

Aus dem Department für
Nutztiere und
öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Karin Schwaiger)

**Untersuchung zweier Photometer anhand von Farbmessungen an
Schweinefleisch mit unterschiedlichen Nitritkonzentrationen und deren
unterschiedlichen Lagerungsbedingungen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Sophie Stephanie Mock

Wien, im März 2022

Betreuerin

PhD. Kathrine Bak

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin der Veterinärmedizinischen Universität Wien, Institut für Lebensmittelsicherheit, Lebensmitteltechnologie und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin, Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln

Begutachter

Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen Dipl. ECVPH

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin der Veterinärmedizinischen Universität Wien, Institut für Lebensmittelsicherheit, Lebensmitteltechnologie und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin, Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
1.1 Farbe von Fleisch – Intrinsische und extrinsische Einflussfaktoren	4
1.2 Eigenschaften von Nitrat und Nitrit	5
1.3 Einsatz von Nitrat und Nitrit in der Medizin	7
1.4 Aufnahmequelle von Nitrat und Nitrit über die Nahrung	7
1.5 Messung mit dem Photometer	8
2 Material und Methoden	9
2.1 Material	9
2.1.1 Herstellung der Schweinefleischmasse	9
2.1.2 Abwiegen der Zutaten	9
2.2 Versuchsablauf	10
2.2.1 Herstellung der zwei verschiedenen Chargen	10
2.2.2 Vermischen der Zutaten beider Chargen	11
2.2.3 Abfüllen und Kochen der beiden Chargen	12
2.2.4 Schneiden und Verpacken der Proben	12
2.2.5 Beginn der Farbmessungen	13
2.2.6 Durchführung der Messung mit nix™ Color Sensor Quality Control	14
2.2.7 Durchführung der Messung mit Phyma Codec 400	15
2.2.8 Beginn eines zweiten Versuch Ablaufs	15
2.3 Statistik	16
3 Ergebnisse und Diskussion	17
3.1 Grafiken und Tabellen	17
3.1.1 Ausschnitt einer Farbmessung	17
4 Zusammenfassung	35
5 Summary	36
Abkürzungsverzeichnis	37
Literaturverzeichnis	38
Abbildungsverzeichnis	40
Tabellenverzeichnis	42

1 Einleitung

1.1 Farbe von Fleisch – Intrinsische und extrinsische Einflussfaktoren

Das wasserlösliche Protein Myoglobin ist verantwortlich für die Fleischfarbe. Über folgende drei chemische Formen von Myoglobin, und zwar Metmyoglobin (MMb), Oxymyoglobin (OMb) und Desoxymyoglobin (DMb) wird die Fleischfarbe von frischem Fleisch bestimmt.

Bei der Bildung von Metmyoglobin wird das Fleisch braun, bei Oxymyoglobin strahlend rot, bei Carboxymyoglobin hellrot und bei Desoxymyoglobin dunkellila-rot oder purpur-rosa. Letzteres ist typisch für Fleisch in Vakuumverpackungen oder für das Innere von frischem Fleisch.

Zusätzlich beeinflussen verschiedene Faktoren, wie Temperatur, Zeit, pH-Wert und die Konkurrenz um Sauerstoff durch Mitochondrien, die Myoglobin-Oxygenierung. (Meat Science Association, 2012)

Die Fleischfarbe wird durch extrinsische und intrinsische Faktoren beeinflusst. Zu den extrinsischen Faktoren zählen: Alter, Geschlecht, Genetik, Nahrungsenergie-dichte, Schlachtkörpergewicht, ante mortem Stress, Lagerzeit und Lagertemperatur, Verpackungs- und Verarbeitungsmethoden, Anwendung antimikrobieller Maßnahmen und das Ausmaß der Sauerstoffexposition. Zusätzlich spielt das postmortale Alter eine wesentliche Rolle für die Fleischfarbe. Zu den intrinsischen Faktoren zählen: Myoglobinkonzentration, pH-Wert, Muskeltyp, Muskelfaserzusammensetzung, Wasserhaltekapazität, Temperaturverlauf, Bereiche innerhalb eines Muskels und mikrobielle Belastung.

Die Fähigkeit von Fleisch Metmyoglobin zu reduzieren und der Sauerstoffverbrauch von Fleisch selbst, werden von den oben genannten Faktoren besonders beeinflusst. (Meat Science Association, 2012) Der Sauerstoffverbrauch und die Metmyoglobin - Reduktion sind zwei grundlegende Muskelmerkmale, die die Fleischfarbe beeinflussen. (Mancini & Hunt, 2005)

Die am häufigsten vorkommenden Farbvariationen (86-90%) von Schweinefleisch mit normaler Fleischqualität werden durch Myoglobinformen, Pigmentgehalt und das interne Reflexionsvermögen beeinflusst. (Lindahl et al., 2001)

Eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale, für den Konsumenten beim Fleischkauf, ist die Farbe. (Bak et al., 2012) Die typisch rot-rosa Farbe von gepökelten Fleischwaren entsteht durch die Reaktion von Nitrit mit Myoglobin. (Mercer & Rodriguez-Amaya, 2021) Die Behandlung mit Pökelfstoffen, wie Nitrat oder Nitrit, führt zur sogenannten Umrötung und Umaromatisierung. Das hitzstabile Nitrosomyoglobin wird gebildet, indem Nitrit zu Stickoxid reduziert wird und dieses sich an das Myoglobin lagert. Ohne weitere Hilfsmittel läuft die Reaktion nur bei einem pH Wert < 6,4 ab. Gibt man jedoch Umrötehilfsmittel, wie z.B. Ascorbinsäure hinzu, passiert die Umrötung schneller und die Reduktion läuft vollständig ab. Eine rote Fleischfarbe bildet sich. (Bauer & Smulders, 2015)

Die Konsumenten haben eine vorsichtige Einstellung gegenüber Nitrit und seinem Vorläufer Nitrat in Lebensmitteln. (Bedale et al., 2016) In den USA wurde 1970 Nitrit in Lebensmitteln aufgrund von gesundheitlichen Bedenken fast verboten. Die Bedenken lagen darin, dass die Nitrosaminbildung in den Lebensmitteln krebserregend sei. (Bedale et al., 2016)

Die Fleischverarbeitungsmethoden werden verändert, um die Risiken von Nitrit in Lebensmitteln zu senken, sodass nitrithaltige Lebensmittel weiterhin verkauft werden durften. (Bedale et al., 2016)

1.2 Eigenschaften von Nitrat und Nitrit

Nitrat und Nitrit wird in Verbindung mit Natrium - oder Kaliumsalzen zum Pökeln von Fleischwaren verwendet. Die Menge der verwendeten Substanzen ist gesetzlich geregelt in der RL 2006/52/EG. So dürfen z.B. in sterilisierten Fleischerzeugnissen, wie z.B. Rohschinken nassgepökelt nicht mehr als 100 mg/kg Natriumnitrit (E 250) zugefügt werden. (*RICHTLINIE 2006/52/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES 5. Juli 2006 Änderung Der Richtlinie 95/2/EG Über Andere Lebensmittelzusatzstoffe Als Farbstoffe Und Süßungsmittel Sowie Der Richtlinie 94/35/EG Über Süßungsmittel, Die in Lebensmitteln Verwendet Werden Dürfen*, n.d.)

Da Nitrit eine hohe Toxizität aufweist, darf es nur zusammen mit Salz, als Nitritpökelsalz, verkauft werden. (Bauer & Smulders, 2015)

Das bei den Versuchen verwendete NPS (Nitritpökelsalz) besteht aus 99,4 % Speisesalz (NaCl) und 0,6 % Natriumnitrit (E 250).

Einige Mikroorganismen im Fleisch werden durch das Nitrit gehemmt. Ein Teil des Nitrits wird in einer Fleischmasse durch Oxidation teilweise zu Nitrat und wirkt dadurch als Antioxidans. Der andere Teil des Nitrits wird an Myoglobin gebunden, welches das hitzestabile Nitrosomyoglobin (MbNO) bildet. Die Konzentrationen von Nitrit und Nitrat im Fleisch müssen gemessen und kontrolliert werden. (Honikel, 2008) Nitrit hemmt das Wachstum bestimmter Mikroorganismen, wie z.B. *Clostridium botulinum* und verhindert, durch Hemmung der Lipidperoxidation, dass die Lebensmittel ranzig werden. (Bedale et al., 2016)

Gepökelte Fleischprodukte sind im Gegensatz zu nur gesalzenen Fleischprodukten länger haltbar. Noch ein Vorteil der Pökellung besteht darin, dass alte Ware blass wird und dadurch leicht erkannt wird. (Bauer & Smulders, 2015)

Das NPS (Nitritpökelsalz) ist ein Zusatzstoff und hat vier Wirkungen:

- antimikrobiell
- antioxidativ
- farbstabilisierend
- geschmacksgebend (Bauer & Smulders , 2015)

Nitrat und Nitrit nimmt der Körper schnell auf und wird größtenteils als Nitrat wieder ausgeschieden. Ein Teil des aufgenommenen Nitrats strömt über die Mundspeicheldrüsen wieder ein und wird in Nitrit umgewandelt, durch die im Mund vorkommenden Bakterien. Hämoglobin verbindet sich mit Sauerstoff und wird zu Methämoglobin, durch die Aufnahme von Nitrat, wodurch die roten Blutkörperchen den Sauerstoff schlechter binden und dadurch auch schlechter durch den Körper transportieren können. (EFSA 2017)

Der Nachteil des NPS besteht darin, dass es, wie oben erwähnt, zur Bildung der sogenannten Nitrosamine kommen kann. (Bauer & Smulders, 2015)

