische Prüfung konnte ermittelt werden, dass die für die einzelnen Bananenmarken ermittelten Ergebnisse durch die Klassierung der Daten möglicherweise unterschiedlich beeinflusst werden. Wenn sich die ermittelten Ergebnisse bestätigen lassen, könnte beispielsweise die Lage des Kartons auf der Palette für einzelne Bananenmarken unberücksichtigt bleiben, da eine entsprechende Klassierung keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse hätte. Die Auswertung der klassierten Daten ergab für einzelne Messflächen die geringsten Streuungsmaße. Gleichzeitig wurden die für die einzelnen Cluster ermittelten Ergebnisse durch signifikant abweichende Ergebnisse einzelner Messflächen beeinflusst. Von den untersuchten Messflächen zeigten sich für Messfläche 1 über alle Marken die größten statistischen Zusammenhänge mit den Farbmaßzahlen.
- Gleichzeitig sollten der Stichprobenziehung und dem Stichprobenumfang besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Beides sollte möglichst vorab standardisiert und auf praktische Umsetzbarkeit getestet werden. Zu berücksichtigende Parameter wären hierbei der Stichprobenumfang (abzusicherndes Signifikanzniveau, Effektstärke), Probenauswahl und Bereitstellung, die Verteilung der Messpunkte und die Anzahl der Messzeitpunkte.

Obwohl im Rahmen dieser Untersuchung die Überprüfung der Differenzierbarkeit von Reifegraden an Hand Messflächen-klassierter Daten keine befriedigenden Ergebnisse lieferte, wird hier ein möglicher Ansatz für weiterführende Untersuchungen gesehen. Als mögliche Vorgehensweise wird die Farbmessung an mindestens drei Messpunkten einer einzelnen Messfläche empfohlen.

8. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde geprüft, inwieweit die instrumentelle Farbmessung geeignet ist zur Bestimmung und Beschreibung der Schalenfarbe, zur Objektivierung der Farbdifferenzierung von reifenden Bananen und zur Integration in die tägliche routinemäßige Qualitätskontrolle. Hierzu erfolgten visuelle Beurteilungen und parallel durchgeführte instrumentelle Farbmessungen von Cavendish-Bananen sowie Bananen der Sorte Pisang Mas in zwei unabhängigen Reifungszentren. Die ermittelten Farbmaßzahlen wurden unter Nutzung spezieller Anwendungssoftware und verschiedener statistischer Methoden ausgewertet und deren Eignung zu Dokumentations- und Differenzierungszwecken geprüft.

Es wurden Zusammenhänge zwischen einzelnen Farbmaßzahlen ermittelt, die sich mit bereits vorhandenen biochemischen Erkenntnissen zur Entwicklung der Schalenfarbe im fortschreitenden Reifungsverlauf decken. Aus den Ergebnissen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass sich an Hand der instrumentell gewonnenen Farbmaßzahlen

- das genutzte Farbmessgerät und die gewählte Messgeometrie gut zur reproduzierbaren Farbmessung an reifenden Bananen geeignet sind
- die auftretenden Farbveränderungen der Bananen eindeutig detaillierter bestimmen und beschreiben lassen, als dies durch die bislang angewandte Reife-/ Farbgrad-einstufung im Rahmen der visuellen Beurteilung möglich ist.
 - durch geeignete Auswahl der Darstellungsform lassen sich Entwicklungsverläufe und Zusammenhänge anschaulich aufzeigen, die nicht nur zur Dokumentation, sondern auch zu anderen Zwecken, wie zum Beispiel die Aufdeckung sorten- oder markenspezifischer Unterschiede, genutzt werden können.
- die Schalenfarben der untersuchten Bananenmarken im Reifungsverlauf deutlich different veränderten.
 - festgestellte zeitliche Differenzen der Veränderungen zwischen den untersuchten Bananenmarken könnten dabei durch logistisch bedingte weiter fortgeschrittene Vorreifung einzelner Bananenmarken, verpackungsbedingte Beeinflussung des Reifungsverlaufes oder sorten – und/oder markenspezifische Eigenschaften der Bananen verursacht sein.

