Aus dem Institut
für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl: Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. A. Stolle

---

Arbeit angefertigt unter Leitung von Frau PD Dr. B. Schalch

# Messung der Farbe als Qualitätsparameter bei Rindfleisch im Hinblick auf die Festlegung von Richtwerten in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Jennifer Christina Wagner
aus Ibbenbüren

München 2006

Gedruckt mit freundlicher Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

| | |
|---|---|
| Dekan: | Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer |
| Referentin: | Priv.-Doz. Dr. B. Schalch |
| Korreferent: | Univ.-Prof. Dr. R. Mansfeld |

Tag der Promotion: 28.07.2006

# Abkürzungen

| | |
|---|---|
| a* | Rot-Grün-Achse |
| $a^*_A$ | Rot-Grün-Wert Anschnitt |
| $a^*_O$ | Rot-Grün-Wert Oberfläche |
| Aqua dest. | destilliertes Wasser |
| ATP | Adenosintriphosphat |
| AVV | Allgemeine Verwaltungsvorschrift |
| b* | Gelb-Blau-Achse |
| $b^*_A$ | Gelb-Blau-Wert Anschnitt |
| $b^*_O$ | Gelb-Blau-Wert Oberfläche |
| CIE | Commision Internationale d'Eclairage |
| CMA | Centrale Marketingorganisation der Deutschen Agrarwirtschaft |
| d | Tage |
| DCB | dark cutting beef |
| DFD | dark, firm, dry |
| d/0° | diffuse Beleutung, Messung unter 0° (senkrecht) |
| d/8° | diffuse Beleutung, Messung unter 8° |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e.V. |
| DLG | Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft |
| EU | Europäische Union |
| EG | Europäische Gemeinschaft |
| FG | fast twitch glykolytische Fasern |
| FOG | fast twitch oxidativ-glykolytische Fasern |
| FOP | Fibre Optic Probe |
| GKZ | Gesamtkeimzahl |
| Göfo | Göttinger Fotometer |
| h | Stunden |
| Hrsg. | Herausgeber |

| | |
|---|---|
| ISO | International Organization for Standardization |
| KbE | koloniebildende Einheiten |
| KbE/ml | koloniebildende Einheiten pro Milliliter |
| KbE/$cm^2$ | koloniebildende Einheiten pro Quadratzentimeter |
| L* | Helligkeit |
| $L^*_A$ | Helligkeit Anschnitt |
| $L^*_O$ | Helligkeit Oberfläche |
| L*a*b*-System | Farbraumsystem mit empfindungsgemäßen Farbabständen |
| LB | Laktobazillen |
| LD | *M. longissimus dorsi* |
| LF | elektrische Leitfähigkeit |
| LFGB | Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch |
| LMU | Ludwig-Maximillians-Universität München |
| Mb | reduziertes Myoglobin |
| $MbO_2$ | Oxymyoglobin |
| MetMb | Metmyoglobin |
| mmHg | Millimeter Quecksilbersäule |
| MRA | Metmyoglobin reduzierende Aktivität |
| MRS-Agar | Laktobazillus-Agar nach de Man, Rogosa, Sharpe |
| MSB | Milchsäurebakterien |
| NADH | Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid-Hydrid |
| N.N. | nomen nescio |
| NN | homozygot stressunempfindlich |
| Nn | heterozygot stressempfindlich |
| OKZ/$cm^2$ | Oberflächenkeimzahl pro Quadratzentimeter |
| PC-Agar | Plate-Count-Agar |
| p. m. | post mortem |

| | |
|---|---|
| PSE | pale, soft, exsudative |
| r | Korrelation zweier Parameter |
| RFF | spezieller Farbwiedergabe-Index für Fleisch, Fleischerzeugnisse |
| SB-Fleisch | vorverpacktes Fleisch in der Selbstbedienung |
| SDH | Succinatdehydrogenase |
| SM | *M. semimembranosus* |
| SO | slow twitch oxidative Fasern |
| ST | *M. semitendinosus* |
| UV | Ultraviolettstrahlung |
| vs. | versus |
| XYZ-System | Normvalenzsystem |
| x, y, z | Normfarbwertanteile |
| Y | Hellbezugswert |
| 45°/0° | Beleuchtung unter 45°, Messung unter 0° (senkrecht) |