Die Umwandlung von Nitrat zu Nitrit und der weitere Metabolismus von Stickstoffverbindungen zu Nitrosaminen, kann negative Folgen auf den Verbraucher haben, und zwar ein höheres Risiko für Magen – Darm - Krebs. (Karwowska & Kononiuk, 2020)

Dass der Fleischkonsum einen Einfluss auf das Krebsrisiko hat, ist aber ein umstrittenes Thema. (Corpet, 2011)

Studien haben belegt, dass Nitrat positive Effekte auf die Gefäß- und Stoffwechselfgesundheit haben kann. (Bedale et al., 2016)

Es existieren mehrere Berichte, die auf die positiven Aspekte von Stickoxid, das Ergebnis der Nitratumwandlung, hindeuten. Zu diesen zählen, Blutdruckkontrolle und Verbesserung der kardiovaskulären Gesundheit. (Karwowska & Koniuk, 2020)

1.3 Einsatz von Nitrat und Nitrit in der Medizin

Nitrat und Nitrit haben blutdrucksenkende Wirkungen und werden daher bei Hypertonie (Bluthochdruck) angewendet. Hypertonie wird durch viele Aspekte beeinflusst, mitunter auch durch eine beeinträchtigte Stickstoffmonoxid (NO) – Produktion. Die Behandlung mit Nitrat und Nitrit führt zur Wiederherstellung der NO – Aktivität und kommt somit potenziell zum Einsatz bei Hypertonie. (Oliveira-Paula et al., 2019) Das umgewandelte Stickstoffmonoxid führt zu einer Vasodilatation (Gefäßerweiterung) und senkt dadurch den Blutdruck. (Habermeier et al., 2015)

1.4 Aufnahmequelle von Nitrat und Nitrit über die Nahrung

Die Hauptaufnahme von Nitrat erfolgt durch Trinkwasser und Gemüse, wie z.B. Spinat, Kohl, grünes Blattgemüse, Rote Bete und Rucola, während der Großteil von Nitrit durch verarbeitetes Fleisch oder durch tierische Lebensmittel aufgenommen wird. (Bahadoran et al., 2016)

Der ADI für Nitrit beträgt derzeit 0,07 mg/kg Körpergewicht pro Tag. Der ADI für Nitrat liegt bei 3,7mg/kg Körpergewicht pro Tag. (EFSA 2017)

Nitrat- bzw. Nitrit – Rückstände in Fleischprodukten sind aber bei technologisch exakt produzierter Ware zu vernachlässigen. (Bauer & Smulders, 2015)

1.5 Messung mit dem Photometer

Im CIE 1976 (Commission International de l'Éclairage) wird die Farbe des Fleisches traditionell mithilfe der Tristimulus – Parameter L^* (Helligkeit), a^* (Rot) und b^* (Gelb) im Farbraum gemessen. L^* steht für die Helligkeit (0 = schwarz und 100 = weiß), der a^* Parameter steht für rot (positive a^* Parameter = rot, negative a^* Parameter = grün) und der b^* Parameter steht für gelb (positive b^* Parameter = gelb, negative b^* Parameter = blau). (Bak et al., 2012)

Wegen der Schnelligkeit und dem grundlegenden Einsatz zur Sortierung von Fleisch wird die instrumentelle Farbauswertung auch gerne in der Industrie eingesetzt.

Ein Vergleich von Messdaten, die mit verschiedenen Farbmessgeräten erhalten wurden, ist nicht immer zulässig, da sich nicht nur die gemessene Probe, sondern Lichtart, Apertur und das entsprechende Farbmaß (Chroma, Farbtonwinkel oder L^* -, a^* -, b^* -Werte) unterscheiden können. (Brewer et al., 2001)

Das Ziel der Arbeit ist es, die Messungen der Schweinefleischproben, welche zwei verschiedenen Nitritkonzentrationen haben und hell und dunkel gelagert wurden, zu vergleichen. Dazu wurden die zwei Farbmessgeräte Phyma Codec 400 und nixTM Color Sensor Quality Control verwendet.

2 Material und Methoden

2.1 Material

2.1.1 Herstellung der Schweinefleischmasse

Es wurden zwei verschiedene Chargen mit Schweinefleisch hergestellt, eine Charge mit 60g NPS und kein NaCl (bezeichnet als normale Charge) und eine Charge mit 30g NPS und 30g Kochsalz (bezeichnet als reduzierte Charge). Die Masse der Chargen betrug insgesamt jeweils drei Kilo. Ascorbinsäure und Phosphat (3g/kg Gesamtmasse) wurden auch noch hinzugegeben. Zur Herstellung der Schweinefleischmasse wurde Schweine Pasteten Speck tiefgekühlt in Vakuum verpackt (Firma NEMETZ-FLEISCH Handels GesmbH Böheimkirchen), AMA Schweinefleisch Karree gekühlt (Jöbstl Bauerngut GmbH Wolfsberg) und Rückenspeck ohne Schwarte roh (Genießerqualität Heute gibt`s...) verwendet.

2.1.2 Abwiegen der Zutaten

Zum Abwiegen der Fleischzutaten und dem Brucheis wurde die Neigungswaage (Bizerba, August Sauter KG, Deutschland) verwendet.

Für die reduzierte Charge wurden 1,4 kg des Schweinefleisch (Karree), 0,6 kg des Schweinespeck und Rückenspeck ohne Schwarte abgewogen. Die Einwaage des verwendeten NPS, NaCl und Phosphat erfolgte mit der Waage (Sartorius Basic-Plus BP4100 elektrisch, Sartorius AG, Deutschland).

2.2 Versuchsablauf

2.2.1 Herstellung der zwei verschiedenen Chargen

Zuerst wurde für die normale Charge 1,4 kg des AMA Schweinefleisch Karree gekühlt (Jöbstl Bauerngut GmbH Wolfsberg), 0,6 kg des Schweine Pasteten Speck tiefgekühlt in Vakuum verpackt (Firma NEMETZ-FLEISCH Handels GesmbH Böheimkirchen) und des Rückenspeck ohne Schwarte roh (Genießerqualität Heute gibt`s...) abgewogen. Zusätzlich noch ein Kilo gecrashtes Eis. Danach wurden 60g NPS, 1,5g $C_6H_8O_6$ und 9g Brätphosphat eingewogen.

Für die reduzierte Charge wurden ebenfalls 1,4 kg des AMA Schweinefleisch Karree gekühlt (Jöbstl Bauerngut GmbH Wolfsberg), 0,6 kg des Schweine Pasteten Speck tiefgekühlt in Vakuum verpackt (Firma NEMETZ-FLEISCH Handels GesmbH Böheimkirchen) und des Rückenspeck ohne Schwarte roh (Genießerqualität Heute gibt`s...) abgewogen. Zusätzlich noch ein Kilo gecrashtes Eis. Hierfür wurden aber 30g NaCl, 30g NPS, 1,5g $C_6H_8O_6$ und 9g Brätphosphat eingewogen.

Zutaten	Menge
Schweinefleisch	1,4 kg
Schweine Pasteten Speck / Rückenspeck	0,6 kg
Gecrashtes Eis	1 kg
NPS	60 g
$C_6H_8O_6$	1,5 g
Brätphosphat	9 g

Tabelle 1: Zutaten der normalen Charge

Zutaten	Menge
Schweinefleisch	1,4 kg
Schweine Pasteten Speck / Rückenspeck	0,6 kg
Gecrashtes Eis	1 kg
NaCl	30 g
NPS	30 g
C ₆ H ₈ O ₆	1,5 g
Brätphosphat	9 g

Tabelle 2: Zutaten der reduzierten Charge

2.2.2 Vermischen der Zutaten beider Chargen

Begonnen wurde mit der Charge mit reduzierter Nitritzugabe. Mit dem Fleischwolf (MA[®] DO Primus MADO-MEW 603, MADO GmbH, Deutschland) wurde das Fleisch und der Speck zu circa 5mm dicken Strängen faschiert. Der Kutter (MA[®] DO Garant MTK 662, MADO GmbH, Deutschland), wurde mit etwas Eis vorgekühlt, welches dann wieder entfernt wurde. Nun wurde das Faschierte, aus Fleisch und Speck, mit circa 0,5 kg Eis in den Kutter gegeben und der Kuttervorgang gestartet. Nach und nach wurden die eingewogenen Salze und das restliche Eis hinzugefügt. Die Masse sollte möglichst kühl gehalten werden, nie über 10 °C, da die Proteine sonst denaturieren. Während des Kuttervorgangs wurden, mit einer Spachtel, die Reste von der Wand des Kutters gestrichen. Sobald die Masse teigige Konsistenz und etwas über 5 °C hatte, war die Masse fertig.

2.2.3 Abfüllen und Kochen der beiden Chargen

Die beiden Massen ließ man nach dem Kuttern für circa 30 Minuten ruhen, damit die Fleischmasse durch das enthaltene NPS umrötet. Nitrit ist ausschlaggebend für den Geschmack und die typische rosa bzw. rötliche Farbe. (Bedale et al., 2016)

Danach wurde die 3 kg Schweinefleischmasse, der reduzierten Charge, zu je 1 kg in drei Vakuumbutel (Vakuum SR Beutel Combivac S90, Felzmann Verpackungen, Österreich) mit der Größe 40x60cm abgefüllt. Der gleiche Vorgang wurde bei der Schweinefleischmasse, der normalen Charge wiederholt.

