

FARBMESSUNG AN FLEISCH UND FLEISCHERZEUGNISSEN

Technisch-wissenschaftliche Informationen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches
Volkswirtschaftsdepartement EVD
Forschungsanstalt
Agroscope Liebefeld-Posieux ALP

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Die verschiedenen farbgebenden Substanzen und ihre Oxidationsprodukte	4
3	Die Farbmessung und die wichtigsten Farbsysteme	5
4	Einflussfaktoren auf die Farbe von Fleisch und Fleischerzeugnissen	10
5	Einflussfaktoren auf die Farbe von Fischmuskel und Fischerzeugnissen	13
6	Die Farbmessung in der Anwendung und weitere Einsatzgebiete	14
Tabelle 2: Einteilung der zitierten Literaturartikel nach Fleischart und Einsatzgebieten		16
Zusammenfassung / Résumé / Summary		18
Literatur		19

ALP science

Titel

Frischfleisch in der Auslage (Bild: M. Suter)

Erste Ausgabe

Autoren

Y. Chatelain, D. Guggisberg, P.A. Dufey, G. Vergères und R. Hadorn, ALP

Herausgeber

Forschungsanstalt Agroscope

Liebefeld-Posieux (ALP)

Schwarzenburgstrasse 161

CH-3003 Bern

Telefon +41 (0)31 323 84 18

Fax +41 (0)31 323 82 27

http: www.alp.admin.ch

e-mail: science@alp.admin.ch

Kontakt

D. Guggisberg ALP

Physikalische Analytik

Telefon +41 (0)31 323 81 18

Fax +41 (0)31 323 82 27

e-mail: dominik.guggisberg@alp.admin.ch

Layout

Helena Hemmi (Konzept)

Erscheinung

Mehrmals jährlich in unregelmässiger Folge

ISBN 978-3-905667-48-6

ISSN 1660-7856 (online)

FARBMESSUNG AN FLEISCH UND FLEISCHERZEUGNISSEN

Ein Review-Artikel ¹

Keywords: Colour measurements, meat, meat products,
quality control

1 Einleitung

Es wird vielfach behauptet: «Wir essen zuerst mit den Augen». In der Tat haben verschiedene Untersuchungen bestätigt, dass das Kaufverhalten stark durch das Aussehen eines Lebensmittels beeinflusst wird. Dieses wird oft auch anhand der Farbe des gekauften Gutes beurteilt (1). Beispielsweise werden Früchte mit einem Farbfehler automatisch gemieden, rotes Kalbfleisch (je nach Situation) oder zu helles Schweinefleisch wird weniger gekauft, zu dunkel oder zu hell gebackenes Brot bleibt im Regal meist liegen und zu helle Eidotter führen zu Beanstandungen.

Die Lebensmittelindustrie hat den Einfluss der Farbe auf das Konsumverhalten schon lange erkannt und ist immer wieder bestrebt, Konsumgüter neu zu gestalten. Auch in der Qualitätssicherung und in der Lebensmittelforschung spielt die Farbmessung für verschiedene Qualitätskriterien (2, 3) eine wichtige Rolle. Um bei der Produktion eine über lange Zeit vergleichbare Qualität zu garantieren, wird das produzierte Lebensmittel beispielsweise mit einer Schablone (Referenz) verglichen, um die Messwerte auf Übereinstimmung zu überprüfen. Im Fall einer elektronischen Messung der Farbe bleiben einmal festgelegte Qualitätsparameter immer wieder abrufbar und vergleichbar.

Zudem wäre es denkbar, Lebensmittel aus verschiedenen Ursprungsgebieten mittels Farbmessung zu differenzieren. Aus der Literatur gibt es Hinweise, dass sich die Farbmessung für die Unterscheidung der geographischen Herkunft von Safran (4), Honig (5) und Käse (6, 7) eignen könnte. Bei Fleisch gibt es noch keine bekannte Studie, welche die Farbe als Kriterium für die Bestimmung des Ursprunges einsetzt.



Reduziertes (purpurrot) und oxidiertes (leuchtend rot) Myoglobin im *Biceps femoris* (Eckstück) von Kühen unmittelbar nach der Entfernung der zuoberst liegenden Stücke

Das Ziel dieses «Review-Artikels» ist es, anhand verschiedener Artikel seit 1990 einen Überblick über das Gebiet der Farbmessung an Fleisch- und Fleischerzeugnissen, sowie über die Prinzipien der Farbmessung, zu geben.

Neben der Zartheit der Saftigkeit und dem Geschmack als primäre Qualitätskriterien, spielt die Farbe bei Fleisch eine wichtige Rolle (8). Direkt beim Kauf bleibt dem Kunden oft neben der Grösse der Marmorierung und dem Saffthaltevermögen die Farbe als einziges organoleptisches Beurteilungskriterium. Daher könnte die Farbmessung als Qualitätskriterium dienen, wenn der Zusammenhang zwischen der Farbe und der Produktakzeptanz bekannt ist. Die Akzeptanz eines Produktes aufgrund seiner Farbe ist vom Markt abhängig, wo es verkauft wird. Daher können die Resultate je nach Herkunft der Konsumenten sehr verschieden sein. In einer Studie über die Farbe von Wildbret korrelierte die Akzeptanz stark ($r = 0,97$) mit der visuellen und mit der gemessenen Farbe (9), was sich auch bei der aktuellen Situation mit Kalbfleisch zeigt. Aus diesem Grunde wäre eine Automatisierung an der Schlachtlinie durchaus wünschenswert und auch denkbar (10). Es gibt Hinweise, dass zähes Rindfleisch mittels Farbmessung direkt am Schlachtkörper identifiziert werden kann (11). Unter den gemessenen Farbparametern besteht die höchste Korrelation ($r = -0,38$) zwischen der gelben Farbe und der Warner-Bratzler-Scherkraft, die ein Mass für die Zähigkeit des Fleisches darstellt.

¹⁾ Jacques O. Bosset gewidmet

2 Die verschiedenen farbgebenden Substanzen und ihre Oxidationsprodukte

Die für den Farbeindruck hauptverantwortlichen Farbstoffe sind das Myoglobin (Sauerstoffspeicher im Muskel auf Grund der Fähigkeit zur reversiblen Bindung des Sauerstoffes), das Hämoglobin (Sauerstofftransport im Blut) und daneben noch einige Pigmente ähnlicher Struktur, z. B. die Cytochrome, die aber quantitativ keine Rolle spielen. Mengenmässig dominiert im Muskel der wasserlösliche Farbstoff Myoglobin (über 90% des Gesamtpigmentgehaltes). Der Gehalt des Fleisches am Blutfarbstoff Hämoglobin hängt von der Menge des nach dem Schlachten und Ausbluten im Muskel verbliebenen Blutes ab und beträgt bei normal ausgebluteten Schlachtkörpern nur wenige Prozent des Gesamtpigmentgehaltes. In stark durchbluteten Organen (Herz, Zwerchfell) ist der Hämoglobingehalt höher als in der Muskulatur.

Die Fleischfarbe wird massgeblich bestimmt (12):

- von der Menge des Myoglobins (Farbstoffkonzentration),
- vom Verhältnis der unterschiedlichen Myoglobinformen (reduziertes Myoglobin, Oxymyoglobin, Metmyoglobin) untereinander und damit von der jeweiligen chemischen Struktur des Farbstoffes, dazu zählen: die Wertigkeit des Zentralatoms (Fe^{2+} , Fe^{3+}), die Besetzung des Liganden an der 6. Koordinationsstelle des Eisens (O_2 , H_2O , Protein, NO), der Zustand des Proteins (nativ, denaturiert), der Zustand des Porphyringerüsts (intakt, partiell aufgespalten),
- von der Reflexion an der Oberfläche, u.a. bedingt durch Wasser,
- vom pH-Wert des Fleisches.

Das hellrote Oxymyoglobin (Absorption: $\lambda_{\text{max}} = 542$ und 578 nm) kann sich durch Autoxidation des zentralen Eisenatoms (Fe^{2+} in Fe^{3+}) in braunes Metmyoglobin ($\lambda_{\text{max}} = 505$ und 635 nm) verwandeln. Das Stickoxidmyoglobin, auch Nitrosylmyoglobin genannt, entsteht beim Pökeln von Fleisch. NO , wie auch andere Liganden (CO , N_3^- , CN^-), werden wie O_2 praktisch kovalent gebunden und ergeben ähnliche Absorptionsspektren und eine ähnliche Farbe wie Oxymyoglobin (Abbildung 1).

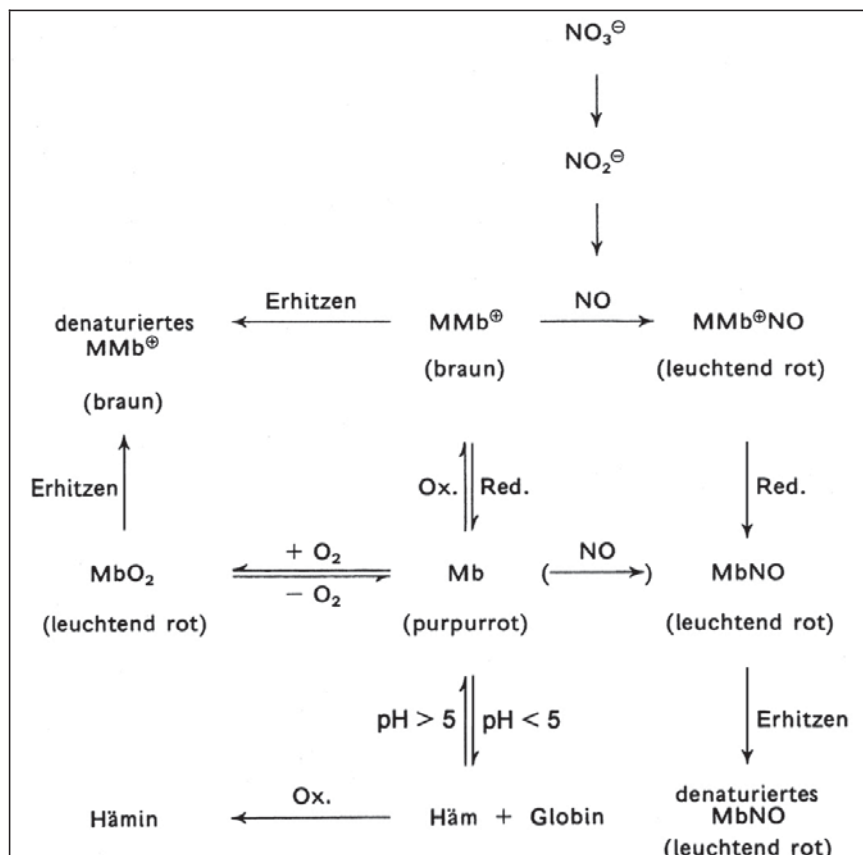


Abbildung 1: Schematische Darstellung der chemischen Reaktionen von Myoglobin

(Mb: reduziertes Myoglobin, MMb^+ , Metmyoglobin, MbO_2 : Oxymyoglobin, MbNO : Nitrosylmyoglobin, MMb^+NO : Nitrosylmetmyoglobin (nach Belitz et al. (15))

3 Die Farbmessung und die wichtigsten Farbsysteme (18)

Reduziertes Myoglobin, oft auch als Deoxymyoglobin oder einfach als Myoglobin bezeichnet, ist purpurrot, das Oxy-myoglobin zeichnet sich durch eine leuchtend-rote Farbe aus. Die im Tiermuskel oxidierte Form, das Metmyoglobin, weist eine grau-braune Farbe auf (13, 14). Im Lichtspektrum zeigt Oxy-myoglobin im Vergleich zu reduziertem Myoglobin eine kleinere Reflexion bei 470 nm und eine grössere im roten Bereich (> 600 nm) (14) auf.

Die Farbe der dem Luftsauerstoff ausgesetzten Oberfläche des Fleisches wird besonders durch das Verhältnis von Oxy-myoglobin zu Metmyoglobin beeinflusst. Bei 30% Metmyoglobin in % des Gesamtpigments ist die Fleischfarbe noch intensiv hellrot. Ab 50 – 60% Metmyoglobin ist ein bräunliches Rot erkennbar. Ab 60 – 70% Metmyoglobin wirkt die Fleischfarbe rötlich-braun. Die Akzeptanz beim Konsumenten sinkt bereits ab 20 – 40% Metmyoglobin beim Einzelverkauf (16). Bekhit und Faustman (17) haben kürzlich einen Reviewartikel betreffend der Rolle von Metmyoglobin reduzierenden Systemen veröffentlicht. Verschiedene enzymatische und nicht-enzymatische Systeme zur Reduktion von Metmyoglobin zu Myoglobin werden diskutiert. Die biochemische Komplexität wird noch nicht vollständig verstanden. Auch das Ausmass auf die Farbstabilität von Frischfleisch während der Lagerung von Metmyoglobin reduzierenden Systemen ist noch nicht geklärt.