Vor Beginn der Überprüfung der Differenzierbarkeit der Schalenfarbe wurde durch Berechnung von Farbabständen nach unterschiedlichen Formeln und Gewichtungsfaktoren der Farbabstand DEcmc (2:1) als geeignete Differenzierungsmaßzahl ausgewählt.

- hinsichtlich der Differenzierung unterschieden werden sollte zwischen
 - Ermittlung von Differenzen zwischen verschiedenen Bananensorten oder – marken
 - auf Grund der ermittelten Ergebnisse kann die instrumentelle Farbmessung als gut geeignet angesehen werden

- Differenzierung der Schalenfarbe als Ersatz oder zur Unterstützung der visuellen Beurteilungen in Reife- oder Farbgrade
- Im Rahmen der Datenauswertung zu Differenzierungszwecken wurden bei zwei von drei untersuchten Bananenmarken sehr große statistische Zusammenhänge zwischen den aufgenommenen Farbmaßzahlen und den visuell ermittelten Reifegradeinstufungen festgestellt. Durch die Reifegradentsprechende Klassierung der Daten und die Bildung von Akzeptanzbereichen erfolgte eine Überprüfung des Differenzierungspotentials. Hierbei stellte sich heraus, dass
 - die ermittelten Farbmaßzahlen nur bedingt zur Differenzierung hinsichtlich der Reifegradbestimmung geeignet sind.
 - der Farbabstand DE bei alleiniger Verwendung nicht zur Bestimmung des Reifegrades geeignet ist, da er lediglich Auskunft über die wertmäßige Farbabweichung einer Probe zu einem Referenzwert detektiert, aber keine Hinweise hinsichtlich der Richtung der Farbabweichung liefert.
- auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse wäre der Bunttonwinkel h° besser zur Differenzierung geeignet. Durch Verwendung dieser Farbmaßzahl kann eindeutig die Veränderung der Schalenfarbe von grün zu gelb detektiert werden. Gleichzeitig zeigten sich über alle untersuchten Bananenmarken sehr gute Übereinstimmungen ($r > 9$) mit den visuellen Reifegradbeurteilungen.
- Bedingt durch das im Rahmen dieser Untersuchung ermittelte, teilweise große Überschneidungspotential zwischen den Reifegraden muss davon ausgegangen werden, dass die instrumentelle Farbmessung nicht zur Reifegrad-Differenzierung geeignet ist.

Hinweise zur Umsetzung in eine mögliche, allgemein gültige Prüfmethodik können anhand der vorliegenden Daten nicht gemacht werden. Der Untersuchungsumfang wird als zu klein angesehen, um repräsentative Ergebnisse zu liefern. Bedingt durch die natürliche, aber auch reifungsbedingte Streuung der Schalenfarbe sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um diesbezügliche Aussagen besser abzusichern.