Anschließend wurden die sechs Beutel mit dem Gerät Henkovac (Henkovac Fahrbare M2, Niederlande) vakuumiert und die Masse zu einer Rolle geformt. Die sechs Beutel wurden, getrennt nach Charge, in ein Wasserbad (Polystat cc1, Huber Kältemaschinenbau AG, Deutschland) bei circa 75 °C – 78 °C gegeben und für circa 1,5h gekocht. Danach wurden die Vakuumbutel vorsichtig aus dem Wasserbad genommen und zum Auskühlen, für circa 30 Minuten in ein kaltes Wasserbad gegeben. Die abgekühlten Vakuumbutel wurden über Nacht in einem Kühlschrank bei 4°C gelagert.

2.2.4 Schneiden und Verpacken der Proben

Ein Tag nach der Herstellung wurden die Stangen aus Fleischmasse in drei cm dicke Scheiben geschnitten und in Frischhaltefolie eingewickelt. Beim Einwickeln der Fleischstücke musste man Acht geben, dass keine Luftblasen unter der Frischhaltefolie sind. So wurden von beiden Chargen jeweils 12 Stück vorbereitet. Die Fleischstücke von der normalen Charge wurden auf Papierteller gelegt und mit den Buchstaben A – L versehen. Die Proben A – F wurden kühl und dunkel, mit einem Karton bedeckt, gelagert, die Proben G – L kühl und hell gelagert. Das gleiche wurde mit den 12 Proben der reduzierten Charge gemacht. (Probe A – L kühl und dunkel und Probe G – L kühl und hell gelagert.) Zur Lagerung diente ein Kühlschrank mit einer Temperatur zwischen 3°C – 5°C. Der Kühlschrank hatte eine Glastür, sodass natürliches Licht zu den nicht bedeckten Proben gelangen konnte.

2.2.5 Beginn der Farbmessungen

Am selben Tag wurde noch mit den Messungen begonnen. Die Proben blieben während der Messungen in der Frischhaltefolie eingewickelt. Durch das Glattstreichen der Oberfläche vor der Messung wurden etwaige Falten der Folie, sowie Luftblasen und Kondenswasser zwischen Folie und Probe entfernt, sodass die Messung nicht durch die Folie beeinträchtigt wurde. Jedes Fleischstück wurde an zwei verschiedenen Stellen, eine mittig und eine am Rand, gemessen. Die Messungen erfolgten mit dem Farbmessgerät (Phyma Codec 400 (6500K Farbtemperatur, 10° Apertur) Phyma, Österreich) und dem Farbmessgerät (nix™ Color Sensor Quality Control, Nix Sensor Ltd., Kanada) mittels Nix QC App (Version 1.4.1) am Smartphone. Der Messzeitraum für diesen Messvorgang betrug 14 Tage. Die dunkel gelagerten Proben wurden mit der Messseite nach unten im Kühlschrank gelagert, die hell gelagerten Proben mit der Messseite nach oben. Von den Geräten wurde die Helligkeit L^* , der Rotton a^* und der Gelbton b^* gemessen. Es wurde getestet, ob es zwischen den unterschiedlich zusammengesetzten und gelagerten Proben zu einer Farbveränderung bzw. einem Farbunterschied kommt.

Zusätzlich wurde ΔE (=Gesamtfarbunterschied zwischen den Proben mit normalem und reduziertem Nitritanteil) berechnet.

Formel für ΔE

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

2.2.6 Durchführung der Messung mit nix™ Color Sensor Quality Control

Die Nix QC App für die Messung kann im App Store heruntergeladen werden.

Das nix™ Farbmessgerät muss mit dem gewünschten Smartphone per Bluetooth verbunden werden. Vor Messbeginn muss eine schwarz – weiß Kalibrierung durchgeführt werden. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, nimmt man das diamantenförmige Messgerät und hält es auf das zu messende Objekt, in diesem Fall eine Fleischprobe, und wählt am Smartphone den Button „Scan“ aus. Danach bekommt man die Messwerte direkt aufs Handy. Diese werden automatisch gespeichert und können dann per Mail verschickt werden.



Abbildung 1: Beispiel Messung mit Farbmessgerät (nix™ Color Sensor Quality Control)

2.2.7 Durchführung der Messung mit Phyma Codec 400

Beim Farbmessgerät Phyma Codec 400 (Abb. 2), das in Verbindung mit einem PC verwendet wird, muss man zuerst eine Treiber Software „Treibercodec 400“ öffnen. Dieses Programm bleibt während der Messungen im Hintergrund geöffnet und zeichnet alles auf. Danach öffnet man die Excel Datei „Farbmetrik Codec 400“ und macht ebenfalls eine schwarz – weiß Kalibrierung. Nun kann mit den Messungen begonnen werden. Der Messkopf wird auf die Fleischprobe gelegt und die Taste F9 wird gedrückt, die Daten erscheinen in einer Zeile.



Abbildung 2: Farbmessgerät Phyma Codec 400

2.2.8 Beginn eines zweiten Versuch Ablaufs

Der gesamte Versuch wurde nach Beendigung der Messungen nach 14 Tagen, noch einmal nur mit einer neu hergestellten Fleischmasse wiederholt, aber zu den gleichen Bedingungen, wie bei der ersten Fleischmasse bzw. dem ersten Versuchsablauf.

2.3 Statistik

Die Daten wurden zunächst deskriptiv in Form von Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) sowie Minimum (min) und Maximum (max) dargestellt. Der Einfluss der beiden Faktoren Charge (normale NPS Menge/reduzierte NPS Menge) und Lagerung (hell/dunkel) auf die mit den beiden Methoden gemessenen Farbparameter (L^* , a^* , b^*) wurde für jeden Parameter mit einem allgemeinen linearen Modell (GLM) analysiert, wobei die Charge und die Lagerung sowohl als Einzelfaktoren als auch als Interaktionsterm im Modell aufgenommen wurden. Die beiden Methoden (Farbmessgerät Phyma Codec 400 und nixTM Color Sensor Quality Control) wurden dabei als Messwiederholungsfaktor im Modell realisiert. Da alle Faktoren genau zwei Stufen aufweisen, können die Haupteffekte direkt überprüft werden, weshalb die Notwendigkeit von Mehrfachvergleichen im Rahmen von post-hoc-Tests entfällt.

Der Zusammenhang zwischen den beiden Methoden hinsichtlich der gemessenen Parameterausprägungen wurde mit der Korrelation nach Pearson ermittelt und auf Signifikanz geprüft. Die Differenzen der beiden Methoden wurden zusätzlich für jede Faktorstufenkombination mit onesample-t-Tests auf Signifikanz geprüft. Der Einfluss der Zeit, also die Veränderung der Parameterwerte über den Erhebungszeitraum, wurde für die Faktorstufenkombinationen getrennt mit linearen Regressionsmodellen der Form $y = a + b \cdot x$ (Methode Enter) analysiert.

Die für alle zur Anwendung gebrachten Analysen notwendige Voraussetzung der Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft. Alle Analysen wurden mit dem Programm IBM SPSS Version 27 durchgeführt.

Für alle statistischen Analysen wurde ein p-Wert unter 5% ($p < 0,05$) als signifikant erachtet.

3 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Versuchsergebnisse anhand von Grafiken, Tabellen und Fotos dargestellt und diskutiert.

3.1 Grafiken und Tabellen

3.1.1 Ausschnitt einer Farbmessung

Tag	Charge	Licht	Messung	Stück	L* Phy	a* Phy	b* Phy	L* Nix	a* Nix	b* Nix
1	normal	dunkel	1	A	78,90	5,05	7,26	75,91	5,93	5,68
1	normal	dunkel	2	A	78,24	5,37	7,57	76,17	5,39	6,07
1	normal	dunkel	1	B	77,59	5,26	7,99	76,02	5,44	6,69
1	normal	dunkel	2	B	78,70	5,27	7,90	76,4	5,67	6,22
1	normal	dunkel	1	C	76,40	4,76	8,46	75,61	4,84	6,7
1	normal	dunkel	2	C	78,44	4,74	8,66	76,6	5,12	6,92
1	normal	dunkel	1	D	76,82	5,08	8,07	76,71	5,61	6,44
1	normal	dunkel	2	D	77,54	5,05	8,45	76,05	5,83	7,09
1	normal	dunkel	1	E	77,56	4,85	8,32	76,31	4,92	6,95
1	normal	dunkel	2	E	78,10	4,95	8,38	76,62	5,2	6,9
1	normal	dunkel	1	F	77,51	4,86	8,44	75,93	5,33	6,56
1	normal	dunkel	2	F	78,05	4,88	9,06	76,26	5,47	7,18
1	normal	hell	1	G	77,23	4,70	8,48	76,06	4,29	6,99
1	normal	hell	2	G	77,99	4,82	8,64	76,7	3,76	7,45
1	normal	hell	1	H	77,05	4,68	7,97	75,29	3,64	6,82
1	normal	hell	2	H	78,48	4,74	8,63	76,61	3,96	7,44
1	normal	hell	1	I	77,74	4,70	8,28	76,41	4,06	7,37
1	normal	hell	2	I	78,55	4,81	8,37	76,78	4,02	7,66
1	normal	hell	1	J	77,64	4,36	8,59	76,1	4,06	7,49
1	normal	hell	2	J	78,81	4,51	9,37	76,23	4,05	8,49
1	normal	hell	1	K	77,20	4,37	8,60	75,17	4,33	7,47
1	normal	hell	2	K	77,88	4,25	9,04	76,23	4,17	7,55
1	normal	hell	1	L	77,11	4,72	8,99	75,51	3,74	8,1
1	normal	hell	2	L	78,55	4,62	9,25	75,82	4,14	8,48