Jede Farbe setzt sich aus den drei Attributen Farbton, Helligkeit und Sättigung zusammen. In der Vergangenheit wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen, um Farben möglichst objektiv messen zu können und damit die Verständigung darüber leichter und genauer zu gestalten.

Ein Schritt in diese Richtung verfolgte A. H. Munsell (1905) mit seinem System für den visuellen Vergleich zwischen der zu bestimmenden Farbe und einer grossen Zahl von auf Papier gedruckten Musterfarben, die entsprechend ihres Farbtons, ihrer Helligkeit und Sättigung angeordnet waren. Später wurden die Munsell-Farbtafeln mit Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet.

Später wurde ein Vorgehen verwirklicht, das unter Federführung der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) hauptsächlich auf mathematischen Grundlagen basiert. Im Jahre 1931 legte diese Organisation Standards fest und arbeitete ein System aus, das auf der dreifarbigsten Augenempfindlichkeit (rot, grün, blau) basiert, indem die spektrale Übertragung des Lichtes in Normfarbwerte umgewandelt wird (X, Y, Z). Die XYZ-Normfarbwerte, werden berechnet, indem man die Mischungsfunktionen des Standardbeobachters benutzt, das heisst eine möglichst allgemeingültige Nachbildung der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges darstellt. Zusammenfassend wird die spektrale Kurve eines Gegenstandes in drei Zahlen konvertiert, die einer Farbe aus allen möglichen Farbkombinationen eindeutig identifiziert. Ausgehend von diesem System kann eine Farbe beziffert werden, hingegen können die Ergebnisse nicht leicht visuell dargestellt werden.

Die CIE hat deshalb im Jahre 1931 zusätzlich ein System für die zweidimensionale, von der Helligkeit unabhängige Darstellung der Farbe, der sog. Yxy-Farbraum, festgelegt. Y entspricht dem Helligkeitswert (identisch mit dem Normfarbwert Y), ausgedrückt in %, wobei 100% der perfekten Reflexion entspricht; x und y sind die Normfarbwertanteile und werden bestimmt durch die folgenden Formeln:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Andere auf dem XYZ-Normfarbwert-System basierte Farbräume wurden ebenfalls vorgeschlagen, um gewisse Schwächen des Yxy-Farbraumes zu verbessern, insbesondere die Ungleichmässigkeit zwischen den Farben und ihren Sättigungen.

Die momentan am bekanntesten und am meisten genutzten Systeme sind der Hunter LAB-Farbraum, der von R. S. Hunter im Jahre 1958 ausgearbeitet wurde und der von CIE vorgeschlagene L*a*b-Farbraum von 1976.

Im Hunter LAB-Farbraum konnten zum ersten Mal Farbmesswerte direkt von einem lichtelektrischen Gerät mit den folgenden Formeln abgelesen werden:

$$L = 10\sqrt{Y}, a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{\sqrt{Y}}, b = \frac{7.0(Y - 0.847Z)}{\sqrt{Y}}$$

Der Farbabstand ΔE_H im Hunter-Lab-Farbraum, der nur den Betrag und nicht die Richtung der Farbdifferenz angibt, errechnet sich wie folgt:

$$\Delta E_H = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Das $L^*a^*b^*$ -Farbsystem (auch CIELAB- Farbsystem genannt) wurde aufgrund höherer Genauigkeit in der Darstellung wahrnehmbarer Farben und Farbdifferenzen empfohlen. Die Formeln für den Helligkeitswert L^* und die Farbkoordinaten a^* und b^* sind etwas komplizierter und für verschiedene Normlichtarten definiert:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16; \quad a^* = 500\left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3}\right]; \quad b^* = 200\left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3}\right]$$

Dabei bezeichnen X, Y, Z die Normfarbwerte der Probe für den 2°-Beobachter¹ und X_n, Y_n, Z_n die Normfarbwerte eines vollkommen mattweissen Körpers. Ist der Quotient $X/X_n, Y/Y_n$ oder Z/Z_n kleiner als 0.008856, gelten andere Formeln.

Die Farbkoordinaten a^* und b^* stellen die folgenden Farben dar:

- a^* = grün (negative Werte) bis rot (positive Werte),
- b^* = blau (negative Werte) bis gelb (positive Werte)

Für Fleisch und Fleischprodukte liegen die Farbwerte prinzipiell im positiven Bereich, dabei stellt a^* die rote und b^* die gelbe Farbe dar.

Der Farbabstand zwischen zwei Farben beträgt hier:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Mit Farbmessgeräten lassen sich selbst dann noch Farbdifferenzen feststellen und exakt numerisch ausdrücken, wenn das menschliche Auge keinen Unterschied feststellen kann. Dies ist etwa ab $\Delta E^*_{ab} < 1$ der Fall.

Der Farbraum CIELAB ist graphisch in der Abbildung 2 dargestellt.

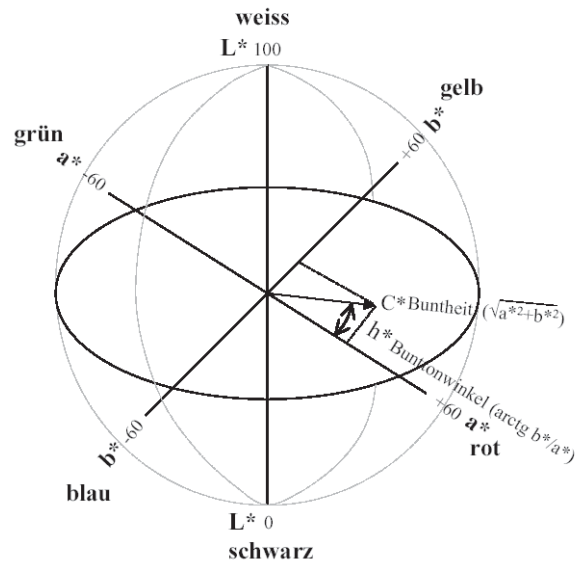


Abbildung 2: Der $L^*a^*b^*$ -Farbraum schematisch dargestellt:

L^* (hell-dunkel, 0 bis 100),
 a^* : grün/rot-Achse (-60 bis 60);
 b^* : blau/gelb-Achse (-60 bis 60);
 C^* : der Sättigung/Buntheit;
 h^* : der Farbwinkel/Bunttonwinkel.

Aus dem CIELAB-Farbsystem lässt sich weiter das $L^*C^*h^*$ -Farbsystem ableiten. Dabei werden Polarkoordinaten verwendet. L^* ist identisch mit dem L^* des CIELAB- Systems, der Wert C^* steht für die Buntheit und h_{ab} für den Bunttonwinkel zwischen den Polarkoordinaten der Werte a^* und b^* .

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h_{ab} = \text{tg}^{-1}(b^*/a^*) [\text{Grad}]$$

Farbmesssysteme erlauben die Messung einer Farbe eines Objektes unter genormten Grössen, wie z.B. der Lichtquelle (A, D65, usw.), dem Normalbeobachter (2° oder 10°) und der Messgeometrie (gerichtete oder diffuse Beleuchtung).

²⁾ Erklärung im nächsten Unterkapitel

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Messnormen

Grundsätzlich unterscheidet man Geräte mit dem Dreibereichsverfahren (drei entsprechend der Farbempfindlichkeit des Auges gefilterte Sensoren empfangen Licht vom Objekt und geben Messsignale, die in numerische Zahlenwerte umgerechnet werden) und Geräte mit dem spektralfotometrischen Verfahren (der Mehrsegment-Sensor misst das vom Objekt empfangene Licht für sämtliche Wellenlängen des sichtbaren Lichtes, z. B. alle 10 oder 20 nm, und bestimmt die spektrale Reflexion. Die Ergebnisse lassen sich in numerische Zahlenwerte oder als Spektralkurve anzeigen). Spektralfotometer bieten eine höhere Genauigkeit gegenüber Dreibereichsgeräten und liefern absolute Farbdaten.

Für die Charakterisierung von Farbmessgeräten sind folgende Kriterien geeignet:

- Die Lichtquelle
Die Farbe eines Gegenstands kann je nach der Lichtquelle verschieden erscheinen. CIE hat mehrere Typen von Lichtquellen definiert. D65, heute am meisten benutzt, entspricht einem mittleren Tageslicht, das auch den UV-Bereich einschliesst. Das Tageslicht ohne UV-Bereich stellt die Normlichtart C dar. Normlicht A entspricht einem Glühlampenlicht, Typ Wolfram-Lampe. Es bestehen noch weitere Lichtarten:
- Der Standardbeobachter
Die Farbempfindlichkeit des Auges hängt von der Größe des Gegenstands (Beobachtungswinkel) ab. Zwei Beobachter-Winkel von 2° und 10° sind durch CIE definiert worden und werden Standardbeobachter 2° und 10° genannt.
- Die optische Geometrie
Die Farbe eines Objektes ist unter anderem von zwei Beobachtungsbedingungen abhängig: dem Beobachtungswinkel und dem Beleuchtungswinkel. Der Winkel (oder Winkelbereich), unter dem die Probe beleuchtet und der Winkel unter dem die Probe betrachtet wird, wird als «Messgeometrie» bezeichnet.

Verschiedene Messgeometrien haben sich entwickelt: die Messung der Farbe mittels gerichteter Beleuchtung (45/0 oder 0/45) und die Messung mittels diffuser Beleuchtung (d/0) oder diffuser Beleuchtung und Kugelgeometrie (d/8 bzw. 8/d).

Die Messgeometrie mit gerichteter Beleuchtung (45/0 und 0/45)

Die Beleuchtung der Probe findet unter einem Winkel von 45 Grad statt und das reflektierte Licht wird senkrecht zur Probe gemessen. Die Variante 0/45 bedeutet eine senkrechte Beleuchtung und eine Messung des reflektierten Lichtes in einem Winkel von 45 Grad.

Dank dieser Messgeometrie sind verschiedene Oberflächenstrukturen gleicher Farbpigmente zu erkennen. Eine glatte Struktur reflektiert das Licht stark. Eine raue Struktur mit identischen Farbpigmenten erhält hingegen eine Schattierung infolge der schrägen Beleuchtung, welche sich vor allem in der Messung der Lichtintensität auswirkt. Dieser Farbeindruck wird vom Beobachter resp. Konsumenten erkannt, obschon identische Farbpigmente vorliegen.

Will man unabhängig von der Oberflächenstruktur nur die Farbpigmentierung messen, dann ist die 45/0 Geometrie durch eine Kugelgeometrie mit diffuser Beleuchtung zu ersetzen.

Die Messgeometrie mit diffuser Beleuchtung und Kugelgeometrie (d/8 oder 8/d)

Mittels einer innen mit Bariumsulfat weiss beschichteten Kugel (Ulbricht'sche Kugel) wird eine gleichmässige diffuse Streuung des Lichtes erreicht. Der Sensor empfängt das diffuse Licht in einem 8 Grad Winkel (d/8 Geometrie). Auch in diesem Fall kann man umgekehrt vorgehen und die Probe unter einem 8 Grad Winkel direkt beleuchten und das in allen Richtungen reflektierte Licht empfangen und messen (8/d Geometrie).

Die diffuse Beleuchtung erlaubt eine gleichmässige Beleuchtung oder Betrachtung der Probe aus allen Raumrichtungen.

Die von der direkten Beleuchtung geworfenen Schatten werden mit der diffusen Beleuchtung eliminiert. So wird die reale Farbe unabhängig von der Oberflächenstruktur ermittelt.

Wird eine raue Oberfläche beleuchtet, sind die Einfall- und Reflexionswinkel nicht dieselben, das Licht wird eher diffus reflektiert. Eine glänzende Oberfläche hingegen erzeugt viel gerichtete Reflexion in einem bestimmten Glanzwinkel. Der Einsatz eines Farbmessgerätes mittels einer Glanzfalle erlaubt das aus dem Glanz entstehende, reflektierte Licht zu eliminieren (SCE, E für «Exclude», SCI, I für «Include»).