# Inhaltsverzeichnis

**1 EINLEITUNG ..... 11**

**2 LITERATUR ..... 12**

**2.1 Definition Farbe ..... 12**

2.1.1 Farbwahrnehmung durch das menschliche Auge ..... 12
2.1.2 Objektive Farbbeschreibung ..... 16

**2.2 Grundlagen der Farbmessung ..... 17**

2.2.1 Farbmetrik ..... 17
2.2.2 Farbmaßsysteme ..... 17
2.2.3 Normlichtarten ..... 21
2.2.4 Messgeometrie ..... 21

**2.3 Die Fleischfarbe ..... 23**

2.3.1 Bedeutung der Fleischfarbe ..... 23
2.3.2 Zustandekommen der Fleischfarbe ..... 24
2.3.3 Einflüsse auf die Fleischfarbe ..... 30
2.3.3.1 Einfluss der muskulären Eigenschaften ..... 30
2.3.3.2 Einfluss der Spezies ..... 33
2.3.3.3 Einfluss des Geschlechts ..... 34
2.3.3.4 Einfluss des Lebensalters ..... 34
2.3.3.5 Einfluss der Rasse ..... 35
2.3.3.6 Einfluss der Haltung ..... 36
2.3.3.7 Einfluss der Fütterung ..... 37
2.3.3.8 Einfluss des pH-Wertes ..... 38
2.3.3.9 Auswirkungen des Umgangs mit den Tieren vor dem Schlachten ..... 41
2.3.3.10 Einfluss der Kühlung ..... 48
2.3.3.11 Auswirkungen der bakteriellen Besiedelung ..... 49
2.3.4 Farbentwicklung während der Fleischreifung und -lagerung ..... 50

2.3.5 Farbhaltung und Einflüsse auf die Farbstabilität ..... 52
2.3.6 Die Fleischfarbe als Qualitätsparameter ..... 57
2.3.6.1 Definition der Fleischqualität ..... 57
2.3.6.2 Parameter der Fleischqualität ..... 57
2.3.6.3 Beziehung der Fleischfarbe zu weiteren Fleischqualitätsparametern ..... 58
2.3.6.4 Qualitätsbeurteilung im Rahmen der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene ..... 59

**2.4 Die Farbmessung an Fleisch ..... 60**

2.4.1 Problematik der objektiven Farbmessung an Fleisch ..... 60
2.4.2 Anwendung der Farbmessung ..... 60
2.4.2.1 Einsatzgebiete der Farbmessung an Fleisch ..... 60
2.4.2.2 Standardisierung der Farbmessung an Fleisch ..... 66
2.4.2.3 Farbmessverfahren und Messgeräte ..... 70
2.4.2.4 Durchschnittswerte der Fleischfarbe für Schweine-, Rind- und Kalbfleisch aus der Literatur ..... 71

**3 MATERIAL UND METHODEN ..... 74**

**3.1 Material ..... 74**

3.1.1 Probenmaterial der Vorversuche ..... 74
3.1.2 Probenmaterial des Hauptversuchs ..... 74
3.1.3 Verbrauchsmaterialien der mikrobiologischen Untersuchungen ..... 76
3.1.4 Verbrauchsmaterialen der physikalischen Untersuchungen ..... 76
3.1.5 Geräte und Hilfsmittel ..... 77

**3.2 Methoden ..... 78**

3.2.1 Anlage der Versuche ..... 78
3.2.1.1 Vorversuche ..... 78
3.2.1.2 Hauptversuch ..... 78
3.2.2 Physikalische Untersuchungen ..... 80
3.2.2.1 Farbmessung ..... 80
3.2.2.2 Messung des pH-Wertes ..... 84
3.2.3 Mikrobiologische Untersuchungen ..... 84

3.2.3.1 Probennahme ..... 84
3.2.3.2 Bestimmung der aeroben Gesamtkeimzahl bei + 30 °C ..... ..... 85
3.2.3.3 Bestimmung der Laktobazillen ..... 89
3.2.3.4 Bestimmung von aerob wachsenden Milchsäurebakterien ..... 90
3.2.4 Sensorische Untersuchung ..... 90
3.2.5 Statistische Auswertung ..... 91

**4 ERGEBNISSE ..... 92**

**4.1 Ergebnisse der Vorversuche ..... 92**

4.1.1 Vorversuch I (Farbmessung in der Zerlegung) ..... 92
4.1.2 Vorversuch II (Farbverteilung im *M. longissimus dorsi*) ..... 93