Tabelle 3 : Messung von Tag 1 der normalen Charge (normale Menge an NPS) und der reduzierten Charge (reduzierte Menge an NPS) mit dem Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät

1	reduziert	dunkel	1	A	76,32	5,81	7,77	74,2	5,3	7,05
1	reduziert	dunkel	2	A	77,20	6,06	7,82	74,98	6,31	6,5
1	reduziert	dunkel	1	B	76,51	6,06	7,47	74,2	5,85	5,92
1	reduziert	dunkel	2	B	77,66	6,00	7,86	75,19	6,24	6,93
1	reduziert	dunkel	1	C	76,48	5,60	7,64	74,78	5,84	6,95
1	reduziert	dunkel	2	C	76,70	5,62	8,86	75,45	5,81	7,61
1	reduziert	dunkel	1	D	75,92	5,95	7,87	74,55	6,06	6,22
1	reduziert	dunkel	2	D	76,13	6,12	7,97	74,55	6,39	7,14
1	reduziert	dunkel	1	E	76,16	5,81	8,10	74,46	6,11	6,51
1	reduziert	dunkel	2	E	77,43	5,61	8,14	74,19	5,69	6,68
1	reduziert	dunkel	1	F	76,35	5,17	8,98	75,09	5,71	6,99
1	reduziert	dunkel	2	F	75,95	5,09	8,75	74,5	5,64	8,12
1	reduziert	hell	1	G	76,22	4,73	9,06	74,18	3,83	8,1
1	reduziert	hell	2	G	77,38	4,66	9,20	75,62	4,01	8,44
1	reduziert	hell	1	H	76,60	4,64	9,22	74,7	4,62	8,09
1	reduziert	hell	2	H	76,17	4,75	9,54	74,89	4,72	8,17
1	reduziert	hell	1	I	76,28	4,60	9,54	74,92	4,42	8,28
1	reduziert	hell	2	I	77,21	4,45	9,76	75,74	4,34	8,35
1	reduziert	hell	1	J	76,93	4,56	9,35	75,43	3,82	8,53
1	reduziert	hell	2	J	76,87	4,42	9,51	74,72	4,18	9,19
1	reduziert	hell	1	K	76,83	4,46	9,17	74,35	4,26	7,69
1	reduziert	hell	2	K	77,06	4,70	9,58	75,68	3,66	8,25
1	reduziert	hell	1	L	76,49	5,24	9,15	74,91	4,56	8,25
1	reduziert	hell	2	L	76,38	5,37	9,14	74,24	5	8,2

Fortsetzung der Tabelle 3: Fortsetzung von Messung von Tag 1 der normalen Charge (normale Menge an NPS) und der reduzierten Charge (reduzierte Menge an NPS) mit dem Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nixTM Color Sensor Quality Control Farbmessgerät

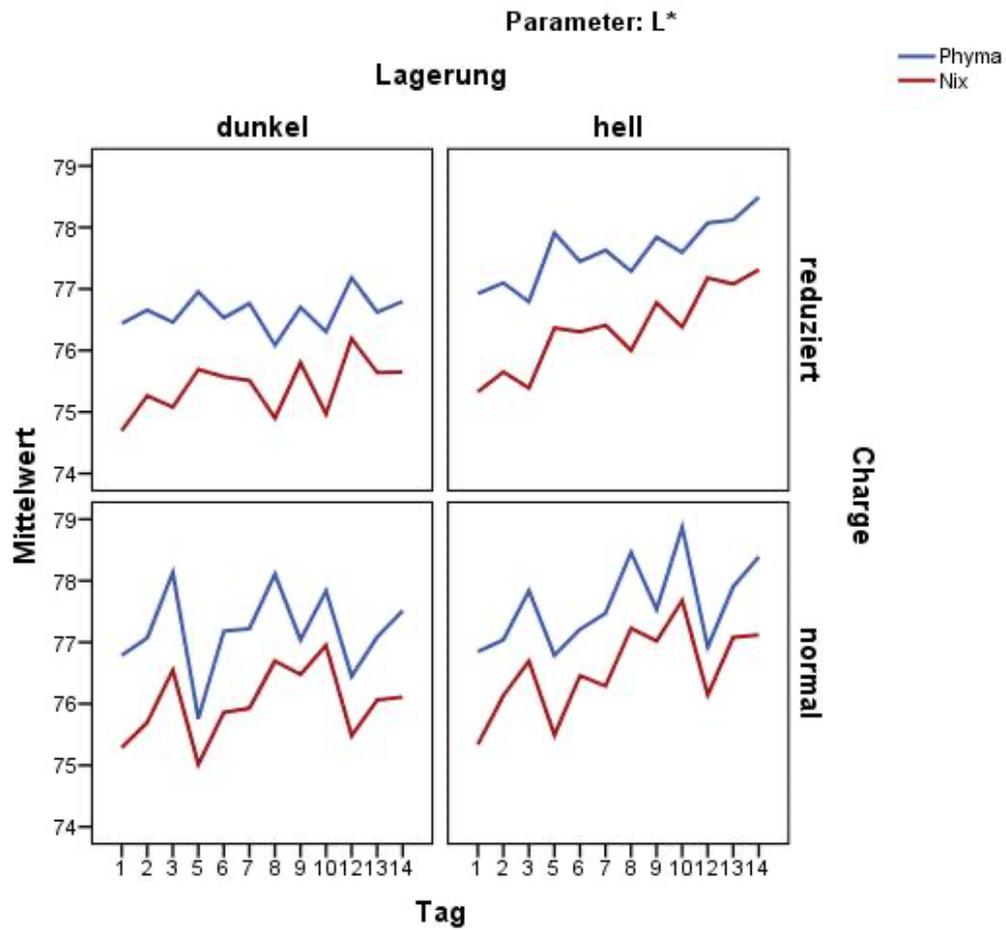


Abbildung 3 : Farbwert L* von den hell und dunkel gelagerten Proben, Gegenüberstellung der Messwerte vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät, Messzeitraum über 14 Tage; L*.. Helligkeit

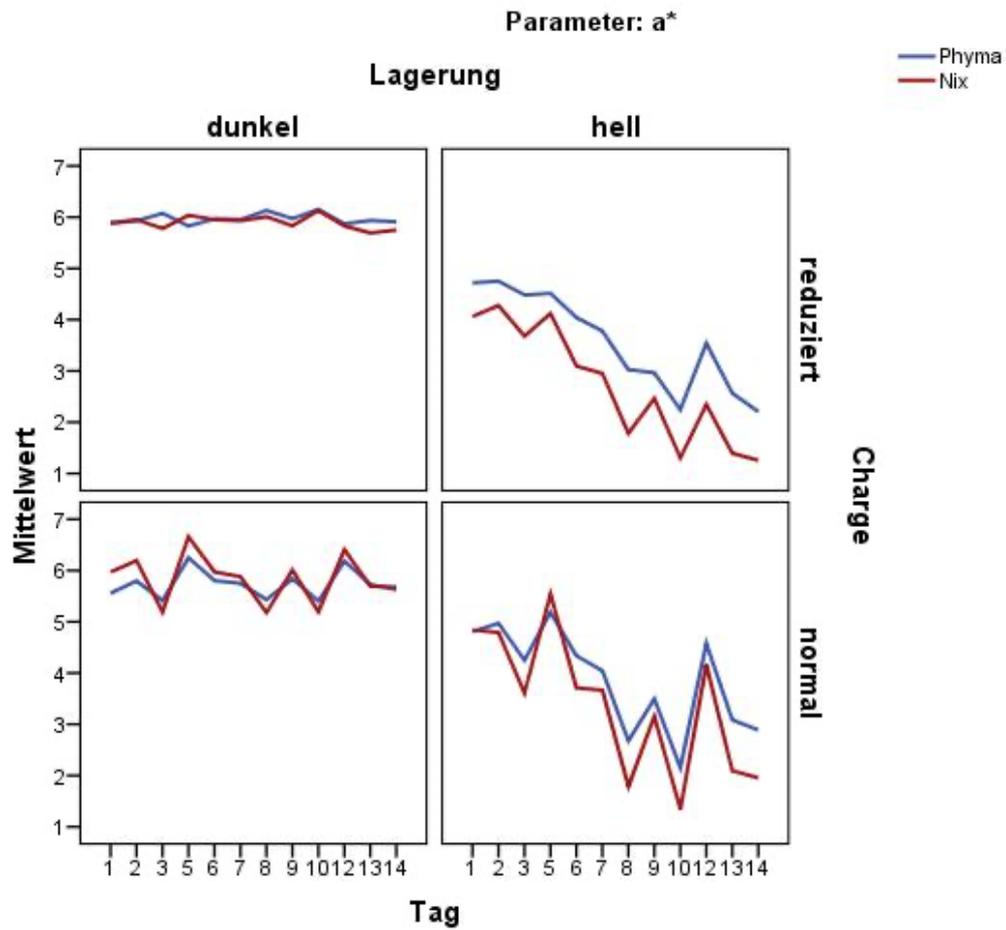


Abbildung 4 : Farbwert a* von den hell und dunkel gelagerten Proben, Gegenüberstellung der Messwerte vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät, Messzeitraum über 14 Tage; a*.. Rotton