Literaturverzeichnis

- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung*. 11. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2006.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., Schieberle, P.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- Berger – Schunn, A.: *Praktische Farbmessung*. Muster-Schmidt Verlag, 1994.
- Blake, J.R. & Peacock, B.C.: Effects of temperature on the preclimacteric life of bananas. 1971. *Queensland J. Agric. Anim. Sci.* 28: S. 243 – 248.
- Blankenship, S.M., Ellsworth, D.D., Powell, R.L.: A ripening index for banana fruit based on starch content. 1993. *Hortic. Technol.* 3 (3): S. 338 – 339.
- Bock, J.: *Bestimmung des Stichprobenumfangs für biologische Experimente und kontrollierte klinische Studien*. Oldenbourg Verlag, München, 1998.
- Bortz, J., Döring, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4. Auflage. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2006.
- Brady, C.J.: Fruit ripening. 1987. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38: S. 155 – 178.
- Brücher, H.: *Tropische Nutzpflanzen – Ursprung, Evolution und Domestikation*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1977.
- Bugaud, C., M.O. Darobo, C. Dubois: Climatic conditions affect the texture and colour of cavendish bananas (Grande Naine cultivar). *Scientia Horticulturae* 113 (2007). S. 238 – 243.
- Busch-Stockfisch, M.: *Praxishandbuch Sensorik – Grundwerk 08/2002*, Kap.1.2.1.1.
- CGIAR 1992. *Future priorities and Strategies*. CGIAR Technical Advisory Committee. TAC Secretariat FAO, Rome, Italy.
- CGIAR 1993. *Progress report by the CGIAR Task Force on Banana and Plantain Research*. CGIAR Secretariat, World Bank, Washington, D.C., USA.
- Chen, S.; Chui, T.: Ripeness evaluation of banana by optical reflectance. 1990. *J. Chinese Agric. Eng.* 36 (1): S. 41 – 51.
- Chen, R.C., Ramaswamy, H.S.: Colour and texture kinetics in ripening bananas. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 2002. 35, S. 415 - 419
- Dadzie, B.K. et J.E. Orchard. *Routine Post Harvest Screening of Banana/ Plantain Hybrids: Criteria and Methods*. INIBAP Technical Guidelines 2. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France; ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Wageningen, The Netherlands.
- Daßler, E.; G. Heitmann: *Obst und Gemüse: Eine Warenkunde*; 4. Aufl.; Verlag Paul Parey; Berlin, Hamburg; 1991.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V

Gemeinschaftsausschüsse „Farbe“ (FNF) und „Lichttechnik“ (FNL) im DIN :
E DIN 5033-1 : 2008-02 (05-14)Farbmessung – Teil1: Grundbegriffe der Farbmatrik

Normenausschuß Farbe (FNF), Normenausschuß Lichttechnik (FNL):
DIN 5033-3:1992-07 -

DIN 6175-2:2001-03 - Begriffsbestimmung

Normenausschuss FNF, Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen
(NAB), Normenausschuss Pigmente und Füllstoffe (NPF):

DIN 6174 : 2007-10 Farbmtrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im
angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbenraum

DIN 6175-2:2001-03

Arbeitsausschuss FNF/FNL 2“Farbmatrik“

DIN 6176 : 2001-03 Farbmtrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach
der DIN 99-Formel

Normenausschuss Farbe (FNF) Erarbeitet von NA 025-00-24 AA (FNF 24)

E DIN 6175-1:2008-04 Vorgesehen als Ersatz für DIN 6155-1:1986-07

Entwurf DIN 6175-1 April 2008-11-05 Teil1: Unilackierungen, Teil 2: Effektlackierungen

Dixon, T.J.; Hobson, G.E.: A general method for the instrumental assessment of the colour of
tomato fruit during ripening. 1984. J. Sci. Food Agric. 35, S. 1277 – 1281.

Duelin, R.: Mesure de la couleur de la pulpe de la banane en phase preclimacté'rique. Fruit
18: S. 23 – 26.

FAO: Banana Statistics 2005 – Statistical Yearbook 2005. 2005. Rome. Abgerufen am
12.08.2008 unter [www.fao.org/ search/banana_statistics](http://www.fao.org/search/banana_statistics) – pdf im Anhang

FAO: Private Standards In the United States and European Union Markets for fruit and
vegetables - Implications for developing countries, Rome, 2007.

Francis, F.J.: Colour quality evaluation of horticultural crops. 1980. Hort.Sci. 15: S. 58 – 59.

George, J.B. & Marriot, J.: The effect of humidity in plantain ripening. 1983. Scientia
Horticulturae 21: S. 37 – 43.

Gross, J., Carmon, M.; Lifshitz, A., Costes, C.: Carotenoids of banana pulp, peel and leaves.
Lebensm.-Wiss. U. Techn.,9, (1976). S. 211 -214.