**4.2 Ergebnisse des Hauptversuchs (Lagerversuch) ..... 95**

4.2.1 Deskriptive Auswertung der Ergebnisse des Hauptversuchs ..... 95
4.2.1.1 Veränderung der Farbwerte von Anschnitt und Oberfläche des *M. longissimus dorsi* während achtwöchiger Lagerung ..... 95
4.2.1.2 Veränderung des pH-Wertes während achtwöchiger Lagerung ..... 100
4.2.1.3 Veränderung sensorischer Parameter während achtwöchiger Lagerung ..... 101
4.2.1.4 Veränderung der mikrobiologischen Kenngrößen während achtwöchiger Lagerung ..... 113
4.2.2 Statistische Auswertung der Ergebnisse des Hauptversuchs ..... 115
4.2.2.1 Prüfung der Untersuchungsparameter auf Normalverteilung .... 115
4.2.2.2 Zusammenhang zwischen objektiver Oberflächen- und objektiver Anschnittsfarbe ..... 117
4.2.2.3 Entwicklung der objektiven Farbe L*a*b* von Rindfleisch während achtwöchiger Lagerung ..... 120
4.2.2.4 Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Fleischfarbe L*a*b* .. 124
4.2.2.5 Einfluss des pH-Wertes auf die subjektive Ausgangsfleischfarbe ..... 131
4.2.2.6 Zusammenhänge zwischen objektiver Fleischfarbe L*a*b* und sensorischen Parametern ..... 135

4.2.2.7 Einfluss des mikrobiologischen Status auf die objektive Fleischfarbe L*a*b* ..... 147
4.2.2.8 Entwicklung der mikrobiologischen Kennzahlen über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung ..... 149
4.2.2.9 Einfluss des mikrobiologischen Status auf die Bewertung der sensorischen Untersuchungsparameter subjektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe sowie Geruch ..... 151
4.2.2.10 Korrelationen der mikrobiologischen und sensorischen Untersuchungsparameter ..... 153

**5 DISKUSSION ..... 155**

**5.1 Voruntersuchungen ..... 155**

5.1.1 Farbmessung in der Zerlegung (Vorversuch I) ..... 155
5.1.2 Farbverteilung im *M. longissimus dorsi* (Vorversuch II) ..... 157

**5.2 Lagerversuch ..... 159**

5.2.1 Beziehung zwischen objektiver Oberflächen- und Anschnittsfarbe ..... 159
5.2.2 Entwicklung der objektiven Rindfleischfarbe L*a*b* über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung ..... 162
5.2.3 Einfluss des pH-Wertes auf die objektive und subjektive Fleischfarbe . 164
5.2.4 Zusammenhang zwischen sensorischen Parametern und objektiver Fleischfarbe ..... 167
5.2.5 Beziehung zwischen mikrobiologischem Status und objektiver Fleischfarbe ..... 170
5.2.6 Abschließende Bewertung der Farbmessung als objektives Verfahren zur Qualitätskontrolle im Rinderschlachtbetrieb und im Rahmen der AVV ..... 173
5.2.7 Verhalten der mikrobiologischen Kenngrößen über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung ..... 175
5.2.8 Einfluss des mikrobiologischen Status auf ausgewählte sensorische Parameter ..... 177
5.2.9 Korrelationen zwischen mikrobiologischen und sensorischen Parametern ..... 178