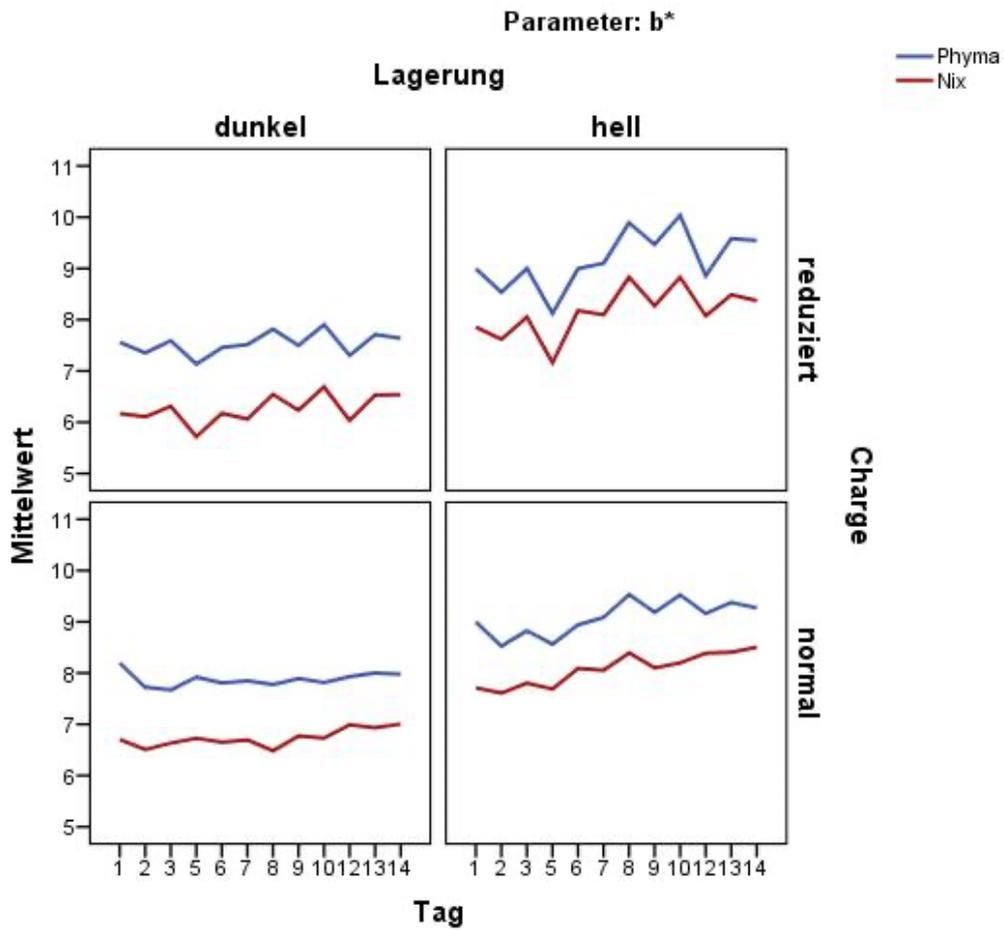


Abbildung 5 : Farbwert b^* von den hell und dunkel gelagerten Proben, Gegenüberstellung der Messwerte vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nixTM Color Sensor Quality Control Farbmessgerät, Messzeitraum über 14 Tage; b^* .. Gelbton

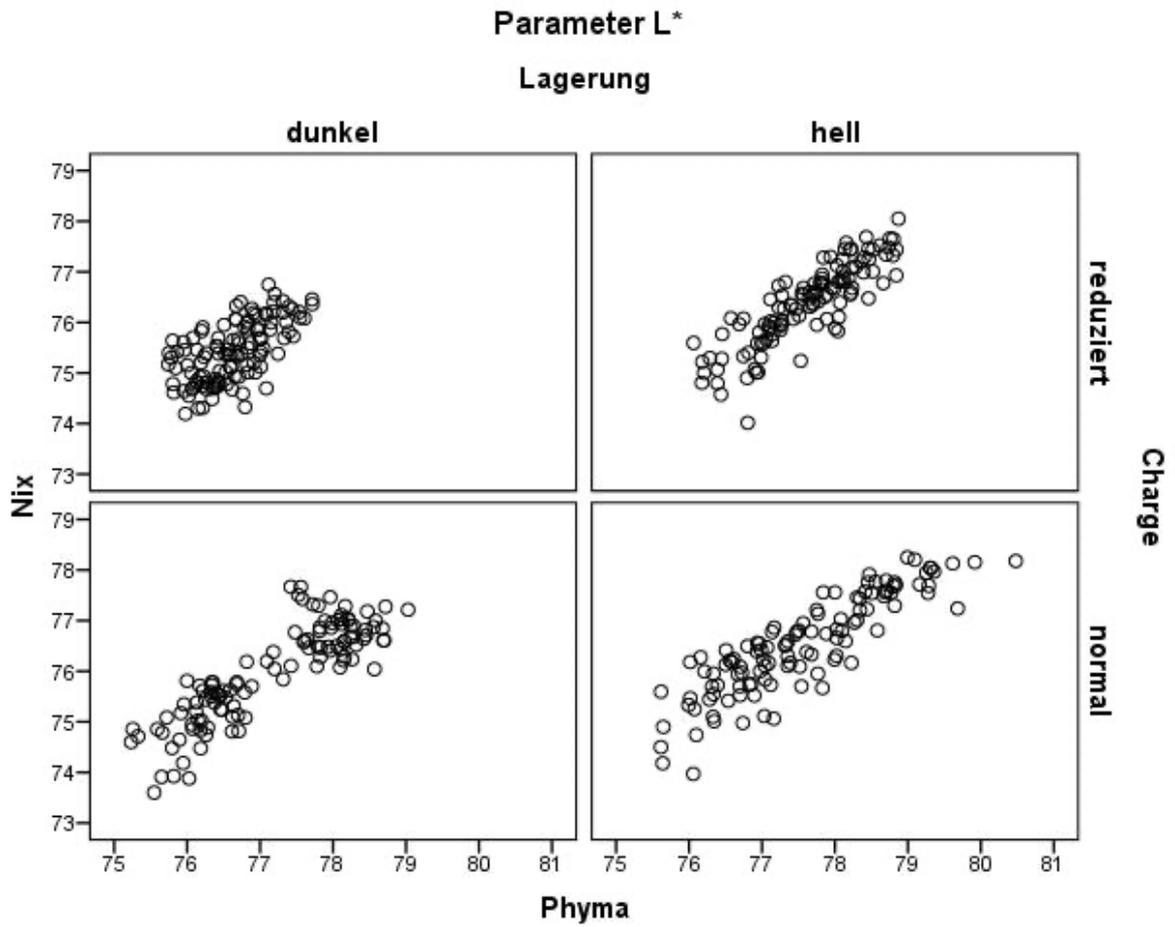


Abbildung 6 : Vergleich der Messwerte in Form von Punkten vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nixTM Color Sensor Quality Control Farbmessgerät des Parameters L*, bei hell und dunkel Lagerung; L*.. Helligkeit

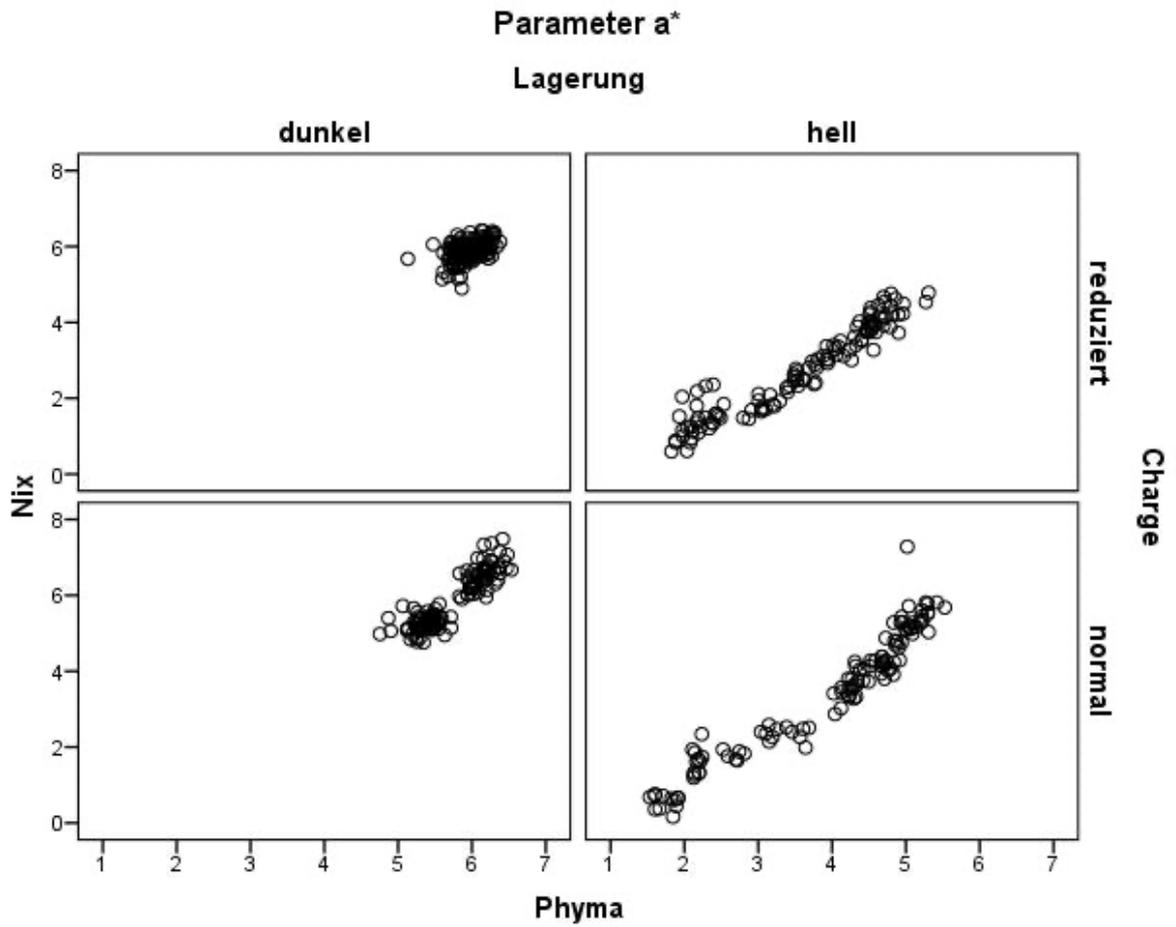


Abbildung 7 : Vergleich der Messwerte in Form von Punkten vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät des Parameters a*, bei hell und dunkel Lagerung; a*.. Rotton