Happi Emaga, T., Andrianaivo, R.H., Wathelet, B., Tchango Tchango, J., Paquot, M.: Effects
of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and
plantain peel. Food Chemistry 103 (2007). S. 590 – 600.

Lang, H (A. Gottwald, Hrsg.): Farbmatrik und Farbfernsehen. Oldenbourg Verlag, München,
Wien, 1978.

Herold, C.: Der Chlorophyllabbau – Vortrag- SS 2006- [http://www.old.uni-
bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/chlorophyll_abb/chlorophyllabbau.htm](http://www.old.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/chlorophyll_abb/chlorophyllabbau.htm)
abgerufen am 08.09.2008

- Hunter, R.S.: The measurement of appearance. 1975. Wiley, New York.
- Kader, A.A.: Respiration and gas exchange of vegetables. 1987. in Post-harvest physiology of vegetables. (j.Weichmann, ed.). Marcel Dekker Inc., New York.
- Kent, M.: Measurement and standardisation of food colour. *Fresenius J. Anal. Chem* (1993) 345. S. 158 – 160.
- Knee, M.: Methods of measuring green colour and chlorophyll content of apple fruit. 1980. *Jou. Food Technol.* 15: S 493 – 500.
- Kromer, Sven: Produktorientiertes Qualitätsmanagement des Einzelhandels. Gestaltung und Lenkung komplexer Qualitätssysteme bei der Beschaffung in Schwellen- und Entwicklungsländern. Diss. Universität Mannheim, 2005. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Leuschner, H.: Vorlesungsskript Zeitreihenanalyse 1 – univariate Verfahren – Interventionsanalysen – Multivariate Verfahren, Psychologisches Institut der Uni Köln, 2005. online abgerufen am 09.02.2008 unter <http://www.uni-koeln.de/phillfak/psych/methoden/veranstaltungen/evaluation/einzelfall/Einzelfall-11-Zeitreihenanalyse.1.ppt.pdf>
- Loesecke, H. Von.: Bananas. 2nd edition. 1950. Inter Science, New York.
- McGlasson, Barry; Doug Graham; Daryl Joyce: Postharvest: An Introduction to the physiology and handling of fruit, vegetable and ornamentals. 2007.
- Marriott, J., Robinson, M. & Karikari, S.K.: Starch and sugar transformation during ripening of plantains and bananas. 1981. *Trop. Sci.* 32: S. 1021 – 1026.
- Medlicott, A.P., Semple, A.J., Thompsen, A.J., Blackbourne, H.R. & Thompson, A.K. Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessment. 1992. *Trop. Agric. (Trinidad)* 69(2): S. 161 – 166.
- Meng, Li, David C. Slaughter, James F. Thompson: Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. *Postharvest biology and technology* 12 (1997), S. 273 – 283.
- Morton, J. 1987. Banana. p. 29–46. In: *Fruits of warm climates*. Julia F. Morton, Miami, FL.
- Palmer, J.K.: The banana. 1971. *The biochemistry of fruits and their products*. Vol. 2 (A.C. Hulme, ed.). Academic Press, London. S. 65 – 105.
- Peacock, B.C.: Relationship between physical changes and the climacteric phase in the banana. 1966. *Queensland J. Agric. Anim. Sci.* 23: S. 77 – 80.
- Peacock, B.C & Blake, J.R.: Some effects of non-damaging temperatures on the life and respiratory behaviour of bananas. 1970. *Queensland J. Agric. Anim. Sci.* 27: S. 147 – 168.
- OECD - AGRICULTURAL CODES AND SCHEMES FOR INTERNATIONAL TRADE - 23.06.2004 – abgerufen am 08.09.2008 unter www.oecd.org/dataoecd/32/47/19515719.pdf
- Petersilge, Michael: Grundlagen der Farbmessstechnik, 20.04.2004
- Petersilge, Michael: Toleranzmodelle, 2007.