**6 SCHLUSSFOLGERUNGEN ..... 180**

**7 ZUSAMMENFASSUNG ..... 181**

**8 SUMMARY ..... 185**

**9 ANHANG ..... 188**

**10 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS ..... 244**

**11 LITERATURVERZEICHNIS ..... 251**

# 1 EINLEITUNG

Die Fleischfarbe von Rindfleisch ist neben ernährungsphysiologischen und hygienischen Parametern ein wichtiger Qualitätsfaktor. Für die Kaufentscheidung des Verbrauchers spielt die Farbe des Rindfleisches eine wichtige Rolle. Aufgrund des rückläufigen Rindfleischkonsums und den wiederholten Skandalen in den letzten Jahren ist eine Vertrauenssicherung des Verbrauchers in das produzierte Rindfleisch nötig. Von Bedeutung ist zum einen die Rückverfolgbarkeit des erzeugten Fleisches („from stable to table“) und zum anderen die hohe Güte des Produktes. Durch die zunehmende Vermarktung von Rindfleisch in Form von SB-Fleisch ist der Konsument verstärkt gefordert, die Qualität des verpackten Fleisches selbst zu beurteilen. Im Rahmen dieser Beurteilung orientiert sich der Laie stark an der Rindfleischfarbe und schließt hieraus auf andere Eigenschaften des Fleisches, wie hygienischen Zustand, Geruch und Geschmack, die bei verpacktem Fleisch nicht direkt zu beurteilen sind. Daraus ergibt sich die Bedeutung der Fleischfarbe für die Fleischerzeuger und -vermarkter. Rindfleisch muss während der Reifung und Lagerung eine attraktive Farbe bewahren. Verfärbungen bedeuten einen Wertverlust, da solches Fleisch schlechter zu verkaufen ist.

Dieser Beitrag zur Erfassung der objektiven Rindfleischfarbe beschäftigt sich mit Aspekten der praktischen Farbmessung im fleischerzeugenden und -verarbeitenden Betrieb. Die Farbhaltung von Rindfleisch wird im Verlauf einer achtwöchigen Lagerung betrachtet. Die objektive Rindfleischfarbe wird weiterhin in Beziehung zu mikrobiologischen, physikalischen und sensorischen Kriterien gesetzt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen dazu dienen, Grunddaten für die Entwicklung der Fleischfarbe von Rindfleisch während der Lagerung zu erarbeiten, anhand derer unterschiedliche Lagerungseinflüsse untersucht werden können. Des Weiteren soll durch die Verknüpfung der objektiven Rindfleischfarbe mit anderen Parametern, vor allem mit mikrobiologischen Kriterien, die Möglichkeit geprüft werden, ob durch eine Farbmessung Aussagen über andere Qualitätsfaktoren sowie über die Haltbarkeit des Fleisches getroffen werden können.

# 2 LITERATUR

## 2.1 Definition Farbe

Farbe ist ein subjektiver Sinneseindruck (RICHTER, 1981; LOOS, 1989). Der Begriff „Farbe“ darf ausschließlich für den durch das Auge vermittelten Sinneseindruck verwendet werden. Farbe ist folglich eine optische Erscheinung (LOOS, 1989). Nach DIN 5033 (1993) ist „Farbe diejenige Gesichtsempfindung eines dem Auge strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen angrenzenden Bezirk allein unterscheiden kann.“

### 2.1.1 Farbwahrnehmung durch das menschliche Auge

Damit die Wahrnehmung von Farbe als Sinnesempfindung erfolgen kann, muss ein Farbreiz in Form von Strahlung die Sinneszellen der Netzhaut erreichen (RICHTER, 1981). Die Sinneszellen des menschlichen Auges sind nur sensibel für den elektromagnetischen Wellenlängenbereich von 400 bis 750 nm der optischen Strahlung, den sichtbaren Bereich, umgangssprachlich als Licht bezeichnet (EYSEL, 1996). Das Auge ist im Prinzip ähnlich einer Kamera aufgebaut (Abb. 1). Die Hornhaut (Kornea) und die Linse entsprechen der abbildenden Optik und sind die lichtbrechenden Anteile. Die Stärke der Brechung wird durch die Linsenkrümmung (Akkomodation) bestimmt. Die Netzhaut (Retina) entspricht der Projektionsebene, auf die durch die Augenoptik ein scharfes Bild des betrachteten Gegenstandes geworfen wird (RICHTER, 1981).