Die SCE-Methode bestätigt also den visuellen Farbeindruck. Durch die Verwendung der Glanzfalle (SCE-Modus) wird der gerichtete Anteil der Reflexion ausgeschlossen und nur der diffuse Anteil gemessen. Dies zeigt, dass die Farbe von der Oberfläche des Gegenstandes abhängig ist.

¹⁾ Jacques O. Bosset gewidmet

Die SCI-Methode eignet sich besonders zur Bestimmung der Materialfarbe im Rahmen einer Farbrezeptierung. Sie schätzt die globale Farbe ab, d. h. diejenige Farbe, die unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Gegenstandes ist.

Die meisten aus den USA stammenden Publikationen beziehen sich auf Farbmessgeräte mit einer 45/0 Geometrie, das bedeutet, dass technisch gesehen die spiegelnde Reflexion ausgeschlossen wird (SCE), und dass allein das diffuse Licht bei 45° gemessen wird. Einige Forschungsarbeiten (häufig aus Europa) hingegen erwähnen den Gebrauch der d/8 Geometrie, mit der Möglichkeit, eine Probe im Modus mit SCI oder SCE zu messen. Sehr viele Arbeiten über Fleischmessungen sind jedoch mit einem d/0-Gerät (CR-Reihe von Minolta) durchgeführt worden.

Spektroskopische Bestimmung von den verschiedenen Myoglobin-Formen in Fleisch

Für Forschungsstudien, bei denen die Pigmentstabilität im Fleisch untersucht wird, ist jedoch eine relative Quantifizierung der drei Myoglobinformen (Deoxymyoglobin (Mb), Oxy-myoglobin (OMb) und Metmyoglobin (MMb)) notwendig. Dazu wird die Reflexion an isosbestischen Wellenlängen gemessen, d.h. Wellenlängen bei denen die Reflexion für zwei oder drei Myoglobin-Formen gleich ist (Abbildung 3).

Die Wellenlängen für die Quantifizierung der Myoglobin-Formen wurden durch Hunt (19, 20) zusammengefasst und sind wie folgt definiert:

- Deoxymyoglobin (Mb): 474 nm (die Reflexion bei 474 nm ist isosbestisch für MMb und OMb)
- Metmyoglobin (MMb): 572 nm (die Reflexion bei 572 nm ist isosbestisch für Mb und OMb)
- Oxy-myoglobin (MbO₂): 610 nm (die Reflexion bei 610 nm ist isosbestisch für Mb und MMb).

Dazu wird 525 nm als Referenzwellenlänge für alle drei Myoglobin-Formen gebraucht (die Reflexion bei 525 nm ist isosbestisch für Mb, MMb und OMb).

Die Reflexion wird bei diesen Wellenlängen gemessen und in KS-Werte umgewandelt (21). K steht für «Absorptionskoeffizient», und S für «Dispersionskoeffizient» (22). Die Konvertierung von Reflexion in KS-Werte führt dazu, dass die spektroskopischen Daten linearer sind. Die Schätzung der Verteilung der Myoglobin-Formen erreicht eine Präzision von 6 % bis 7 % (23).

Für die Bestimmung des Prozentsatzes der Myoglobin-Formen ist die Konvertierung der Reflexion (R) bei einer bestimmten Wellenlänge λ zu einem KS-Wert notwendig.

$$KS_{\lambda} = \frac{(1 - R_{\lambda})^2}{2R_{\lambda}}$$

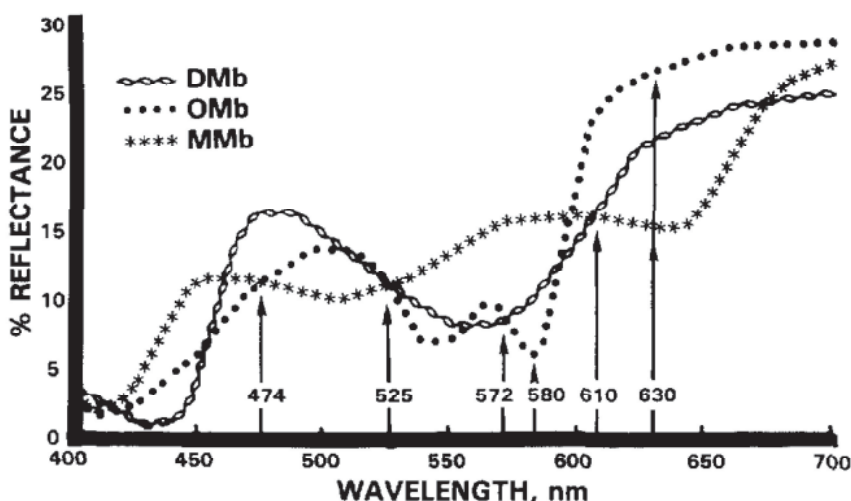


Abbildung 3: Reflexionsspektren von Deoxy- (Mb/DMb), Oxy- (OMb/MbO₂) und Metmyoglobin (MMb).

Die verschiedenen isosbestischen Wellenlängen sind bei 474, 525, 572 und 610 nm ersichtlich.

Das Verhältnis R_{630nm}/R_{580nm} ist circa 1.0 für MMb und >4.0 für MbO₂ (modifiziert von Snyder (98))

Danach werden die Prozente an Myoglobin-Formen mit den folgenden Gleichungen berechnet:

Für Deoxymyoglobin (Mb):

$$\% \text{ Mb} = \frac{A_{R1} - A_P}{A_{R1} - A_{100\% \text{ Mb}}} \times 100\%,$$

mit $A_{R1} = \frac{KS_{474}}{KS_{525}}$ und $R1 = 100\% \text{ OMb}$ oder $100\% \text{ MMb}$, und $A_P = \frac{KS_{474}}{KS_{525}}$ und $P = \text{Probe}$,

und $A_{100\% \text{ Mb}} = \frac{KS_{474}}{KS_{525}}$ bei $100\% \text{ Mb}$

Für Metmyoglobin (MMb):

$$\% \text{ MMb} = \frac{A_{R2} - A_P}{A_{R2} - A_{100\% \text{ MMb}}} \times 100\%,$$

mit $A_{R2} = \frac{KS_{572}}{KS_{525}}$ und $R2 = 100\% \text{ OMb}$ oder $100\% \text{ Mb}$, und $A_P = \frac{KS_{572}}{KS_{525}}$ und $P = \text{Probe}$,

und $A_{100\% \text{ MMb}} = \frac{KS_{572}}{KS_{525}}$ bei $100\% \text{ MMb}$

Für Oxymyoglobin (OMb):

$$\% \text{ OMb} = \frac{A_{R3} - A_P}{A_{R3} - A_{100\% \text{ OMb}}} \times 100\%,$$

mit $A_{R3} = \frac{KS_{610}}{KS_{525}}$ und $R3 = 100\% \text{ Mb}$ oder $100\% \text{ MMb}$, und $A_P = \frac{KS_{610}}{KS_{525}}$ und $P = \text{Probe}$,

und $A_{100\% \text{ OMb}} = \frac{KS_{610}}{KS_{525}}$ bei $100\% \text{ OMb}$

Die KS-Werte für 100 % von jeder der Myoglobin-Formen sind von den jeweiligen Proben und Versuchsbedingungen abhängig. Deswegen können Literaturwerte nur als Richtlinien verwendet werden und die Labors müssen ihre eigenen Standardwerte bestimmen. Dies ist eine experimentelle Voraussetzung, die als Nachteil der Bestimmung der Myoglobin-Formen einzustufen ist.

Für die Laborbestimmung der Standardwerte, muss die untersuchende Fleischmatrix chemisch in 100% Mb, OMb oder MMb umgewandelt werden. Diese Manipulationen verlangen spezielle Rücksicht, weil diese chemischen Modifikationen sowohl reversibel wie auch dynamisch sind (Sauerstoff in der Luft kann den Oxidationszustand des Fleisches stark beeinflussen):

1. **100% Mb:** Die Probe muss zuerst in einer 10 % Dithionite Lösung inkubiert werden. Nach Entfernung der Lösung wird die Probe unter Vakuum verpackt und 1 bis 2 Stunden bei Raumtemperatur reduziert.
2. **100% MMb:** Die Fleischprobe muss zuerst für eine Minute in einer 1.0% Kalium Ferricyanide Lösung inkubiert werden. Nach Entfernung der Lösung wird das Fleisch mit einer sauerstoffpermeablen Folie eingepackt und 12 Stunden bei 2°C oxidiert.
3. **100% OMb:** Die Probe wird während 10 Minuten bei 0°C bis 2°C in einer Atmosphäre mit einem hohen Sauerstoff Gehalt inkubiert. Die Probe wird dann in eine sauerstoffpermeable Folie eingepackt.

Sobald Myoglobin zu 100 % in jede Pigment-Form umgewandelt ist, wird die Reflexion bei 474, 525, 572, und 610 nm gemessen. Die Resultate werden in KS-Werte umgerechnet und in die obigen Gleichungen eingesetzt, um den Prozentsatz von Mb, MMb und OMb zu berechnen.

Häufig werden nur Mb und MMb bestimmt und der Prozentsatz von OMb durch die Differenz der Summe dieser beiden Formen zu 100 % berechnet. Jedoch ist eine direkte Bestimmung des Prozentsatzes von OMb präziser und insofern vorzuziehen, weil der Inhalt an OMb die Präferenz der Konsumenten sehr stark beeinflusst.

Die Wellenlänge 580 nm und 630 nm werden auch in Experimenten benutzt, in welchen sich die rote Farbe von Fleisch (d.h. der Beitrag von OMb) ändert. Grund dafür ist, dass sich die Reflexion von OMb in diesem Bereich stark ändert. Deswegen wurden sowohl Verhältnisse (630/580) als auch Differenzen (630-580) zwischen der Reflexion bei diesen Wellenlängen als Indikator für Änderungen der roten Farbe gemessen (24). Die Qualität der Auswertung (Korrelationskoeffizient) kann auch hier durch die Umwandlung in KS-Werte verbessert werden. Schlussendlich kann der unspezifische Beitrag der physikochemischen Eigenschaften von Fleisch durch eine Korrektur der Reflexion bei 730 nm (Myoglobin-Pigmente absorbieren Licht bei dieser Wellenlänge nicht mehr) korrigiert werden (25). Leider können aber nur wenige Geräte bei dieser Wellenlänge messen.

4 Einflussfaktoren auf die Farbe von Fleisch und Fleischerzeugnissen

Tierart - Genetik

Die Fleischfarbe einer jeden Tierart besitzt andere Eigenschaften und wird vor allem durch die tierartspezifische Myoglobinkonzentration im Muskel bestimmt. Tabelle 1 gibt die wichtigsten Nutztierarten und die dazu bekannten Gehalte an Myoglobin im Muskel wieder. Der Myoglobingehalt innerhalb eines Muskels ist von der Tierart, von der Muskelaktivität und vom Alter des Tieres abhängig (26). So sind weisses Geflügel- und Kaninchenfleisch heller als Rind- und Schweinefleisch (26, 27).

Tabelle 1: Der Myoglobingehalt und die visuelle Farbe bei einigen Tierarten (26)

Tierart/Alter	Myoglobingehalt (mg/g)	Visuelle Farbe
Kalb (12 Tage)	0.7	Bräunlich, rosa
Rind (3 Jahre)	4.6	Rot
Kuh (> 10 Jahre)	16 - 20	Dunkelrot
Schaf (Jung)	2.5	Rot
Schwein (5 Monate)	0.3	Rosa (gräulich)
Geflügel, helles Fleisch (8 Wochen)	0.01	Weiss, grau
Geflügel, helles Fleisch (26 Wochen)	0.08 – 0.1	Weiss, grau
Truthahn, helles Fleisch (14 – 26 Wochen)	0.12 – 0.37	Schwaches rot
Fisch, helles Fleisch	0.3 – 1.0	Weiss, grau

Beim Schwein ist allgemein bekannt, dass weitere genetische Komponenten (z. B. Stressanfälligkeit: Halothan-Gen; Hampshire-Effekt: RN-Älle) die Qualität des Fleisches und auch die Farbe massgeblich beeinflussen können. Die Zuchtfirmen bzw. -verbände sind deswegen bestrebt, diese Aspekte in der Zucht ausreichend zu berücksichtigen.