- Quatember, Andreas: Statistik ohne Angst vor Formeln – Ein Lehrbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, Verlag Pearson Studium, München, 2005.
- Ramaswamy, H.S., Richards, J.F.: A reflectance method to study the green-yellow changes in fruits and vegetables. 1980. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 13 (3), S 107 – 111.
- RRZN - Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen / Universität Hannover und Rechenzentrum der Universität des Saarlandes, Saarbrücken: SPSS Grundlagen – Einführung anhand der Version 13. 10., veränderte Auflage. Verla Kornelius Bamberger(?). 2006
- Sachs, L.: Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. 11. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
- Schödel, René: Zur Kinetik von Singulett- und Triplett-Anregungen im Lichtsammelkomplex des Photosystems II höherer Pflanzen (LHCII). 1999. Diss. - Humboldt-Universität zu Berlin – Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I
- Seo, Y., Hosokaw, A., : Effect of temperature, ethylene and ventilation on artificial banana ripening. 1982. J.Jpn. Agric. Engl. Soc. 44 (2) S.461 – 476.
- Shepherd K.: Observations on Musa taxonomy. 1990. In Jarret RL, ed., Identification of Diversity in the Genus Musa. Proceedings of an International Workshop held at Los Bados, the Philippines, 5-10 September 1988. Montpellier, France: INIBAP, 158-165.)
- Smith, N.J.S., Tucker, G.A. & Jeger, J.: Softening and cell wall changes in bananas and plantains. 1989. Aspects of Applied Biology 20: S. 57 -65.
- Stover, R. H. & Simmonds, N.W.: Bananas. 3. Auflage, Longman Group UK Ltd. Harlow Essex, 1987.
- Swennen, R. 1990. Plantain cultivation under West African conditions: A reference manual. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. Amain Printing Group Co.Ltd. Thailand.
- Thompson, A.K.: Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. CABi Publishing, Wallingford. 2001.
- Turner, D.W.: Bananas and Plantains, S. . In: Mitra, I. (ed), Postharvest Physiology and storage of tropical and subtropical fruits, CAB International, Wallingford, New York; 1997.
- (UNECE)United Nations Economic Commission for Europe: 2007 Standard Layout for UNECE Standards on fresh fruit and vegetables-abgerufen am 24.03.2008
http://www.unece.org/trade/agr/standard/standard_layout/FFV_2007_e.pdf
- (UNCTAD)United Nations Conference on Trade and Development: Major developments and recent trends in international banana marketing structures. 2003. Abgerufen am 02.11.2008 unter www.unctad.org/en/docs/ditcom20031&c1_en.pdf
- Wahad, Z. et al.: Colour camera vision system for mechanical grading and sorting of banana , Proceedings of the the first national banana seminar at Awana Genting and country resort. UPM: Serdang (MYS), 2000.

- Wainwright, H. & Hughes, P.: Objective measuring of banana pulp colour. 1989. International Jou. Food Sci. Technol. 24: S 553 – 558.
- Wainwright, H. & Hughes, P.: Changes in banana pulp colour during ripening. 1990. Fruits 45(1): S. 25 – 28.
- Ward, G., Nussinovitch, A.: Peel gloss as a potential indicator of banana ripeness. 1996. Lebensm.-Wiss. U.-Technol., 29, S. 289 – 294.
- Witt, K.: Der Farbenraum nach DIN 6164 in neuer Sicht. Die Farbe 29 (1981); Nr. 1/3, S. 17 – 47.
- Witt, K.: Farbmetrische Beschreibung gerade erkennbarer Farbunterschiede an Lackmustern. Die Farbe 32/33 (1985/1986), S. 9 – 23.
- Witt, K. CIE-Empfehlungen zur industriellen Farbbewertung. Farbe und Lack, 101, 11 (1995), S. 937 – 939.
- Witt, K.: Buntheit mit System – Vektorielle Farbabstandsbewertung mit der DIN99-Formel. Farbe und Lack. 111/ 3 (2005) S. 85 – 89.
- Zhengyuong, Y., Sousa-Gallagher, M.J., Oliveira, F.A.R.: Mathematical modelling of the kinetic of quality deterioration of intermediate moisture content banana during storage. Journal of Food Engineering 84 (2008). S. 359 – 367.