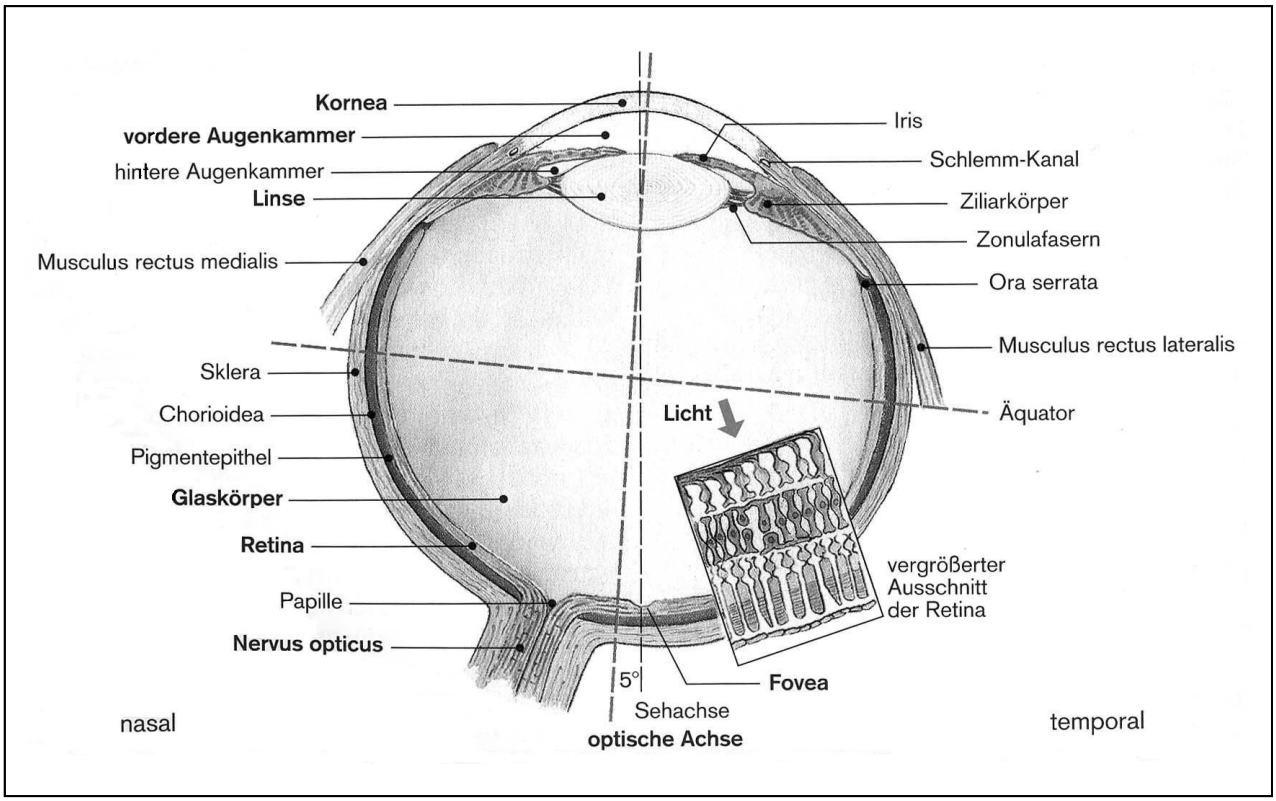


**Abb. 1:** Aufbau des Auges nach KLINKE und SILBERNAGL (1996)

Die Netzhaut (Abb. 2) enthält die lichtempfindlichen Sinneszellen, Stäbchen und Zapfen (EYSEL, 1996). Die Stäbchen fungieren als hochsensible Hell-Dunkel-Rezeptoren und sind für das Dämmerungssehen, skotopisches Sehen, verantwortlich. Die Zapfen sind die Rezeptoren für das Farbsehen (LIEBICH, 1999; LIEBICH und KÖNIG, 1999). Das Tagsehen, photopisches Sehen, wird durch die Zapfen vermittelt, da die Stäbchen aufgrund ihrer hohen Lichtempfindlichkeit bei Helligkeit schnell erschöpfen, die Zapfen hingegen eine geringere Helligkeitsempfindlichkeit besitzen (RICHTER, 1981). Das Absorptionsmaximum der Stäbchen liegt bei einer Wellenlänge von 500 nm. Im Vergleich dazu sind bei den farbempfindlichen Zapfen drei verschiedene Typen zu unterscheiden: mit Absorptionsmaxima im kurz- (420 nm), mittel- (535 nm) und langwelligen (565 nm) Bereich (Abb. 3). Die kurzwelligen Zapfen absorbieren vor allem blauviolettes, die mittelwelligen grünes und die langwelligen gelbes bis rotes Licht.