Fütterung und Haltung

Beim Kalb können verschiedene Faktoren, die mit der Fütterung oder mit der Haltung zusammenhängen, die Farbe des Fleisches beeinflussen (28). Die Mehrheit der Verbraucher sind sich an eine helle Fleischfarbe gewöhnt und akzeptieren in den meisten Ländern kein rotes Kalbfleisch. Eine eisenarme Fütterung, die sich nur aus Vollmilch zusammensetzt, erlaubt, ein helles Fleisch zu produzieren. In der Schweiz, wie in Europa ist jedoch eine minimale Versorgung des Kalbes mit Eisen vorgeschrieben, mit dem Ziel, eine eisenbedingte Anämie zu verhindern (29). Eine Zugabe von Eisen über Heu oder andere eisenreiche Futtermittel kann dunkleres Fleisch mit einer stärkeren roten Färbung begünstigen (30).

Bei Rindern ist es β -Karotin aus dem Gras, das die gelbe Farbe des Fettes verursacht. Dufey (31) zeigte bei Rindern auch einen Einfluss des Geschlechtes auf. Die kastrierten männlichen Tiere sind empfänglicher für gelbes Fett als Jungtiere.

Wird an Rindern vor dem Schlachten Vitamin E verabreicht, so wirkt dieses in gewissen Fällen als Antioxidans und bewirkt eine Stabilisierung der Farbe (26, 32). Der analoge Effekt ist beim Schwein und Geflügel weniger ausgeprägt (33).

Priolo (34) stellte mit Farbmessungen an Schaffett signifikante Unterschiede zwischen Freilandhaltung und konventioneller Tierhaltung fest.

Es ist allgemein bekannt, dass Zeaxanthin aus Mais eine gelbere Farbe beim Fett, in der Haut und auch im Eidotter des Huhns (35) ergibt. Bekannt sind aber auch rote Pigmentfarbstoffe, die natürlichen (z. B. Paprika, Tagetesblumenmehl) oder auch synthetischen Ursprungs sein können.

Das Alter von Hämatomen als Folge von Verletzungen oder Schlägen während der Haltung bzw. des Verladens und des Transportes von Geflügel konnte laut Northcutt (36) mittels Farbmessung bestimmt werden. Somit lassen sich Fehlhaltungen bzw. -behandlungen erkennen. Gemäss Dunne (37) hatten Mastochsen mit täglicher Bewegung von 4.4 km/Tag signifikant mehr gesättigte

rote Muskelfarbe (*M. longissimus dorsi*) als Tiere ohne tägliche Bewegung. Ergänzungsfutter mit Vitamin E erhöhte die Farbstabilität bei der Lagerung von 0.75 auf 3.25 Tage. Eine Diät mit glykogenreduzierenden Eigenschaften (Rapssamen) für Schweine, erzielte eine geringere Ausbleichung (Schleierbildung) der Muskelfarbe, als bei der Kontrollgruppe (38).

Fettgehalt, Fettfarbe

Beim Fett wird zwischen intramuskulärem (Marmorierung), intermuskulärem und Auflagefett unterschieden. Der farbliche Eindruck wird stark von der Fettverteilung im Fleisch beeinflusst (8). Das Ausmass des Fettansatzes beim Tier hängt von verschiedenen Parametern wie Genetik, Alter, Tiergewicht, Zusammensetzung des Futters, Fütterungsintensität und Haltung der Tiere ab (39).

Ein hoher Fettgehalt des Fleisches bewirkt eine Zunahme der Helligkeit. In der Fleischindustrie wird aber vor allem die reine Fettfarbe gemessen. Die Fettfarbe von Schweinen wurde mit einer glykogenreduzierenden Diät gegenüber einer Kontrolldiät kaum beeinflusst (38).

Das Fett von verarbeiteten, übermässig mit Ascorbinsäure behandelten Pökelerzeugnissen kann als Folge der Fettperoxidbildung eine Grünfärbung aufweisen (40). Im Bereich der gesetzlichen Grenzwerte ist der Einsatz von Vit. C und seiner Salze als Antioxidans und als Umrötehilfsmittel jedoch weit verbreitet.

Fleischfehler: PSE- und DFD-Fleisch

Wird ein Tier (Säuger oder Vogel) kurz vor dem Schlachten gestresst, so verbraucht es, als Folge der erhöhten Adrenalinproduktion bzw. des erhöhten Energiebedarfes, viel O₂ respektive ATP in den Muskeln. Wird das Glykogen nicht mehr vollständig zu CO₂ und H₂O abgebaut (anaerober Weg), erhöht sich die Milchsäurebildung im Muskel und der dadurch bedingte verstärkte Abfall des pH-Wertes ($\text{pH} \leq 6.0$) führt zu einer Denaturierung der Muskelproteine. Diese können das zwischen den Myofibrillen eingelagerte Wasser nicht mehr zurückhalten (engl. exudativ), was sich in einer Schrumpfung derselben äussert. Wegen des Wasseraustrittes reflektiert das Licht stärker an der Oberfläche, was sich in einer Zunahme der Helligkeit (engl. pale) bzw. des L*-Wertes zeigt. Die Unterschiede sind beim Schwein vor allem nach der Reifung des Fleisches (3-4 Tage) deutlich sichtbar, während die Fütterung eine viel kleinere Rolle (41, 42) spielt. Brewer (43) schlägt vor, die Messung des L*-Wertes zur Identifikation von fehlerhaftem Fleisch einzusetzen. PSE-Fleisch (PSE: pale, soft, exudativ) tritt vor allem bei Schweinen auf, ist aber auch bei Truten (44) und weniger häufig beim Rind feststellbar.

PSE-Fleisch weist aufgrund der erhöhten Schrumpfung und der damit verbundenen geringen Quelfähigkeit eine verminderte Kapazität auf, um Wasser zu binden. Diese Tatsache ist sehr wichtig für die Fleischindustrie, in welcher oft Wasser bzw. Eis als Rohstoff verwendet wird (Brühwurstherstellung, Pökellaken bei Nasspökung). Nebst einer helleren Farbe werden mit nur aus PSE-Fleisch hergestellte Brühwürste eine Tendenz zu erhöhtem Wasserverlust haben, weshalb PSE-Fleisch nur zusammen mit Normalfleisch in der Wurstherstellung eingesetzt wird. Bei der Beurteilung von PSE-Schweinefleisch schlägt Scharner (45) für die Farbmessung nach 24 Stunden (post mortem) einen Grenzwert für den Helligkeitswert von $L^*=50$ und bei der Messung nach 45 Minuten (post mortem) (46) einen solchen von 36 vor. Musmann (47), Hammerli (48) und Oster (49) sehen die Farbmessung nur als zusätzliche Untersuchung und empfehlen, vor allem den pH-Wert zu messen.

Das Erscheinen von dunklem, festem und trockenem Fleisch (DFD: dark, firm, dry) ist auf länger dauernden Stress des Tieres (z.B. lange Nüchternung, langer Transport) vor der Schlachtung zurückzuführen und zeigt sich vor allem beim Rind und in der Halspartie von Schweinen. Die Glykogenreserven im Muskel sind bei der Schlachtung schon stark reduziert. Die Milchsäurebildung wird dementsprechend vermindert und der pH-Wert sinkt langsamer. Folglich verbleibt der pH_{24 h} beim Schwein bei einem Wert von ≥ 6.2 und beim Rind von ≥ 6.0 .

Die Proteindenaturierung wird verlangsamt, womit die Quelfähigkeit und damit die Wassereinlagerung zwischen den Myofibrillen erhalten bzw. im Vergleich zu Normalfleisch erhöht bleibt. Das Fleisch bleibt in der Folge trocken (dry) und fest (firm), während das Licht, bedingt durch die geschlossene Muskelstruktur, vermehrt absorbiert wird und damit das Fleisch dunkel (dark) erscheinen lässt.

Da die chemischen Veränderungen im Schlachtkörper (postmortale anaerobe Glykolyse) von Tier zu Tier verschieden schnell ablaufen, empfiehlt Murray, eine Messung der Farbe beim Rind erst 24 Stunden nach dem Schlachten vorzunehmen (50).

Beim Huhn finden starke Farbveränderungen während der ersten 6 Stunden post mortem statt, was bei der direkten Messung an der Schlachtlinie berücksichtigt werden muss (51). Während der nachfolgenden Lagerung ändert sich die Farbe weniger schnell.

Eine Studie von Warriss (38) zeigt die Möglichkeit auf, die Qualität von Schweinsnierstücken durch die Farbmessung des Adduktoren-muskels zu bestimmen. In einer Studie mit 100 Schweinehälften mit sehr breiter Qualität (extrem PSE bis extrem DFD) konnte nach 20h post mortem mit dem L*-Wert die Qualität für die Nierstücke am besten vorausgesagt werden.

Technologische Vorgänge

Bei Fleischerzeugnissen wie Pökelfleisch sowie den meisten Würsten (vor allem Rohwürste) spielt die kochfeste rote Pökelfarbe eine wichtige Rolle. Die Pökung bzw. Umrötung besteht entweder in einer Zugabe von Natriumnitrat oder Kaliumnitrat, welche mikrobiell (vor allem durch Micrococceae) bei einem hohen pH zu Nitrit (NO_2^-) abgebaut werden, oder von Nitritpökelsalz (enthält max. 0.6% Kalium- oder Natriumnitrit). Nitrit wird im sauren Milieu über den Weg der salpetrigen Säure schliesslich zu NO abgebaut. Dieses reagiert dann mit Myoglobin zu Nitrosylmyoglobin beziehungsweise mit Metmyoglobin zu Nitrosyl-Metmyoglobin. Die Bildung von unerwünschten Fraktionen (vor allem Metmyoglobin) wird somit vermieden. Um die Reaktion der Pökung zu beschleunigen, werden zusätzlich reduzierende Umrötehilfsmittel wie Ascorbinsäure oder Ascorbate sowie Kohlenhydrate als Substrate für die Starterkulturen (Rohwürste, zum Teil Rohpökelfleisch) beigemischt. Als Alternative zur Nitrit/Nitrat-Zugabe werden verschiedentlich der Einsatz von Angkak, Karmin und diversen Pigmentfarbstoffen diskutiert; diese konnten aber die Effekte des Nitrits (Aromabildung, Keimhemmung, usw.) nicht abdecken und sind z.T. nicht hitzestabil. Pribis (52) hat die Kinetik der Farbentwicklung bei der Herstellung von Rohwurstbrät verfolgt und empfiehlt die CIELAB- Farbmessung als gut geeignet für diese Untersuchungsart.

Analog zu PSE hat das Säuern des Fleisches (wie z. B. beim Beizen) eine erhöhte Reflexion und damit eine hellere Fleischfarbe zur Folge (14). Das Erhitzen führt zu einem Farbumschlag nach grau-braun, der durch eine erhöhte Metmyoglobin-Bildung bedingt ist. Dies ist in geringem Mass auch beim Gefrieren der Fall, wobei die eher dunklere Farbe durch die Bildung von Eiskristallen und damit einer geringeren Reflexion des Wassers an der Oberfläche bedingt ist.

Auch verarbeitete Produkte können mittels Farbmessung beurteilt werden. Ansorena (53) untersuchte «Chorizo», eine spanische Wurst, und fand eine Korrelation von $r = 0.61$ zwischen zwei Farbmessmethoden (CIE $L^*a^*b^*$ und Hunter Lab) und der sensorischen Beurteilung des Produktes. Untersuchungen bei Parmaschinken (54) zeigten, dass die Farbmessung auf frischem Schinken stark mit der sensorischen Beurteilung derselben Proben korrelierte. Nach der Herstellung und Reifung waren die Resultate jedoch weniger deutlich. Sair et al. (55) verglichen die Kinetik der Farbentwicklung von gehackten «Rindfleisch-Patties» während des Bratens mit derjenigen der verbleibenden Triose-Phosphat-Isomerase (TPI). Die Bestimmung der TPI-Enzymaktivität kann zur Überprüfung der thermischen Inaktivierung von Salmonella herangezogen werden, zumal sie für diesen Zweck als die geeignetste Methode empfohlen wird. Die Farbmessung erwies sich jedoch als nicht genug empfindlich, um zubereitetes Fleisch mit einer Kerntemperatur von 68°C bzw. 71°C zu unterscheiden.