Online-Literatur:

- VO(EG) Nr 2257/94 zur Festsetzung von Qualitätsnormen-Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 245 vom 20.09.1994 – Stand 01.03.1997
- 76/353/EWG: Entscheidung der Kommission vom 17. Dezember 1975 betreffend ein Verfahren nach Artikel 86 des EWG- Vertrags (IV/26.699 - Chiquita) (Nur der englische Text ist verbindlich) lexuriServer 14.04.2008
- www.codexalimentarius.net/docsearch/docs/en/v5b26en.doc - Codex Standard for Bananas, 2005) abgerufen am 24.03.08.
- www.colour-europe.de, Spektralphotometer SP64, abgerufen am 18.10.2008
- www.bananennews.de/pdf/allesbanane.pdf - abgerufen am 19.03.2008
- www.ble.de – Qualitätskontrolle Obst und Gemüse – Vermarktungsnormen
- www.ble.de/cln_011/nn_680064/DE/02__Kontrolle__Zulassung/01__Qualitaetskontrolle/02__Kontrolle/ObstUndGemueseFrisch.html?__nnn=true – 24.03.08
- www.ble.de/cln_011/nn_680064/SharedDocs/Downloads/02__Kontrolle__Zulassung/01__Qualitaetskontrolle/01__VermarktungsnormenObstGemuese/WarenartenNormpflichtige,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/WarenartenNormpflichtige.pdf- 24.03.08
- www.eatmorebananas.com/facts/ripening.htm - abgerufen am 08.08.2008
- www.farbkarten-shop.de, SP 64, 2008
- www.fao.org/es/esc/en/index.html- Trade and markets
- www.fogra.org/products-de/download/aktuell1126web.pdf München - Kraushaar, A.: Einflussfaktoren auf die Farbwahrnehmung. Okt. 2008

www.hensle.de/Tropische_Fruchte/botanik2.htm- abgerufen am 08.08.2008

www.hort.purdue.edu/newcrop/tropical/lecture_29/lecture_29.ppt- Bananen-
Nomenklatur-Allgemeines –lecture 29 -

www.ps.bam.de/KIT05/KIT05.PDF online abgerufen am 10.1.2009 :

Kittelmann, P.: Visuelle Überprüfung großer Farbabstände von 3- und 5 stufigen
Farbreihen. Diplomarbeit Technische Universität Berlin, Fachbereich IV –
Elektrotechnik und Informatik, Fachbereich Lichttechnik, 2005.

www.ral.de/de/ral_farben/anwender/aufbau_design.php. - RAL Design System:
Farbkörperausschnitt mit Unbuntachse. Online abgerufen am 03.11.2007

www.tis-gdv.de/tis/ware/obst/banane/banane.htm - abgerufen am 13.08.08

- www.tis-gdv.de/tis/ware/obst/banane/1002a.gif-
- Atmungsaktivität von Früchten - www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt97/wild/2b_tab.gif
- www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt97/wild/abb10.htm
- Abb. 20 Reifeentwicklung Bananen - <http://www.tis-gdv.de/tis/ware/obst/banane/1000b.jpg>
- Aufteilung eines Bananenbüschels - <http://www.tis-gdv.de/tis/ware/obst/banane/1002a.gif>
- Scharnow, R.: Seetransport von Kühl- und Gefriergut, Weiterbildung
an Bord Nr. 48, Hrsg. Sozialwerk für Seeleute e.V., Hamburg 1992. Vortrag –
biol.Grundlagen für den temperaturgeführten Transport –<http://www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt97/scharnow/scharnow.htm>

www.xrite.de, Sp64, verschiedene Informationen abgerufen am 12.05.08