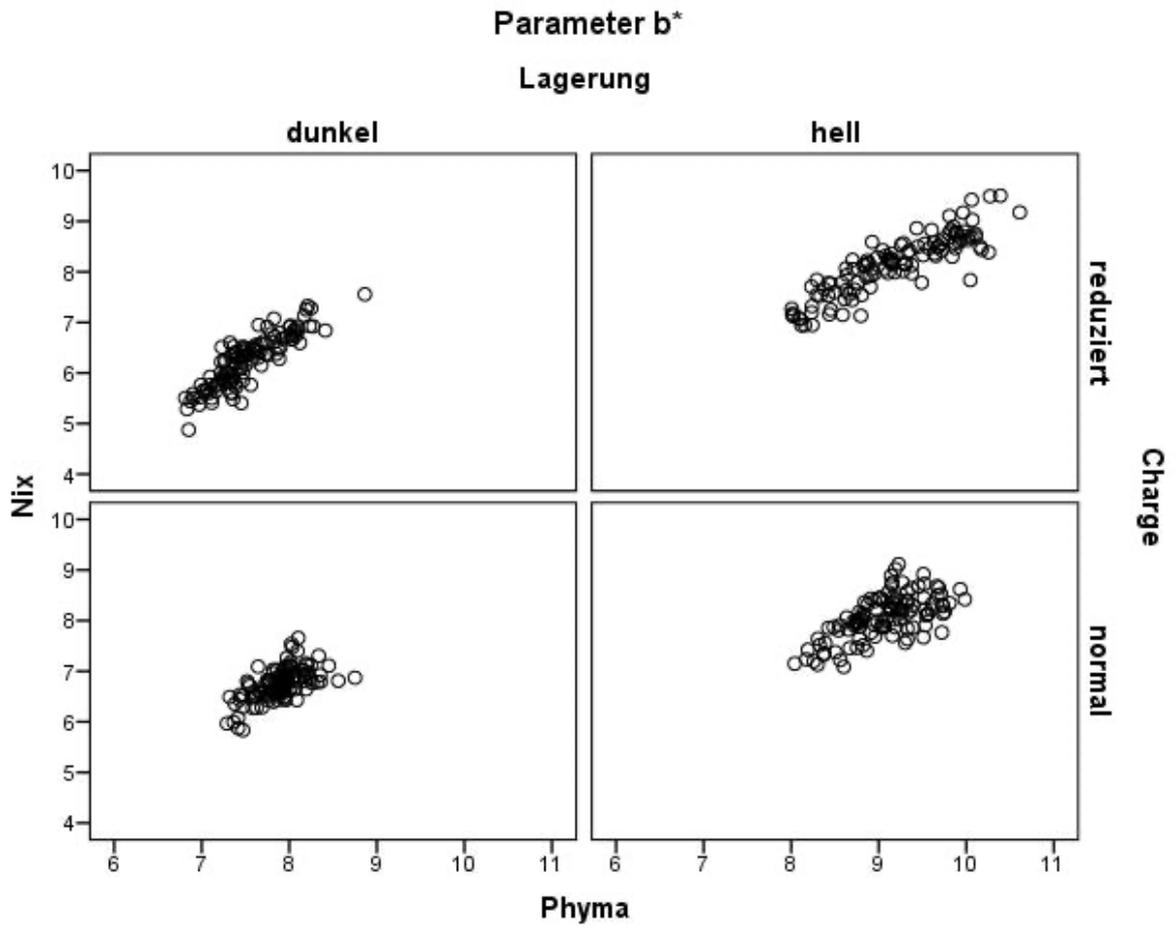


Abbildung 8 : Vergleich der Messwerte in Form von Punkten vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nixTM Color Sensor Quality Control Farbmessgerät des Parameters b^* , bei hell und dunkel Lagerung; b^* .. Gelbton

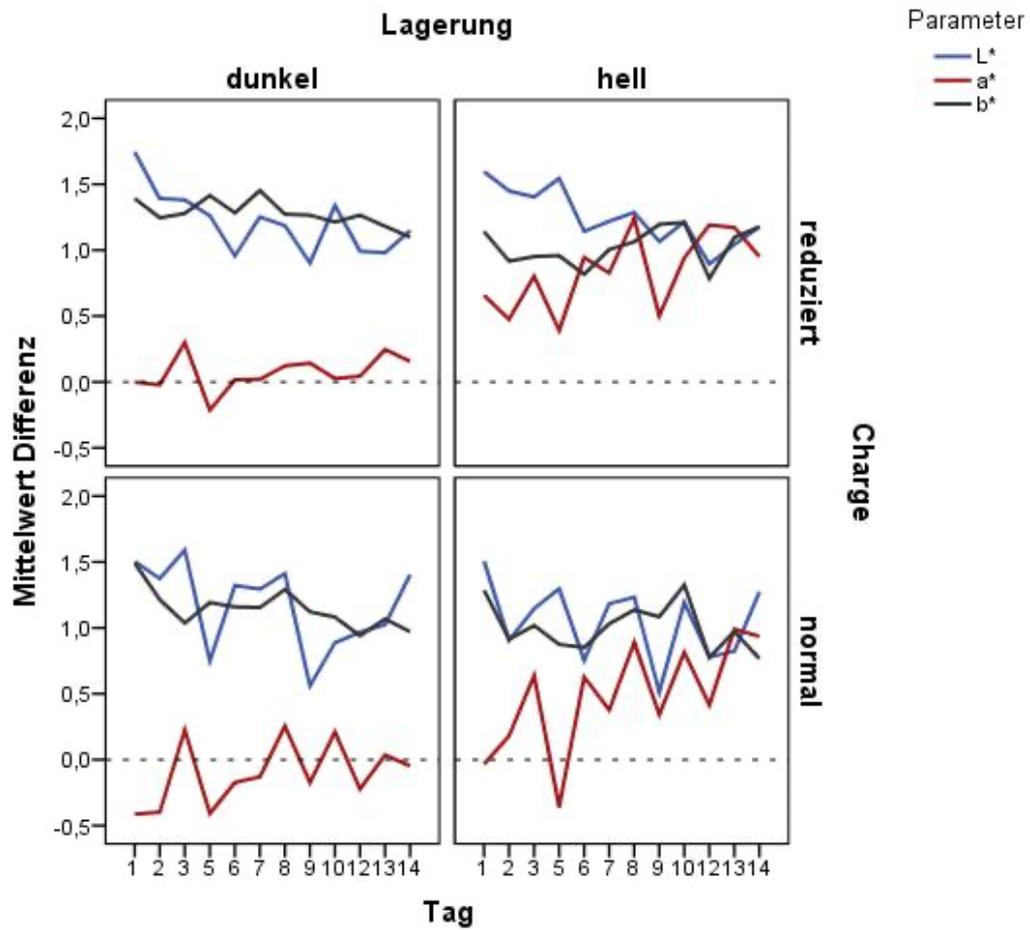


Abbildung 9 : Differenz der einzelnen Farbwerte (L^* , a^* , b^*) bei hell und dunkel Lagerung, Vergleich vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nixTM Color Sensor Quality Control Farbmessgerät; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

Die Minimum- und Maximumwerte von Tabelle 4-9 wurden anhand von allen gesammelten Werten über den gesamten Lagerzeitraum berechnet.

Tabelle 4 : Die Helligkeit L mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 gemessen*

Farbmesswert	Lagerung	Charge	Minimum	Maximum
L*	dunkel	reduziert	75,74	77,72
	dunkel	normal	75,23	79,03
	hell	reduziert	76,06	78,87
	hell	normal	75,61	80,48

Tabelle 5 : Der Rotton a mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 gemessen*

Farbmesswert	Lagerung	Charge	Minimum	Maximum
a*	dunkel	reduziert	5,13	6,38
	dunkel	normal	4,75	6,53
	hell	reduziert	1,83	5,31
	hell	normal	1,53	5,53

Tabelle 6 : Der Gelbton b mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 gemessen*

Farbmesswert	Lagerung	Charge	Minimum	Maximum
b*	dunkel	reduziert	6,81	8,86
	dunkel	normal	7,29	8,75
	hell	reduziert	8,01	10,61
	hell	normal	8,04	9,98

Tabelle 7 : Die Helligkeit L^ gemessen mit dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät*

Farbmesswert	Lagerung	Charge	Minimum	Maximum
L^*	dunkel	reduziert	74,19	76,75
	dunkel	normal	73,60	77,67
	hell	reduziert	74,02	78,05
	hell	normal	73,97	78,25

Tabelle 8 : Der Rotton a^ gemessen mit dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät*

Farbmesswert	Lagerung	Charge	Minimum	Maximum
a^*	dunkel	reduziert	4,90	6,43
	dunkel	normal	4,76	7,48
	hell	reduziert	0,60	4,78
	hell	normal	0,17	7,28

Tabelle 9 : Der Gelbton b^ gemessen mit dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät*