Keimreduzierende Methoden

Fleisch wird zum Teil (z.B. in den USA) bestrahlt, um die Gesamtkeimzahl zu reduzieren. Gemäss Chen (56) bewirkt die Bestrahlung von Fleisch keine nennenswerte Farbveränderung im Vergleich zur Kombination von verschiedenen Antioxidanten (Sesamol, Quercetin, Rutin, BHT). Andere Studien zeigen eine Stabilisierung der Farbe über Wochen, wenn Fleisch (Rind, Schwein, Lamm, Huhn, Gans, Truten (57, 58) mit 5 kGy bestrahlt wurde. Diese Stabilisierung ist, den Autoren nach, auf die Bildung von Carboxyhämoglobin zurückzuführen. Bei einem Sensorik- und Farbvergleich wurden aber bei bestrahltem Fleisch (2 kGy) neben der Farbveränderung (weniger hell, rot und gelb) störende Nebendaromen gefunden (59). Die Farbe von bestrahltem Trutenfleisch scheint keine Farbveränderung aufzuweisen; hingegen zeigen Schweine- und Rindfleisch eine Empfindlichkeit gegenüber hoher Bestrahlung ($> 4,5$ kGy) (60). Dies bestätigt auch Moss (61), indem er alle bestrahlten Schweinefleischproben (an einem frischen Schnitt gemessen) mittels Farbmessung zu erkennen vermochte.

Seit den 90er Jahren wird an einer keimreduzierenden Methode für Lebensmittel gearbeitet und zwar mit der Hochdrucktechnologie. Durch den hohen Druck wird Myoglobin aber in Metmyoglobin umgewandelt. Dies führt zu einer gräulichen Verfärbung des frischen Fleisches (62), weshalb sich die Anwendung der Hochdrucktechnologie im Fleischbereich vor allem auf «Catering»-Artikel beschränkt.

Lagerung und Verpackung

Eine fachkundige Lagerung nach dem Schlachten ist äusserst wichtig für die Fleischqualität. Meistens wird der Schlachtkörper in einem Kühlraum bei max. 2°C und im Dunkeln aufgehängt, bis er genügend abgekühlt ist, um anschliessend weiter zerlegt zu werden (Schwein > 1 Tag, Rind > 3 Tage).

Nach dem Stillstand des Stoffwechsels nimmt der Partialdruck des O_2 stark ab, was im Bereich von etwa 2 kPa eine maximale Bildung von Metmyoglobin zur Folge hat (vgl. Abb. 4). Die Farbe wird durch das Verhältnis von Oxy-myoglobin zu Metmyoglobin beeinflusst (12). Bei einem Anteil von 50-60% Metmyoglobin nimmt das Fleisch bereits eine bräunliche Farbe an.

Mit zunehmender Lagerdauer ändert sich die Farbe besonders an den Schnittflächen von unverpacktem Fleisch, dies auf Grund der oxidativen Bildung von Metmyoglobin (63). Da die Reifung heutzutage noch visuell vom Metzger überwacht wird, ist es nicht auszuschliessen, dass ein überreifes, visuell weniger ansprechendes Fleischstück trotzdem zur Weiterverarbeitung gelangt. Mumzhiu (64) regt daher eine automatische Überwachung des Reifungsprozesses mittels Farbmessung an.

5 Einflussfaktoren auf die Farbe von Fischmuskel und Fischerzeugnissen

Die verschiedenen farbgebenden Substanzen im Fischmuskel

Damit die oxidative Reaktion des reduzierten Myoglobins zu Metmyoglobin weniger schnell abläuft, sollte der Sauerstoff-Partialdruck während der Lagerung sehr hoch oder sehr tief gehalten werden. Bei geringem O_2 -Partialdruck wird die Bildung von Metmyoglobin stark erhöht (Abb. 4). Dies geschieht, indem der Sauerstoff in Verpackungen in einer Schutzgasatmosphäre (mit unterschiedlichen Anteilen an O_2 , CO_2 bzw. N_2) angereichert (rotes Frischfleisch) oder aber durch Vakuum bzw. durch Inertgas (CO_2 und/oder N_2) vollständig verdrängt wird. Inertgas wird vor allem bei verarbeitetem Fleisch und Geflügel eingesetzt. Die Kinetik, welche innerhalb der Verpackung während der Lagerung abläuft, wird von Jakobsen und Bertelsen (65) ausführlich untersucht.

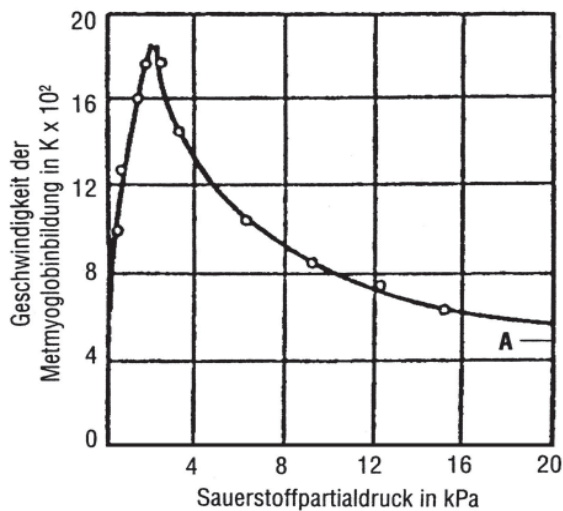


Abbildung 4: O_2 - Partialdruck und Oxidationsrate von Myoglobin (aus Sielaff (12))

Mit CO , das ebenfalls an den 6. Liganden im Myoglobin-Molekül gebunden werden kann, wurde sogar eine Farbstabilität über mehrere Wochen erreicht. Dies, obwohl die Grenzwerte für die Mikrobiologie schon lange überschritten waren (66). Der Einsatz von CO als Schutzgas ist in der Schweiz u. a. aus sicherheitsbedingten Gründen jedoch nicht erlaubt, wird derzeit aber in den USA forciert.

Im Gegenteil zu den Warmblütlern ist Fischfleisch nicht unbedingt rot. Es wird vielmehr zwischen heller und dunkler Muskelfarbe unterschieden. Aufgrund des unterschiedlichen Myoglobingehaltes in den verschiedenen Muskelfaserzellen sind beim Fisch helle und dunkle Partien vorhanden. Dunkle Fische wie Hering oder Makrelen haben einen Anteil von 10% dunklem Fleisch. Beim Dorsch ist nur eine dünne Schicht dunkler Muskelmasse unter der Haut zu finden (15).

Die rote Farbe der Muskulatur beruht vor allem auf dem Gehalt an Myoglobin. Weisses Fischfleisch weist 0.1 bis 0.2 mg Myoglobin/g auf, im dunklen Fischfleisch sind Gehalte von 3 bis 6 mg/g zu finden (40) (vgl. auch Tab. 1).

Bei der Muskelfarbe des Fisches ist die Anwesenheit von gelbfärbenden Carotinoiden als weitere farbgebende Substanz von grosser Bedeutung. Carotine werden durch die Nahrung aufgenommen und ins Gewebe eingelagert. Die Fütterung von Fisch mit Mais führt zu einer Gelbfärbung des Fettes bzw. des Muskelfleisches. Um dies zu verhindern, aber trotzdem Maiskleber einsetzen zu können, mischten Skonberg et al. (67) dem Futter Canthaxanthin bei und stellten fest, dass die gelbliche, unappetitliche Farbe durch den Rotton des Canthaxanthins maskiert wird. Weitere Messungen beim Lachs ergaben sowohl eine Zunahme des a^* -Wertes als auch des b^* -Wertes (68) mit einer Canthaxanthin-Diät.

Die Melanine, als dritte Hauptfarbstoffgruppe des Fisches, kommen nur in der Haut vor.

Fettgehalt, Fettfarbe

Der Fettgehalt von Fisch zu Fisch ist sehr verschieden und grösseren Schwankungen unterworfen. Er hängt stark von der Tierart, vom Reifezyklus, von der Fresszeit, vom Nahrungsangebot und von den Nahrungsgewohnheiten ab. Somit variiert auch die Farbe im Verlaufe der Jahreszeiten (69). Fastende Lachse weisen eine leichte Zunahme (2 bis 3 %) der L^* - und b^* -Werte (70) auf.

6 Die Farbmessung in der Anwendung und weitere Einsatzgebiete

Die Behandlung des Fisches post mortem

Post mortem laufen im Muskel des Fisches grundsätzlich dieselben Abläufe wie im Fleisch von Warmblütlern ab, jedoch viel schneller. Da der Glykogengehalt vergleichsweise tiefer ist, ist auch die pH-Absenkung geringer. Die Totenstarre ist weniger ausgeprägt als beim Säugetier und auch eine Reifung des Fleisches unterbleibt über längere Zeit.

Trotzdem laufen Reaktionen ab, die unter anderem zu einer Trübung der Augenflüssigkeit des Fisches führen. Bei offen, ganz verkauften Fischen ist dies für den fachkundigen Kunden ein besonderes Beurteilungskriterium.

Untersuchungen an Fleisch von frisch gefangenen Forellen ergaben eine deutliche Zunahme des Helligkeitswertes während einer 10-tägigen Eislagerung (71). Fagan et al. (72) hingegen fanden weder eine Zunahme der Helligkeit, noch Veränderungen im a^* -Wert während der Lagerung von Lachs und Makrelen. Schubring (73) liess Seelachs sogar zweimal tiefkühlen und wieder auftauen. Auch er fand keine Veränderung in der Muskelfarbe.

Verarbeitung

Lachs wird gewöhnlich zur Konservierung gesalzen und geräuchert. Diese Verarbeitung ergibt eine starke Abnahme der Helligkeit L^* und des Bunttonwinkels (74) h_{ab} , sowie der Farbwerte a^* und b^* (75). Rørå et al. (74) fanden auch heraus, dass die Helligkeit, der rote Ton a^* , der gelbe Ton b^* sowie die Buntheit C^* im geräucherten Lachs mit dem Fettgehalt korrelieren ($r = 0.22 - 0.34$).

Eine kurzzeitige Dampfbehandlung kann zur Keimreduktion von Filets dienen. Diese Behandlung verursacht aber ein Hellwerden der Fischfleischoberfläche (76), weil die Oberflächenproteine wegen der Wärme vorübergehend koagulieren. Dieser Unterschied verschwindet nach der Zubereitung der Filets.

Zusatz von Salz

Die Zugabe von Salz zur Konservierung wird seit längerer Zeit angewendet und hat unter anderem einen Einfluss auf den a_w -Wert, das Aroma, die Löslichkeit und das Quellen von Proteinen. Es können jedoch Farbveränderungen je nach Myoglobingehalt (Tierart) beobachtet werden.

Neben der visuellen Beurteilung des Fleisches empfehlen mehrere Autoren (77, 78), instrumentelle Messungen mit einem CIE-Tristimulus Gerät vorzunehmen. Überdies erfolgten bereits Farbmessungen, um Fleischerzeugnisse anhand ihren organoleptischen und physikalisch-chemisch gemessenen Qualitätskriterien einordnen zu können (79). Versuche im Infrarot- sowie im sichtbaren Messbereich ergaben auch mit den CIELAB-Werten (L^* , a^*) korrelierende Resultate (80). Deswegen empfiehlt MacDougall (81), die Farbmessung von Lebensmitteln als weiteren Kontrollpunkt in der Qualitätssicherung einzuführen.

Die schweizerische Verordnung des EVD über die Hygiene beim Schlachten (VHyS, 817.190.1), Anhang 7, Art. 7, Abs. 2, Ziffer 1.1.7 nennt Beanstandungsgründe bei der Fleischuntersuchung. Fleisch, das vom Üblichen deutlich abweicht bezüglich Farbe, Geruch, insbesondere starkem Geschlechtsgeruch, Konsistenz, Geschmack, Aussehen (pathophysiologische Veränderungen) wird beanstandet, weshalb eine objektive Farbmessung gerade in diesem Bereich von Interesse sein könnte.

Zur Eingangskontrolle oder als Kontrolle zur Weiterverarbeitung von Fleisch (PSE- resp. DFD-Fleisch) wird neben der visuellen Beurteilung oft der pH-Wert des Fleisches gemessen. Untersuchungen zeigen, dass beide Werte, der pH-Wert und die Farbe, signifikant miteinander korrelieren (11, 83).

Laut Hulsegge et al. (84) ist es für Kälber durchaus möglich, die Qualität der Farbe des Fleisches schon 45 Minuten post mortem zu messen und zu klassifizieren. Die $L^*a^*b^*$ -Messwerte, vor allem der L^* -Wert, korrelieren mit der visuellen Prüfung. Diese Untersuchungen sind allerdings im Labor durchgeführt worden, weshalb eine Anwendung an der Schlachtlinie noch zu überprüfen ist. An der Schlachtlinie herrschen Bedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, Lichtverhältnisse, Arbeitsabläufe und -geschwindigkeit, Variabilität der Schlachtkörper), die eine «Online-Farbmessung» massiv erschweren. Denoyelle (10) hat im Schlachthof verschiedene Farbmessgeräte evaluiert und mit der visuellen Farbmessung verglichen. 68% der Rindsschlachtkörper wurden als gut klassiert.