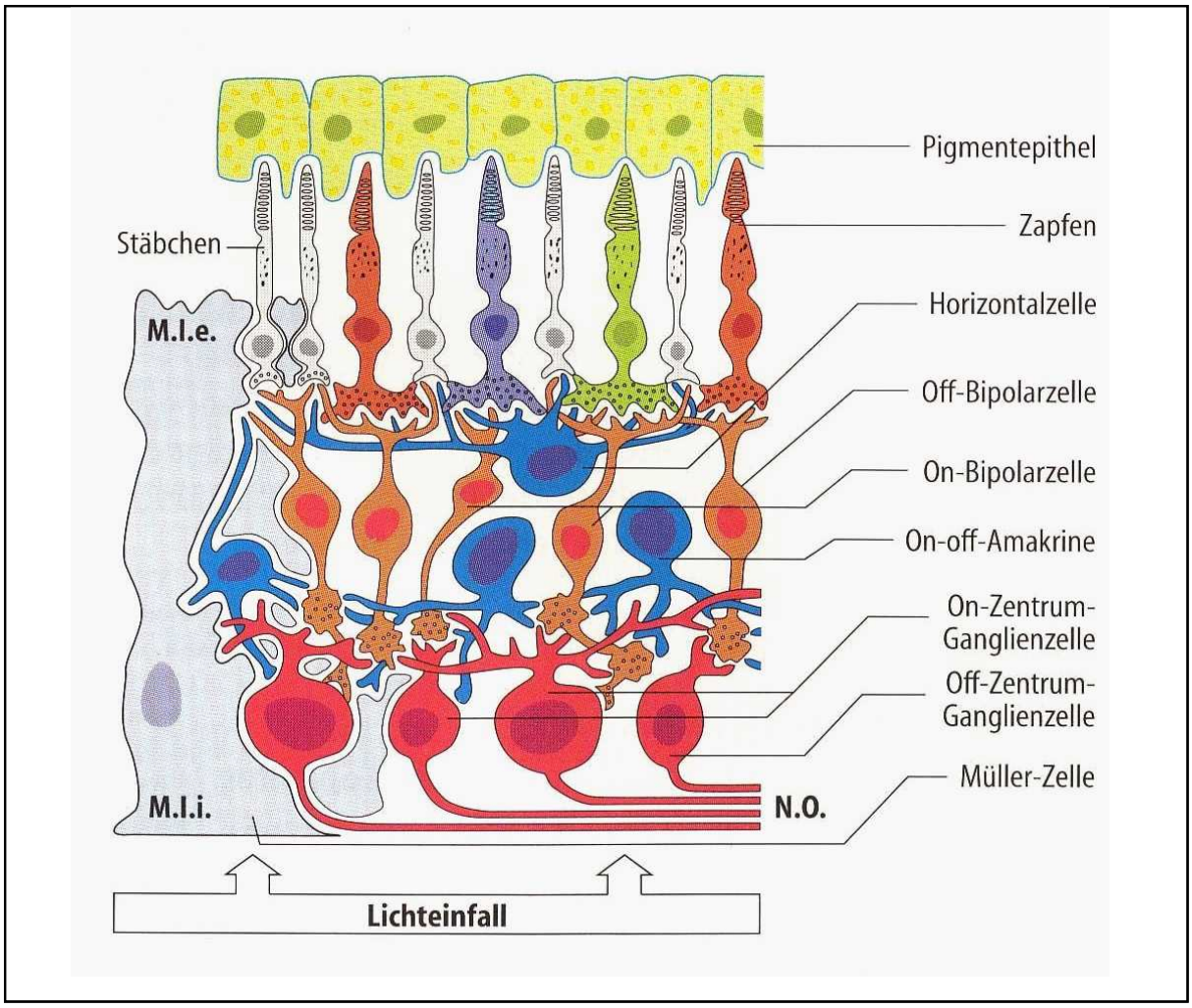


**Abb. 2:** Aufbau der Netzhaut mit den verschiedenen Zapfentypen nach SCHMIDT und THEWS (1995)

Die drei Zapfentypen werden jeweils durch die Grundfarbe, die sie absorbieren, erregt (SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 1991). Nach der trichromatischen Theorie von Young, Helmholtz und Maxwell (VON HELMHOLTZ, 1896) aus dem 19. Jahrhundert bilden die drei Arten von Zapfen die periphere Grundlage für das Farbsehen, da sich jede Farbe durch additive Mischung von drei monochromatischen Farben erzeugen lässt.