Farbmesswert	Lagerung	Charge	Minimum	Maximum
b^*	dunkel	reduziert	4,88	7,56
	dunkel	normal	5,84	7,65
	hell	reduziert	6,94	9,51
	hell	normal	7,09	9,12



Abbildung 10 : Proben an Tag 14 vom ersten Versuchsablauf, Ende des Messzeitraums
 1. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: Proben der reduzierten Charge dunkel gelagert, Papierteller drei und vier: Proben der reduzierten Charge hell gelagert;
 2. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: Proben der normalen Charge dunkel gelagert, Papierteller drei und vier: Proben der normalen Charge hell gelagert;



Abbildung 11 : Proben an Tag 14 vom zweiten Versuchsablauf, Ende des Messzeitraums

1. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der reduzierten Charge dunkel gelagert

2. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der reduzierten Charge hell gelagert



Abbildung 12 : Proben an Tag 14 vom zweiten Versuchsablauf, Ende des Messzeitraums
1. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der normalen Charge dunkel gelagert
2. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der normalen Charge hell gelagert

Tabelle 10: ΔE (Gesamtfarbunterschied zwischen den Proben mit normalem und reduziertem Nitritanteil) Wert berechnet für Tag 1, 7 und Tag 14 mit den Messwerten vom nixTM Color Sensor Quality Control Farbmessgerät

ΔE	Tag 1	Tag 7	Tag 14
Dunkellagerung	1,42	1,18	1,22
Helllagerung	2,17	2,51	2,38

Durch die vorgenommenen Messungen konnten die Messeigenschaften der zwei Farbmessgeräte geprüft werden.

Der Vergleich der Methode der Farbmessungen von den zwei Farbmessgeräten, der verschiedenen Fleischproben, ergab signifikante Messunterschiede, für die Helligkeit L^* ($p=0,00$), den Rotton a^* ($p=0,00$) und den Gelbton b^* ($p=0,00$). Die Messungen des Farbmessgeräts von nixTM sind ähnlich den Messungen des Farbmessgeräts von Phyma.

Wie in Tabelle 10 dargestellt liegt ΔE (=Gesamtfarbunterschied zwischen den Proben mit normalem und reduziertem Nitritanteil) bei Dunkellagerung zwischen 1,18 – und 1,42. Bei der Helllagerung liegt ΔE zwischen 2,17 – 2,51. Da die Farbe der Lebensmittel eine große Rolle bei den Konsumenten spielt, wurde in der Studie (Altmann et al., 2022) mit einem dezentralen computergestützten systematischen Diskriminationstestverfahren untersucht, wie gut die Konsumenten zwischen systematisch variierten Farben unterscheiden können. Für die Studie wurde frisches Fleisch von Schweinen verwendet. Bei $\Delta E > 1$ konnten die Probanden im Durchschnitt einen Farbunterschied feststellen. Jedoch ist nicht sicher, inwieweit dieser Gesamtfarbunterschied für die Bevölkerung relevant ist. (Altmann et al., 2022)

Wenn man die Ergebnisse der Studie genauer betrachtet, konnten nur etwa 40% der Probanden einen Farbunterschied erkennen bei $\Delta E = 1$.

60 % der Probanden konnten einen Farbunterschied erst ab $\Delta E = 3$ wahrnehmen. Abschließend kann man sagen, dass jedoch auch bei $\Delta E = 3$, nicht von jedem Verbraucher eine Unterscheidung der Fleischfarbe, wahrnehmbar ist. (Altmann et al., 2022)

Deswegen stellt $\Delta E = 1$ einen Schwellenwert dar, der Farbunterschiede für Konsumenten wahrnehmbar macht. (Altmann et al., 2022)

Tabelle 10 besagt also, dass Konsumenten den Farbunterschied, zwischen den Proben mit normalem und reduziertem Nitritanteil, bei den hell gelagerten Proben wahrscheinlich mehr wahrnehmen würden als bei den dunkel gelagerten Proben.

Der Farbwert L^* wird fast nicht von der Umgebungshelligkeit beeinflusst. (Abb. 3) Die Standardabweichung beträgt bei der Dunkellagerung 0,50 und bei der Helllagerung 0,46.

Die Differenz, aller gemittelten Messwerte der zwei Farbmessgeräte, bei L^* liegt im Bereich 1,03 – 1,25 bei den hell gelagerten Proben und bei den dunkel gelagerten Proben im Bereich 1,19 – 1,21. Dies ist ähnlich, wie in der Studie von (Bak et al., 2012), hier wurde zwar nicht das Augenmerk auf die Helligkeit bei der Lagerung gelegt, dafür aber auf HP (high pressure)

-behandeltes Schweinefleisch. Dieses wurde über sechs Tage bei einer Lagerung von 5°C gemessen und die L* Werte blieben auch hier, auf einem konstant niedrigen Niveau, über den gesamten Lagerungszeitraum. (Bak et al., 2012)

Der Farbwert a* hat eine Standardabweichung von 0,27 bei Dunkellagerung. Man kann daraus schließen, dass die Dunkelheit keinen Einfluss auf den Farbwert a* hat. Jedoch erkennt man, dass die Lagerung ohne Ausschluss von Tageslicht den Farbwert a* ein wenig beeinflusst. (Abb.4) Der a* Wert sinkt über den Messzeitraum und hat eine Standardabweichung von 0,37. Die Differenz, aller gemittelten Messwerte der zwei Farbmessgeräte, bei a* liegt im Bereich 0,49 – 0,82 bei den hell gelagerten Proben und bei den dunkel gelagerten Proben im Bereich – 0,13 – 0,07. Verglichen mit der Studie von (Bak et al., 2012) sinken auch hier die a* Werte, von HP behandeltem Schweinefleisch, signifikant von Tag 0 auf Tag 1, bei einer Lagerung von 5°C. Danach bleiben sie relativ konstant. (Bak et al., 2012)

Beim Farbwert b* hat die Umgebungshelligkeit (sowohl Hell- und Dunkellagerung) einen geringen Einfluss auf den Farbwert b*. (Abb.3)

Die Differenz, aller gemittelten Messwerte der zwei Farbmessgeräte bei b* liegt hier im Bereich 1 – 1,03 bei den hell gelagerten Proben und bei den dunkel gelagerten Proben im Bereich 1,15 – 1,28. Verglichen mit der Studie von (Bak et al., 2012) stiegen die b* Werte, bei den HP - Schweinefleischproben, bei der Lagerung von 5°C signifikant an, am meisten aber von Tag 0 auf Tag 1, danach blieben sie relativ konstant. (Bak et al., 2012)

Optisch zeigte sich nach dem 14 – tägigen Messzeitraum, dass die dunkel gelagerten Proben eine rötlichere Farbe hatten, sowohl bei der normalen Charge als auch bei der reduzierten Charge. (Abb. 10, 11 und 12) Dies war zu erwarten, da die Kombination von Licht und Sauerstoff ein Verblässen der Farbe verursachen. (Andersen et al., 1988)

Die typisch rot-rosa Farbe von gepökelten Fleischwaren, entsteht durch die Reaktion von Nitrit mit Myoglobin. (Mercer & Rodriguez-Amaya, 2021)

Die hell gelagerten Proben zeigten ein sehr blasses Aussehen, sowohl bei der normalen Charge, als auch bei der reduzierten Charge. Für das weiße Erscheinungsbild der Fleischstücke ist die Proteindenaturierung verantwortlich. (Bak et al., 2012)

Wie man den Abbildungen 10, 11 und 12 entnehmen kann, ist die Farbe der Proben mit reduziertem Nitritanteil so gut, wie die Farbe der Proben mit normalen Nitritanteil, bei

Dunkellagerung. Daraus ergibt sich, dass die dunkel gelagerten Proben röter erscheinen als die hell gelagerten Proben. Bei der Helllagerung ist die Farbe der Proben mit reduziertem Nitritanteil ebenso gut, wie die Farbe der Proben mit normalen Nitritanteil.

Abschließend kann man sagen, dass das Farbmessgerät nix™ Color Sensor Quality Control ebenso verwendet werden kann, um Farbmessungen durchzuführen, wie das Farbmessgerät Phyma Codec 400.

4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob Unterschiede der Farbmessfähigkeit von den Farbmessgeräten Phyma Codec 400 und nix™ Color Sensor Quality Control bestehen und ob bestimmten Lagerungsbedingungen und Zusammensetzungen der Proben, einen Einfluss auf die Messungen haben. Als Messobjekte dienten Proben aus Schweinefleisch, mit unterschiedlicher Zusammensetzung, welche unter bestimmten Lagerungsbedingungen gelagert wurden. Für die Proben wurde Schweinefleisch, Schweine Pasteten Speck / Rückenspeck, gecrashtes Eis, NaCl, Ascorbinsäure und Brätphosphat verwendet. Es wurde eine Charge mit normaler Menge an NPS hergestellt (normale Charge) und eine Charge mit reduzierter Menge an NPS (reduzierte Charge). So wurden von beiden Chargen jeweils 12 Stück geschnitten und in Frischhaltefolie gewickelt. Davon wurden von jeder Charge sechs Stück kühl (Lagertemperatur von 4°C) und dunkel gelagert und sechs Stück kühl und hell gelagert. Die Proben wurden über einen Zeitraum von 14 Tagen gemessen, jeweils mit dem Farbmessgerät von nix™ und Phyma, unter denselben Bedingungen. Der Vorgang wurde wiederholt, mit einer neu hergestellten Charge, zu genau denselben Bedingungen.