Andere Autoren (85, 86, 87) empfehlen, die Messung der Farbe nach einer Annäherung an den End-pH-Wert zu messen, was erst nach mehreren Stunden nach dem Schlachten möglich ist. Dvorák (88) fand beim Schwein mit Hilfe eines tragbaren Farbmessgerätes zwar wesentliche Unterschiede zwischen den Messwerten nach 45 min und nach 24 h. Hingegen korrelierten die Farbwerte zwischen 45 min und 24 h nur geringfügig ($r = 0.2$ für L^* , $r = 0.3$ für a^* und $r = 0.0$ für b^*), was eine Voraussage der Farbe nach 24 h aus den Werten von 45 min verunmöglichlicht. Der Autor schloss dennoch, dass sich das Farbmessgerät für die on-line Messung im Schlachthof eignet.

Eine invasive Methode wurde von Gariépy (89) mittels optischen Fasern an einer Sonde entwickelt (Colormet). Dabei wurde in einem Vergleich zwischen dem Colormet und einem Minolta Chromameter II festgestellt, dass das Colormet eine bessere Korrelation zwischen dem pH-Wert und dem Helligkeitswert L^* aufwies. Diese Methode wurde auch erst 24 Stunden nach dem Schlachten angewendet. Die Bedienung der Sonde erwies sich als sehr aufwändig, da sie in den Rückenmuskel, immer an derselben Stelle, eingeführt werden musste.

Die berührungslose Farbmessung eines Lebensmittels scheint durchführbar zu sein. Ein französisches Autorenteam erwähnt eine Video-Farbanalyse zur Qualitätsbeurteilung von Trutenbrustfleisch. Die Autoren stellten in Aussicht, das Verfahren in Betrieben einzusetzen (90). Die Firma X-Rite hat ein Gerät entwickelt, welches die Farbmessung aus einer Distanz von ca. 40 cm ermöglicht (91). Die Vorteile dieses Gerätes sind offensichtlich, indem die Messungen automatisch und nicht invasiv erfolgen. Zudem besteht kein Kontakt mit dem zu messenden Lebensmittel und die Gefahr von Lebensmittel-Kontaminationen und der Verschmutzung des Gerätes wird vermieden. Das Gerät wurde im Schlachthof aber noch nicht eingesetzt.

Für Fisch gibt es noch keine einheitlichen Untersuchungsmethoden. Die Farbmessung mittels modernen Messgeräten wird von Ólafsdóttir et al. (92) als mögliche Untersuchung im Rahmen der Qualitätsprüfung aufgeführt. Eine im Jahr 2002 erschienene Pilotstudie (93) zeigt, dass eine automatische, auf der Bildanalyse basierende Sortierung von Fisch wohl möglich ist, die Erfolgsrate liegt aber bei weitem unter derjenigen der visuellen Sortierung.

Neben der Schwierigkeit, das Messgerät an individuell variierenden Schlachtkörpern bzw. Fleischstücken zu positionieren, muss auch beachtet werden, dass die Messung der Fleischfarbe nicht zu einer Kontaminationsquelle für Mikroorganismen von Tierkörper zu Tierkörper wird (94).

Im Zusammenhang mit der Farbmessung von Fleisch und Fleischprodukten können Verschmutzungen (Fett, Blut) am Farbmessgerät die optischen Eigenschaften negativ beeinflussen. Verschiedene Massnahmen zur Schonung der Farbmessgeräte müssen deshalb ergriffen werden, wie z. B. die Verwendung von Glasküvetten oder von PVC-Folie (95).

Aus den nachfolgenden Gründen existiert zurzeit nur eine Referenzmethode (87) für die Farbmessung:

- i) Inhomogenität der Fleischproben.
- ii) Inhomogenität innerhalb einer Tierart.
- iii) Verschiedene Messgeometrien und Lichtarten: Messresultate sind nur innerhalb derselben Messgeometrie bzw. Lichtart (D65, A, F) vergleichbar. Zudem haben die gewählte Messöffnung und die Geräteeinstellungen während des Messvorgangs einen Einfluss auf die Resultate.
- iv) Probenvorbereitung: Der Effekt der Probendicke auf die Farbe ist nicht zu vernachlässigen. Bei zu kleiner Probendicke spielt ebenfalls die Hintergrundfarbe eine wichtige Rolle (96).

Dabei schlägt Honikel (87) nach einem «OECD-Workshop» eine Referenzmethode für die Farbmessung von Frischfleisch vor. Die Farbmessungen sollten erst durchgeführt werden, wenn der tiefste End-pH-Wert erreicht ist. Dabei soll die Lichtquelle D65 und der Standardbeobachter (10°) eingesetzt werden. Eine Messgeometrie 45/0, 0/45 oder d/8 ist möglich. Die Resultate sollen im CIELAB-System von 1976 ($L^*a^*b^*$) ausgegeben werden. Die Probenvorbereitung wird ebenfalls beschrieben. Eindeutig ist ein Trend in den neueren Literaturzitate weg von der d/0- zur d/8-Geometrie hin ersichtlich.

Im Auftrag der «Amerikanischen Fleischforschenden Gesellschaft» (AMSA) wurden Richtlinien für die Beurteilung der Fleischfarbe veröffentlicht (www.meatscience.org/Pubs/colorguide.htm). Diese Richtlinien gehen weit über die erwähnte Referenzmethode von Honikel (87) hinaus und beschreiben zusätzlich zur instrumentellen Farbmessung ebenfalls die visuelle Begutachtung von Fleisch, wie sie etwa auch für die Sensorik eingesetzt werden kann. Ebenfalls aus den USA stammt ein interessanter Review, der den gesamten Bereich der Forschung der Fleischfarbe (Chemie, Messung der Einflussfaktoren) beinhaltet (97).

Auf dem Markt existieren zahlreiche Geräte zur Messung der Farbe. Aufgrund der verschiedenen angebotenen Messgeometrien ist es wichtig, die Einstellungsmöglichkeiten der Farbmessgeräte richtig einzusetzen. Um Werte bei neueren Kugelmessgeräten miteinander vergleichen zu können, muss entschieden werden, ob der Glanz der Oberfläche des Lebensmittels miteinbezogen oder ausgeschlossen wird (SCE oder SCI). Tabelle 2 fasst die im vorliegenden Artikel erwähnten Literaturangaben zusammen, geordnet nach Tierart und Einflussfaktoren.

Tabelle 2: Einteilung der zitierten Literaturartikel nach Fleischart und Einsatzgebieten

Fleischart und Einsatzgebiet	Farbmessgerät	Farbsystem (Messgeometrie)	Bemerkung	Referenz der Artikel
Sortierung von Kalbfleisch	Minolta CR 310	L*a*b* (d/0)	Gute Sortierungsrate	(92)
Farbe von Kalbfleisch, Eisenbeigabe in Futtermilch	Minolta CM II	L*a*b*	Farbe steigt mit Eisenzufuhr	(28)
Sortierung von Rindfleisch	Minolta CR 300	L*a*b* (d/0)	Gute Sortierungsrate	(84)
Industrielle Farbmessung an Rindfleisch	Minolta CR 300 und CR 310	L*a*b* (d/0)	Befriedigende Sortierung	(10)
Akzeptanz des Fleisches	Hunter LabScan 6000	Hunter Lab, (45/0)	Farbe und Sensorik stimmen überein	(1), (9)
Zartheit des Fleisches	Minolta CR 300	L*a*b* (d/0)	pH und L*, a*, b*-Werte korrelieren	(11)
DFD beim Rind	Minolta CM II und Colormet	L*a*b*	Colormet besser als pH-Wert oder Minolta L*a*b*	(89)
PSE beim Schwein	Minolta CM 2002	L*a*b* (d/8)	Vorschläge für Grenzwerte für L*	(45), (46)
Fleischfarbe beim Schwein	Minolta CR 200b	L*a*b* (d/0)	pH und L*, a*, b*-Werte korrelieren	(42)
Fleischfarbe beim Schwein	Minolta CR 100	L*a*b* (d/0)	pH und L*, b*-Werte korrelieren	(49)
Fleischfarbe beim Schwein, on-line	Superchroma S-Spex	L*a*b* (d/8)	24-h-Farbe kann nicht mit 45-min.-Farbe verglichen werden	(88)
Fleischfarbe beim Schwein, on-line	Minolta CR 100	L*a*b* (d/0)	Ab 24 h p. m. sind Farbmessungen möglich	(86)
Fleischfarbe beim Schwein	Minolta CR 10	L*a*b* (d/8)/ NIR (Infrarot)	NIR und L*, b*-Werte korrelieren	(80)
Fleischfarbe beim Schwein	Hunter Labscan II	L*a*b*	L* korreliert gut mit anderen Methoden. a* und b* sind weniger geeignet	(85)
Fleischfarbe beim Schwein	Hunter MiniScan XE, Minolta CR 300	Hunter Lab, L*a*b*	Beste Korrelation für L*	(43)
Fleischfarbe beim Schwein	Göfo, Optostar, Minolta CR 200	L*a*b*	Gute Korrelation zw. Messgeräten, v.a. bei L* und a*	(47)
Farbe beim Kaninchenfleisch	Minolta CR 300	L*a*b* (d/0)	L*a*b*-Werte korrelieren mit Muskelfunktion	(27)
PSE bei Truten	Colormet (Instrumar, Canada)	L*a*b*	L* korreliert stark mit pH-Wert (p<0,05)	(44)
Farbe von Poulet-Haut und – Fleisch	Minolta CR 200	L*a*b* (d/0)	Starke Farbveränderung während den 4 ersten Stunden	(51)
Pouletfilet-Farbe	Minolta CR 300	L*a*b* (d/0)	Korrelation b*-Wert und Fütterung	(35)
Optimale Probendicke von Pouletbrust	Model CS-5. Applied Color Systems, NJ	L*a*b*	Ab 1.5 cm Dicke lichtundurchlässig	(96)
Hämatombildung am Poulet	Minolta CR 200	L*a*b* (d/0)	Hämatomalter gut bestimmbar	(36)
Farbkinetik eines Schnittes im Schafffleisch	Minolta CR 200	L*a*b* (d/0)	Zunahme L*, Abnahme von a* und b*	(63)
Fütterung				
Unterschied der Fütterung bei der Ziege	Minolta CM 2002	L*a*b* (d/8)	Division a*/b* diskriminiert die Stallhaltung	(34)