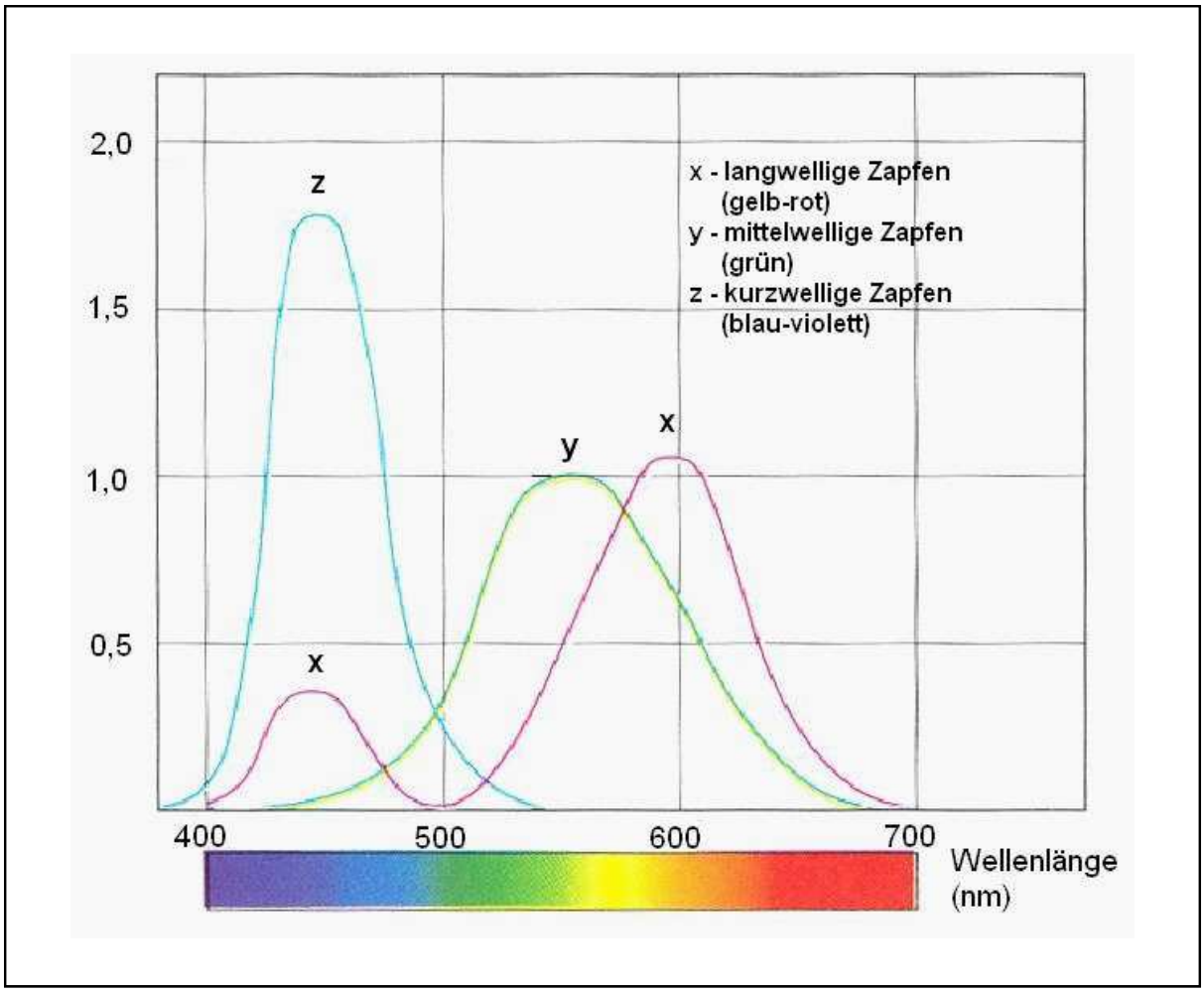


**Abb. 3:** Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges (Spektralwert-funktionen für den Normalbeobachter CIE 1931) nach KONICA-MINOLTA (2004)

Die Sinneszellen des menschlichen Auges leiten die Farbreize in Form von Aktionspotentialen über den Sehnerven an die Hirnzentren für das Sehen weiter. In den Neuronen der Sehrinde wird die Sinnesempfindung Farbe generiert und schließlich wahrgenommen (DEETJEN und SPECKMANN, 1992). Farbe entsteht somit im Gehirn (EYSEL, 1996).

### 2.1.2 Objektive Farbbeschreibung

Farbe wird von den Menschen in sehr unterschiedlicher Art und Weise empfunden. Die Mitteilung des Sinneseindrucks „Farbe“ ist subjektiv. Farbe lässt sich durch die sprachlich gebräuchlichen Begriffe nicht ausreichend beschreiben (BERGER-SCHRUNN, 1994). Die Farbempfindung ist nicht messbar, nicht objektivierbar (LOOS, 1989).