Nach Erhalt der Messwerte wurden diese statistisch ausgewertet. Es wurde festgestellt, dass die Methode der Farbmessungen von den zwei Farbmessgeräten, der verschiedenen Fleischproben, sowohl für die Helligkeit L*, den Rotton a* als auch für den Gelbton b* signifikante Messunterschiede ergab ($p=0,00$).

Weiters stellte sich heraus, dass Potential zur Reduzierung von Nitrit besteht, ohne dass die Farbe groß beeinflusst wird. Dies sieht man anhand der kleinen ΔE Werte.

Die Messungen des Farbmessgeräts von nix™ sind ähnlich den Messungen des Farbmessgeräts von Phyma.

Daher kann das Messgerät von nix™ ebenso für Farbmessungen verwendet werden, sowie das Messgerät von Phyma.

5 Summary

Analysis of two photometers based on color measurements on pork meat with different nitrite concentrations and their different storage conditions

In this work it was examined whether there are differences in the color measurement capability of the color measuring devices Phyma Codec 400 and nix™ Color Sensor Quality Control and whether certain storage conditions and compositions of the samples have an influence on the measurements. Pork samples with different compositions, which were stored under certain conditions, served as measurement objects. Pork, pork pies, bacon/back bacon, crushed ice, NaCl, C₆H₈O₆ and PO₄⁻³ were used for the samples. A batch with a normal amount of NPS (normal batch) and a batch with a reduced amount of NPS (reduced batch) were produced. 12 pieces were cut from both batches and wrapped in cling film. Six of these from each batch were stored in a cool (storage temperature of 4°C) and dark and six were stored in a cool and bright place. The samples were measured under measured conditions over a period of 14 days, each with the colorimeter from nix™ and Phyma. The process was repeated, with a second production under the exact same conditions.

The measured color values were statistically evaluated. It was found that the method of color measurements from the two color measuring devices, the different meat samples, result in significant measurement differences. These were for the lightness L* (p=0.00), the red tone a* (p=0.00) and the yellow tone b* (p=0.00).

Furthermore, it turned out that there is potential for the reduction of nitrite without the color being greatly affected. This can be seen from the small ΔE values.

The measurements of the nix™ colorimeter are statistically similar to the measurements of the Phyma colorimeter. Therefore, the nix™ meter can be used for color measurements as well as the Phyma meter.

Abkürzungsverzeichnis

NaCl	Natriumchlorid, Kochsalz
NPS	Nitritpökelsalz
$C_6H_8O_6$	Ascorbinsäure
g	Gramm
mm	Millimeter
h	Stunde
cm	Zentimeter
bzw.	beziehungsweise
NO	Stickstoffmonoxid
ADI	Acceptable Daily Intake
MbNO	Nitrosomyoglobin

Literaturverzeichnis

- Altmann, B. A., Gertheiss, J., Tomasevic, I., Engelkes, C., Glaesener, T., Meyer, J., Schäfer, A., Wiesen, R., & Mörlein, D. (2022). Human perception of color differences using computer vision system measurements of raw pork loin. *Meat Science*, 108766. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108766>
- Andersen, H. J., Bertelsen, G., Boegh-Soerensen, L., Shek, C. K., & Skibsted, L. H. (1988). Effect of light and packaging conditions on the colour stability of sliced ham. *Meat Science*, 22(4), 283–292. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(88\)90067-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(88)90067-8)
- Bahadoran, Z., Mirmiran, P., Jeddi, S., Azizi, F., Ghasemi, A., & Hadaegh, F. (2016). Nitrate and nitrite content of vegetables, fruits, grains, legumes, dairy products, meats and processed meats. *Journal of Food Composition and Analysis*, 51, 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.006>
- Bak, K. H., Lindahl, G., Karlsson, A. H., & Orlie, V. (2012). Effect of high pressure, temperature, and storage on the color of porcine longissimus dorsi. *Meat Science*, 92(4), 374–381. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.02.002>
- Bauer A., & Smulders F. J. M. (2015). *Tierproduktion und veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene: ein synoptisches Lehrbuch* (2. Auflage). Wageningen: Academic Publishers.
- Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. *Meat Science*, 120, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.009>
- Brewer, M. S., Zhu, L. G., Bidner, B., Meisinger, D. J., & Mckeith, F. K. (2001). *Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters*. www.elsevier.com/locate/meatsci
- Corpet, D. E. (2011). Red meat and colon cancer: Should we become vegetarians, or can we make meat safer? *Meat Science*, 89(3), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.009>
- EFSA 2017. (n.d.). *Lebensmitteln zugesetzte Nitrite und Nitrate*. Retrieved December 14, 2021, from https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/nitrates-nitrites-170614-DE.pdf
- Habermeyer, M., Roth, A., Guth, S., Diel, P., Engel, K.-H., Epe, B., Fürst, P., Heinz, V., Humpf, H.-U., Joost, H.-G., Knorr, D., de Kok, T., Kulling, S., Lampen, A.,

- Marko, D., Rechkemmer, G., Rietjens, I., Stadler, R. H., Vieths, S., ... Eisenbrand, G. (2015). Nitrate and nitrite in the diet: How to assess their benefit and risk for human health. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(1), 106–128. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400286>
- Honikel, K.-O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1–2), 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.030>
- Karwowska, M., & Kononiuk, A. (2020). Nitrates/nitrites in food—risk for nitrosative stress and benefits. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9030241>
- Lindahl, G., Lundström, K., & Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59(2), 141–151. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00064-X)
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- Meat Science Association, A. (2012). *AMSA Meat Color Measurement Guidelines*. <http://www.meatscience.org>
- Mercer, D. G., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2021). Reactions and interactions of some food additives. In *Chemical Changes During Processing and Storage of Foods* (pp. 579–635). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817380-0.00012-9>
- Oliveira-Paula, G. H., Pinheiro, L. C., & Tanus-Santos, J. E. (2019). Mechanisms impairing blood pressure responses to nitrite and nitrate. *Nitric Oxide*, 85, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2019.01.015>
- RICHTLINIE 2006/52/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juli 2006 zur Änderung der Richtlinie 95/2/EG über andere Lebensmittelzusatzstoffe als Farbstoffe und Süßungsmittel sowie der Richtlinie 94/35/EG über Süßungsmittel, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen.** (n.d.). Retrieved December 14, 2021, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32006L0052>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel Messung mit Farbmessgerät (nix™ Color Sensor Quality Control).....	14
Abbildung 2: Farbmessgerät Phyma Codec 400.....	15
Abbildung 3: Farbwert L* von den hell und dunkel gelagerten Proben, Gegenüberstellung der Messwerte vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät, Messzeitraum über 14 Tage; L*.. Helligkeit.....	19
Abbildung 4: Farbwert a* von den hell und dunkel gelagerten Proben, Gegenüberstellung der Messwerte vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät, Messzeitraum über 14 Tage; a*.. Rotton.....	20
Abbildung 5: Farbwert b* von den hell und dunkel gelagerten Proben, Gegenüberstellung der Messwerte vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät, Messzeitraum über 14 Tage; b*.. Gelbton.....	21
Abbildung 6: Vergleich der Messwerte in Form von Punkten vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät des Parameters L*, bei hell und dunkel Lagerung; L*.. Helligkeit.....	22
Abbildung 7: Vergleich der Messwerte in Form von Punkten vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät des Parameters a*, bei hell und dunkel Lagerung; a*.. Rotton.....	23
Abbildung 8: Vergleich der Messwerte in Form von Punkten vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät des Parameters b*, bei hell und dunkel Lagerung; b*.. Gelbton.....	24
Abbildung 9: Differenz der einzelnen Farbwerte (L*, a*, b*) bei hell und dunkel Lagerung, Vergleich vom Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät; L*.. Helligkeit, a*.. Rotton, b*.. Gelbton.....	25

Abbildung 10: *Proben an Tag 14 vom ersten Versuchsablauf, Ende des Messzeitraums*

1. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: Proben der reduzierten Charge dunkel gelagert, Papierteller drei und vier: Proben der reduzierten Charge hell gelagert;
 2. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: Proben der normalen Charge dunkel gelagert, Papierteller drei und vier: Proben der normalen Charge hell gelagert.....28

Abbildung 11: *Proben an Tag 14 vom zweiten Versuchsablauf, Ende des Messzeitraums*

1. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der reduzierten Charge dunkel gelagert
 2. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der reduzierten Charge hell gelagert.....29

Abbildung 12: *Proben an Tag 14 vom zweiten Versuchsablauf, Ende des Messzeitraums*

1. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der normalen Charge dunkel gelagert
 2. Reihe von links nach rechts: Papierteller eins und zwei: der normalen Charge hell gelagert.....30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zutaten der normalen Charge.....	10
Tabelle 2: Zutaten der reduzierten Charge.....	11
Tabelle 3: Messung von Tag 1 der normalen Charge (normale Menge an NPS) und der reduzierten Charge (reduzierte Menge an NPS) mit dem Phyma Codec 400 Farbmessgerät und dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät.....	17
Tabelle 4: Die Helligkeit L* mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 gemessen.....	26
Tabelle 5: Der Rotton a* mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 gemessen.....	26
Tabelle 6: Der Gelbton b* mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 gemessen.....	26
Tabelle 7: Die Helligkeit L* gemessen mit dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät.....	27
Tabelle 8: Der Rotton a* gemessen mit dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät.....	27
Tabelle 9: Der Gelbton b* gemessen mit dem nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät.....	27
Tabelle 10: ΔE (Gesamtfarbunterschied zwischen den Proben mit normalem und reduziertem Nitritanteil) Wert berechnet für Tag 1, 7 und Tag 14 mit den Messwerten vom nix™ Color Sensor Quality Control Farbmessgerät.....	31