Verarbeitungsablauf				
Rohwurstherstellung	MOM Color 100	CIE, L* a* b*, Hunter Lab	Gute Methode, um Rötungsprozess zu verfolgen	(52)
Wurstfarbe	UV/VS Perkin Elmer Lambda 5 Spektrofotometer	L*a*b*, Hunter Lab	CIE besser für Gelbton, Hunter besser für Rotton	(53)
Wurstfarbe (Chorizo)	Perkin-Elmer Lambda 5	L*a*b*	L* als bester Parameter	(79)
Optimales Kochen	Minolta CR 200	L*a*b* (d/0)	Korrelation TPI/ Farbe	(55)
Zusammenhang zw. Farbe in Frischfleisch und im fertigen Parmaschinken	Minolta II CR 200	L*a*b*C*h* (d/0)	Farbe von Frischfleisch wenig aussagekräftig	(54)
Reifungsverlauf beim Rind	Minolta CM II	L*a*b*	Vor 24 h post mortem keine zuverlässige Messung machbar	(50)
Bestimmung der Bestrahlung beim Schwein	Monolight 6800	L*a*b* (d/0)	Diskriminierung von 87-100%	(61)
Bestrahlung	Hunter LabScan	Hunter Lab	Geringer Effekt auf die Farbe	(56)
Bestrahlung	Hunter LabScan	L*a*b*	Wirkung auf L* vor allem beim Schweine- und Rindfleisch	(60)
Bestrahlung	Monolight 6800 (Macam Photometrics, Scotland)	L*a*b* d/0	Zunahme des L*-Wertes	(57), (58)
Bestrahlung und Verpackung	Hunter Labscan LS 5100	Hunter, L*a*b*	Erhöhung des L-Wertes wegen Bestrahlung	(59)
Inertgas	Hunter MiniScan	Hunter Lab	0,5% CO ergibt die stabilste Farbe	(66)
Vitaminbeigabe als Futter oder als Antioxidans	Minolta Chromameter II	L*a*b*	Vit. E im Futter nicht nachweisbar. Vit. C und CO ₂ geben höhere a*-Werte	(32)
Fisch				
Frischebestimmung	Minolta CR 300	L*a*b*, ΔE (d/0)	Keine eindeutige Resultate, weitere Untersuchungen nötig	(71), (92)
Frischebestimmung nach Dampfbehandlung	Hunter Labscan 6000	Hunter Lab (45/0)	Zunahme von L* nach Behandlung. Sonst keine markanten Effekte	(76)
Fütterung	Hunterlab D25	Hunter Lab	Canthaxantin kann die gelbe Farbe des Mais maskieren	(67)
Fütterung	Minolta CR 300	L*a*b* (d/0)	Karotin steigert sowohl a*- wie b*-Werte	(68)
Fütterung/Fasten	Minolta CR 200/ Roche Colour Card	L*a*b* (d/0)	Leichte Zunahme von L* und b*	(70)
Qualität von Lachs	Minolta CR 200	L*a*b* (d/0)	Helligkeit steigt mit Fettgehalt. Räuchern: Keine Korrelation zw. Farbe und Sensorik	(74)
Sortierung via Bildanalyse	Agfa (2078x1200 pixel)	---	Automatische Sortierung möglich	(93)
Saisonale Variationen	Hunterlab Miniscan/EX	L*a*b*	Saisonale Variation: Abnahme von L* und Zunahme von a* und b*	(69)
Rauchparameter	Hunterlab Miniscan XE	L*a*b*	Korrelation zw. Rauchart und a*/b*	(75)
Kühlung contra Tiefkühlung	Hunterlab D25A	Hunter Lab	Kein Einfluss auf die Farbe	(72)
Mehrfach-Tiefkühlung	Minolta CR 300	L*a*b* (d/0)	Keine Uniformität der Veränderungen	(73)

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über 98 Publikationen, deren Autoren sich seit 1990 mit der Farbmessung von Fleisch und Fisch beschäftigt haben. Nach einer kurzen Einführung in das Thema der Farbmessung werden die Einflussfaktoren auf die Farbe von Fleisch, Fleischerzeugnissen und Fisch erläutert.

Dabei wird besonders die Wichtigkeit vom Myoglobin und seinen Derivaten hervorgehoben. Fütterung, Haltung, Genetik, Fettverteilung und Fleischfehler (PSE und DFD) sind ebenso entscheidend für die Farbe wie die Fleischreifung, die Verarbeitung, die Lagerung und die Verpackung.

Die verschiedenen Messmethoden werden kurz aufgezählt und kommentiert. Es werden zahlreiche Gebiete der Qualitätssicherung betrachtet, in welcher die Farbmessung eingesetzt wurde. Mehrere Autoren bestätigen, dass die Farbmessung als Instrument, neben anderen Methoden wie der Messung des pH-Wertes, zur Qualitätsüberwachung eingesetzt werden kann.

Bislang ist erst eine Referenzmethode für die Farbmessung an Frischfleisch beschrieben worden. Wichtige Parameter für die Farbmessung an Fleisch und Fisch werden im Artikel aufgezeigt.

Résumé

Ce travail présente une revue des mesures de la couleur de la viande et du poisson provenant de 98 publications parues depuis 1990. Après une courte introduction sur le thème de la mesure, les facteurs influençant la couleur de la viande, des produits carnés et du poisson sont expliqués. Dans ce cadre, la myoglobine et ses dérivés sont particulièrement considérés. D'autres facteurs tels que l'affouagement, les conditions de détention des animaux, la génétique, la répartition de la matière grasse et les défauts de la viande (PSE et DFD) sont également critiques pour la couleur comme le sont aussi la maturation de la viande, son conditionnement, son entreposage et son emballage.

Les différentes méthodes de mesure sont brièvement indiquées et commentées. De nombreux domaines de l'assurance qualité, dans lesquels la mesure de la couleur est employée, ont également été pris en compte. De nombreux auteurs confirment que la mesure de la couleur constitue un moyen qui peut, à côté d'autres mesures comme le pH, être utile au contrôle de la qualité.

Une méthode de référence pour la mesure de la couleur n'a été introduite que récemment pour la viande fraîche. Des paramètres importants pour la mesure de la couleur de la viande et du poisson sont indiqués dans ce travail.

Summary

Colour measurements of meat and meat products

This article gives an overview over 98 publications, whose authors concerned themselves since 1990 with the measurement of colour of meat and fish. After a short introduction to the topic of colorimetry, the factors of influence on the colour are described for meat, meat products and fish. Importance is particularly emphasized to myoglobin and its derivatives. Feeding, livestock and breeding, genetics, fat distribution and meat defects (PSE and DFD) are just as crucial for meat colour, as ageing, processing, storage and packaging.

The different measuring methods are enumerated briefly and commented. Numerous areas of the quality assurance are regarded, in which the measurement of the colour was used. Several authors confirm that the colorimetry can be used as an instrument, apart from other methods like the measurement of the pH value, for quality control.

So far only one reference method for the measurement of the colour of fresh meat was described. Important parameters for the colorimetry of meat and fish are also pointed out in this article.

Korrespondenzadresse

Dr. Dominik Guggisberg
Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP
Physikalische Analytik
Schwarzenburgstrasse 161
CH-3003 Bern

Literatur

- 1 Brewer, M. S. and McKeith, F. K.:
Consumer-rated quality characteristics as related to purchase intent of fresh pork. *J. Food Sci.* 64 (1), 171-174 (1999)
- 2 Kent, M.:
A survey of colour measurement. *European Food and Drink Review*, 1993, (Spring), 47-52 (1993)
- 3 Chatelain, Y., Aloui, J., Guggisberg, D. et Bosset, J.-O.:
La couleur du lait et des produits laitiers et sa mesure – un article de synthèse (1972-2002). *Mitt. Lebensm. Hyg.* 94, 461-488 (2003)
- 4 Alonso, G. I., Sanchez-Fernandez, M. A., Sáez, J. R., Zalacain, A. and Salinas, M. R.:
Evaluation of the color of Spanish saffron using tristimulus colorimetry. *Ital. J. Food Sci.* 2(15), 249-258 (2003)
- 5 Mateo Castro, R., Jiménez Escamilla, M. and Bosch Reig, F.:
Evaluation of the color of some Spanish unifloral honey types as a characterization parameter. *J. AOAC Int.* 73(3), 537-542 (1992)
- 6 Pillonel, L., Badertscher, R., Büttikofer, U., Casey, M., Dalla Tore, M., Lavanchy, P., Meyer, J., Tabacchi, R. and Bosset, J.-O.:
Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese. Main framework of the project; chemical, biochemical, microbiological, colour and sensory analyses. *Eur. Food Res. Technol.* 215, 260-267 (2002)
- 7 Pillonel, L., Tabacchi, R. and Bosset, J.-O.:
Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese. Summary of a screening study. *Mitt. Lebensm. Hyg.* 94, 60-69 (2003)
- 8 Becker, T.:
Defining meat quality. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 3-23. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)
- 9 Stevenson, J. M., Seman, D. L., Weatherall, I. L. and Littlejohn, R. P.:
Evaluation of venison color by an objective method using CIELAB values. *J. Food Sci.* 54(6), 1661-1662 (1989)
- 10 Denoyelle, C., Jabet, S. et Berny, F.:
La mesure instrumentale de la couleur de la viande de gros bovins au stade industriel. *Viandes Prod. Carnés* 18(6), 269-274 (1997)
- 11 Wulf, D. M., O'Connor, S. F., Tatum, J. D. and Smith, G. C.:
Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *J. Anim. Sci.* 75, 684-692 (1997)
- 12 Sielaff, H.:
Fleischtechnologie. Heinz Sielaff (Ed): Behr's Verlag, Hamburg, 147 (1996)
- 13 Aaslyng, M. D.:
Quality indicators for raw meat. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 157-174. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)
- 14 Young, O. A. and West, J.:
Meat color. In: Hui, Y. H., Nip, W.-K., Rogers, R. W. and Joun, O.A. (Eds). *Meat science and applications*, 39-71. Marcel Dekker, Inc, New York, Basel (2001)
- 15 Belitz, H.-D., Grosch, W. und Schieberle, P.:
Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 564-565. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (2001)
- 16 a) MacDougall, D. B.:
Colour measurement of food. In: MacDougall, D. B.(editor). *Colour in food, improving quality*, 49. Woodhead publishing in food science and technology, Cambridge, England (2002)
- 16 b) Walsh, H. M. and Kerry, J. P.:
Meat packaging. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 420. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)
- 17 Bekhit, A. E. D. and Faustman, C.:
Metmyoglobin reducing activity (Review). *Meat Science* 71, 407-439 (2005)
- 18 Minolta:
Exakte Farbkommunikation. Minolta Co., Ltd, © 2002
- 19 Hunt M. C., Acton J. C., Benedict R. C., Calkins C. R., Cornforth D. P., Jeremiah L. E., Olson D. G., Salm, C. P., Savell J. W. and Shivas S. D.:
Guidelines for Meat Color Evaluation. Published by the American Meat Science Association. www.meatscience.org
- 20 Hunt, M. C.:
Meat color measurements. *Proc. Recip. Meat Conf.* 33, 41-46 (1980)
- 21 Judd, D. W.; Wyszecki, G.:
Color in Business, Science and Industry, John Wiley & Sons, New York (1963)
- 22 Francis, F. J. and Clydesdale, F. M.:
Food Colorimetry: Theory and Applications. AVI Publishing Co. Inc., Westport, CT (1975)

- 23 Ledward, D. A.:
Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres. *J. Food Sci.* 35, 33 - 37 (1970)
- 24 Strange, E. D., Benedict, R. C., Gugger, R. E., Metzger, V. G. and Swift, C. E.:
Simplified methodology for measuring meat color. *J. Food Sci.* 39, 988 – 992 (1974)
- 25 Krzywicki, K.:
Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Sci.* 3, 1 – 10 (1979)
- 26 Miller, R. K.:
Factors affecting the quality of raw meat. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 27-57. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)
- 27 Plá, M., Hernandez, P. and Blasco, A.:
The colour of rabbit carcasses and meat. *Meat Focus International*, May 1995, 181-183 (1995)
- 28 Miltenburg, G. A. J., Wensing, Th., Smulders, F. J. M. and Breukink, H. J.:
Relationship between blood hemoglobin, plasma and tissue iron, muscle heme pigment, and carcass color of veal. *J. Animal Sci.* 70, 2766-2772 (1992)
- 29 Morel, I.:
Die Eisenversorgung beim Mastkalb. *Agrarforschung* 3, 53-56 (1996)
- 30 Egger, I.:
Muss an Mastkälber Heu verfüttert werden? *Agrarforschung* 3, 169-172 (1995)
- 31 Dufey P.-A.:
Effect of castration on the fatty acid profile and the incidence of yellow fat in bovine adipose tissue. *Proceeding 50th Annual Meeting EAAP* (1999)
- 32 Houben, J. H. and van Dijk, A.:
Dietary vitamin E supplementation, an ascorbic acid preparation, and packaging effects on colour stability and lipid oxidation in mince made from previously frozen lean beef. *Eur. Food Res. Technol.* 214, 186-191 (2002)
- 33 Wood, J. D, Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., Sheard, P. R. and Enser, M.:
Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science* 66, 21-32 (2003)
- 34 Priolo, A., Prache, S., Micol, D. and Agabriel, J.:
Reflectance spectrum of adipose tissue to trace grass feeding in sheep: Influence of measurement site and shrinkage time after slaughter. *J. Animal Sci.* 80, 886-891 (2002)
- 35 Smith, D. P., Lyon, C. E. and Lyon, B. G.:
The effect of age, dietary carbohydrate source, and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poultry Sci.* 81, 1584-1588 (2002)
- 36 Northcutt, J. K., Buhr, R. J. and Rowland, G. N.:
Relationship of broiler bruise age to appearance and tissue histological characteristics. *J. Appl. Poultry Res.* 9, 13-20 (2000)
- 37 Dunne, P. G., Monahan, F.J., O'Mora, F. P. and Moloney, A. P.:
Colour stability, under simulated retail display conditions, of M. longissimus dorsi and M. semimembranosus from steers given long-term daily exercise and supplement with vitamin E. *Meat science* 71, 480-489 (2005)
- 38 Warriss, P. D., Brown, S. N. and Pasciak, P.:
The colour of the adductor muscle as a predictor of pork quality in the loin. *Meat science* 73, 565-569 (2006)
- 39 Moloney, A. P.:
The fat content of meat and meat products. In: Kerry, J, Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 137-153. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)
- 40 Ternes, W.:
Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung. Behr's Verlag Hamburg, (1990)
- 41 Rosenvold, K. and Andersen, H. J.:
The significance of pre-slaughter stress and diet on colour and colour stability of pork. *Meat Sci.* 63, 199-209 (2003)
- 42 Hammell, K. L., Laforest, J. P. and Dufour, J. J.:
Evaluation of the lean meat colour of commercial pigs produced in Quebec. *Can. J. Animal Sci.* 74, 443-449 (1994)
- 43 Brewer, M. S., Zhu, L. G., Bidner, B., Meisinger, D. J. and McKeith, F. K.:
Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Sci.* 57, 169-176 (2001)

- 44 Barbut, S.:
Colour measurements for evaluating the pale soft exudative (PSE) occurrence in turkey meat. *Food Res. Int.* 26, 39-43 (1993)
- 45 Scharner, E. und Schiefer, G.:
Farbmetrische Untersuchungen am *Musculus longissimus dorsi* von Schlachtschweinen. *Fleischwirtsch.* 76(11), 1120-1124 (1996)
- 46 Scharner, E., Müller, Th. und Domel, G.:
Versuche zur Farbmessung am *Musculus longissimus dorsi* am Ende der Schlachtphase. *Tierärztl. Umschau* 52, 286-289 (1997)
- 47 Mussmann, Th., Schmitt, F., Jüngst, H., Tholen, E. und Schepers, K.-H.:
Vergleichende Untersuchungen zur Methodik der Helligkeits- und Farbmessung bei Schweinefleisch. *Züchtungskunde* 66 (5), 359-372 (1994)
- 48 Hammerli, K. L., Laforest, J. P. and Dufour, J. J.:
Evaluation of the lean meat colour of commercial pigs produced in Quebec. *Can. J. Anim. Sci.* 74, 443-449 (1994)
- 49 Oster, A. und Fewson, D.:
Untersuchungen über die Messung der Fleischfarbe von Schweinen mit dem Chromameter der Firma Minolta. *Züchtungskunde* 62(2), 141-159 (1990)
- 50 Murray, A. C.:
Factors affecting beef color at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.* 69, 347-355 (1989)
- 51 Petracci, M. and Fletcher, D. L.:
Broiler skin and meat color changes during storage. *Poultry Sci.* 81, 1589-1597 (2002)
- 52 Pribis, V. und Svrzic, G.:
Farbbildung in Rohwürsten während der Herstellung. *Fleischwirtsch.* 75(6), 819-821 (1995)
- 53 Ansorena, D., De Peña, M. P., Astiasarán, I. and Bello, J.:
Colour evaluation of Chorizo de Pamplona, a spanish dry fermented sausage: Comparison between the CIE L*a*b* and the Hunter Lab systems with illuminants D65 and C. *Meat Sci.* 46(4), 313-318 (1997)
- 54 Chizzolini, R., Novelli, E., Campanini, G., Dazzi, G., Madarena, G., Zanardi, E., Pacchioli, M. T. and Rossi, A.:
Lean colour of green and matured Parma hams: Comparative evaluation and technological relevance of sensory and objective data. *Meat Sci.* 44(3), 159-172 (1996)
- 55 Sair, A. I., Booren, A. M., Berry, B. W. and Smith, D. M.:
Residual triose phosphate isomerase activity and color measurements to determine adequate cooking of ground beef patties. *J. of Food Protection* 62(2), 156-161 (1999)
- 56 Chen, X., Jo, C., Lee, J. I. and Ahn, D. U.:
Lipid oxidation, volatiles and color changes of irradiated pork patties as affected by antioxidants. *J. Food Sci.* 64(1), 16-19 (1999)
- 57 Millar, S. J., Moss, B. W. and Stevenson, M. H.:
The effect of ionising radiation on the colour of beef, pork and lamb. *Meat Sci.* 55, 349-360 (2000)
- 58 Millar, S. J., Moss, B. W. and Stevenson, M. H.:
The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat. *Meat Sci.* 55, 361-370 (2000)
- 59 Montgomery, J. L., Parrish, F. C., Olson, D. G., Dickson, J. S. and Niebuhr, S.:
Storage and packaging effects on sensory and color characteristics of ground beef. *Meat Sci.* 64, 357-363 (2003)
- 60 Nanke, K. E., Sebranek, J. G and Olson, D. G.:
Color characteristics of irradiated aerobically packaged pork, beef and turkey. *J. Food Sci.* 64(2), 272-277 (1999)
- 61 Moss, B. W., Millar, S. J. and Kilpatrick, D. J.:
The use of discriminant analysis for the interpretation of the reflectance spectra of irradiated porcine *M. longissimus dorsi*. *Meat Sci.* 55, 337-348 (2000)
- 62 De Lamballerie-Anton, M., Taylor, R. G. and Culioli, J.:
High pressure processing of meat. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 313-331. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)
- 63 Kannan, G., Kouakou, B. and Gelaye, S.:
Color changes reflecting myoglobin and lipid oxidation in chevon cuts during refrigerated display. *Small Ruminant Research* 42, 67-75 (2001)
- 64 Mumzhiu, A.:
Application of vision systems for color and appearance measurements in industrial inspection. Part of the IS&T/SPIE conference on machine vision applications in industrial inspection VII, San Jose, California, January 1999.
- 65 Jakobsen, M. and Bertelsen, G.:
Modeling colour stability in meat. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 122-136. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2002)

- 66 Jayasingh, P., Cornforth, D. P., Carpenter, C. E. and Whittier, D.: Evaluation of carbon monoxide treatment in modified atmosphere packaging or vacuum packaging to increase color stability of fresh beef. *Meat Sci.* 59, 317-324 (2001)
- 67 Skonberg, D. I., Hardy, R. W., Barrows, F. T. and Dong, F. M.: Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-phosphorus feeds containing corn or wheat gluten. *Aquaculture* 166, 269-277 (1998)
- 68 Baker, R. T. M., Pfeiffer, A.-M., Schöner, F.-J. and Smith-Lemmon, L.: Pigmenting efficacy of astaxanthin and canthaxanthin in fresh-water reared Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Animal Feed Sci. Techn.* 99, 97-106 (2002)
- 69 Hamre, K., Lie, Ø. and Sandnes, K.: Seasonal development of nutrient composition, lipid oxidation and colour of fillets from Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus L.*). *Food Chem.* 82, 441-446 (2003)
- 70 Einen, O. and Thomassen, M. S.: Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*). II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets. *Aquaculture* 169, 37-53 (1998)
- 71 Schubring, R.: Instrumentelle Farbmessung zur Bestimmung der Frische von Fisch. *Fleischwirtsch.* 78(12), 1296-1298 (1998)
- 72 Fagan, J. D., Gormley, T. R. and Mhuirheartaigh, M. U.: Effect of freeze-chilling, in comparison with fresh, chilling and freezing, on some quality parameters of raw whiting, mackerel and salmon portions. *Lebensm.-Wiss. u. -Technol.*, 36, 647-655 (2003)
- 73 Schubring, R.: Double freezing of saithe fillets. Influence on sensory and physical attributes. *Nahrung/ Food* 45(4), 280-285 (2001)
- 74 Rørå, A. M. B., Kvåle, A., Mørkøre, T., Rørvik, K.-A., Steien, S. H. and Thomassen, M. S.: Process yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to raw material characteristics. *Food Res. Int.* 31(8), 601-609 (1998)
- 75 Cardinal, M., Knockaert, C., Torrissen, O., Sigurgisladottir, S., Mørkøre, T., Thomassen, M. and Vallet, J. L.: Relation of smoking parameters to the yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Research Int.* 34, 537-550 (2001)
- 76 Bal'a, M. F. A., Podolak, R. and Marshall, D. L.: Microbial and color quality of fillets obtained from steam-pasteurized deheaded and eviscerated whole catfish. *Food Microbiology* 17, 625-631 (2000)
- 77 MacDougall, D. B.: Colour of meat. *Adv. Meat Res.* 9, 79-93 (1994)
- 78 Demeyer, D., Stahnke, L. and Hansen C.: Quality control of fermented meat products. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality*, 359-393. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. (2002)
- 79 Gimeno, O., Ansorena, D., Astiasarán, I. and Bello, J.: Characterization of chorizo de Pamplona: instrumental measurements of colour and texture. *Food Chem.* 69, 195-200 (2000)
- 80 Cozzolino, D., Barlocco, N., Vadell, A., Ballesteros, F. and Gallieta, G.: The use of visible and near-infrared reflectance spectroscopy to predict colour on both intact and homogenised pork muscle. *Lebensm.-Wiss. u. -Technol.* 36, 195-202 (2003)
- 81 MacDougall, D. B.: Colour measurement of food: principles and practice. In: MacDougall, D. B.(editor). *Colour in food, improving quality*, 33-63. Woodhead publishing in food science and technology, Cambridge, England (2002)
- 82 Verordnung des EVD über die Hygiene beim Schlachten vom 27. Dez. 2005, S. 38, SR 817.190.1, Artikel 1.1.7, Eidg. Drucksachen und Materialverwaltung, Bern 2005
- 83 Page, J. K., Wulf, D. M. and Schwotzer, T. R.: A survey of beef muscle color and pH. *J. Anim. Sci.* 79, 678-687 (2001)
- 84 Hulsegge, B., Engel, B., Buist, W. Merkus, G. S. M. and Klont, R. E.: Instrumental colour classification of veal carcasses. *Meat Sci.* 57, 191-195 (2000)
- 85 Van Oeckel, M. J., Warnants, N. and Boucqué, Ch. V.: Measurement and prediction of pork colour. *Meat Sci.* 52, 347-354 (1999)
- 86 Chizzolini, R., Delbono, G., Novelli, E., Pongolini, S. and Rosa, P.: On-line objective evaluation of pork quality. *European Meeting of Meat Research Workers* 68-71, Kulmbach, September 1991

- 87 Honikel, K. O.:
Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49(4), 447-457 (1998)
- 88 Dvorák, P., Musilova, H. and Svarcova, I.:
On-line measurements of colour of pork. *Fleischwirtsch.* 7, 89-91 (2001)
- 89 Gariépy, C., Jones, S. D. M., Tong, A. K. W. and Rodrigue, N.:
Assessment of the colormet fiber optic probe for the evaluation of dark cutting beef. *Food Res. Int.* 27, 1-6 (1994)
- 90 Sebastián, I., Lhoutellier, V. S., Marty-Mahé, P., Wisel, P., Brossard, D., Le Pottier, G. et Monin, G.:
Characterization of turkey breast meat quality using colour image analysis. *Proceedings XVth European Symposium on the quality of poultry meat & Xth European Symposium on the quality of eggs and egg products.* Saint-Brieuc, France, 54-59 (2003)
- 91 X-Rite:
TeleFlash™ System, Grandville, Michigan, USA.
- 92 Ólafsdóttir, G., Martinsdóttir, E., Oehlenschläger, J., Dalgaard, P., Jensen, B., Undeland, I., Mackie, I. M., Henehan, G., Nielsen, J. and Nilsen, H.:
Methods to evaluate fish freshness in research and industry. *Trends in Food Sci. & Technol.* 8, 258-265 (1997)
- 93 Kohler, A., Skaga, A., Hjelme, G. and Skarpeid, H. J.:
Sorting salted cod fillets by computer vision: a pilot study. *Computers and electronics in agriculture* 36, 3-16 (2002)
- 94 Swatland, H. J.:
On-line monitoring of meat quality. In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds). *Meat processing, improving quality* 193-216. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England 2002
- 95 Joshi, P. and Brimelow, C. J. B.:
Colour measurement of foods by colour reflectance. In: MacDougall, D. B. (editor). *Colour in food, improving quality*, 80-114. Woodhead publishing in food science and technology, Cambridge, England (2002)
- 96 Sandusky, C. L. and Heath, J. L.:
Effect of background color, sample thickness and illuminant on the measurement of broiler meat color. *Poultry Sci.* 75, 1437-1442 (1996)
- 97 Mancini, R. A. and Hunt, M. C.:
Current research in meat color. *Meat Sci.* 71, 100-121 (2005)
- 98 Snyder, H. E.:
Analysis of pigments at the surface of fresh beef with reflectance spectrophotometry. *J. Food Sci.* 30, 457 (1965)