Die äußere Ursache für Farbe, die optische Strahlung, hingegen, ist eine physikalische Größe und messbar (RICHTER, 1981). Der Farbreiz kann von Selbstleuchtern (Lichtquellen) oder von Nichtselbstleuchtern (beleuchteten Körpern) ausgehen. Man spricht bei Selbstleuchtern von der Lichtfarbe und bei Nichtselbstleuchtern von der Körperfarbe, welche wesentlich von der beleuchtenden Lichtart beeinflusst wird (LOOS, 1989). Die Farbe eines Körpers wird durch die Absorption und Remission bestimmter Wellenlängenanteile des Lichtes bestimmt (BERGER-SCHRUNN, 1994; GRÜSSER und GRÜSSER-CORNEHLS, 1995).

Jede Farbe wird physikalisch gesehen durch Buntton, Sättigung und Helligkeit charakterisiert (DEETJEN und SPECKMANN, 1992; MC DARRAH und MC DARRAH, 1999). Als Buntton wird die Eigenschaft, die eine bunte von einer unbunten Farbe unterscheidet, bezeichnet (LOOS, 1989). Unbunte Farben sind Schwarz, Weiß sowie alle Grautöne. Sie differieren nur im Grad ihrer Helligkeit und besitzen keine Sättigung und keinen Buntton (KLETTNER und STIEBING, 1980; RICHTER, 1981). Die Helligkeit beschreibt die mit einer Farbempfindung untrennbar verbundene Lichtempfindung und wird durch den Schwarz- bzw. Weißgehalt einer Farbe bestimmt. Das Verhältnis der Buntheit zur Helligkeit wird mit dem Begriff „Sättigung“ umschrieben (LOOS, 1989). Die Sättigung gibt die Abmischung einer bunten Farbe nach Schwarz, Grau, Weiß oder den jeweiligen Komplementärfarben an (FREIER, 1992). Die Sättigung drückt damit den Grad der Buntheit aus und ist bei den reinen Spektralfarben maximal (KLETTNER und STIEBING, 1980).

## 2.2 Grundlagen der Farbmessung

### 2.2.1 Farbmetrik

Die Farbmetrik ist die Lehre von den Maßbeziehungen zwischen den Farben (RICHTER, 1981; LOOS, 1989). Sie setzt voraus, dass Farben objektiv messbar und durch Zahlen beschreibbar sind. Die einheitliche Wirkung eines Farbreizes, der Strahlung, auf die drei voneinander unabhängigen Reizzentren des trichromatischen Auges wird als Farbvalenz bezeichnet. Unter einer Farbmessung versteht man die Ermittlung der drei eine Farbvalenz kennzeichnenden Farbmaßzahlen (RICHTER, 1981; LOOS, 1989; DIN, 1993).

### 2.2.2 Farbmaßsysteme

Auf internationaler Ebene wurde 1931 von der Internationalen Beleuchtungskommission, Commission Internationale d'Eclairage (CIE), das XYZ-System als Normvalenzsystem genormt. Farbe ist eine additive Mischung aus den verschiedenen Anteilen dreier Primärlichtquellen (Spektralfarben). Als Primärlichtquellen werden meistens die Spektralfarben rot (700 nm), grün (546,1 nm) und blau (435,8 nm) verwendet. Die Normfarbwerte X, Y, Z sind als die Mengen des Lichtes, das von 3 virtuellen Primärlichtquellen ausgestrahlt werden müsste, um den gleichen Farbeindruck wie die Probe zu erzeugen, definiert (BERGER-SCHRUNN, 1994). Die Normfarbwerte X, Y, Z können zur Kennzeichnung der Farbart in die Normfarbwertanteile x, y, z umgewandelt werden (CIE, 1971; DIN, 1993).

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

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

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

Die Normfarbwertanteile x und y werden als Koordinaten zur Beschreibung eines Farbortes in einer Farbtafel verwendet. Die Normfarbtafel (Abb. 4) stellt ein rechtwinkeliges Koordinatensystem mit x als Abszisse und y als Ordinate dar. Bei Lichtfarben sind x und y zur Kennzeichnung ausreichend. Bei Körperfarben wird als dritte Dimension der Normfarbwert Y (Hellbezugswert) zur Beschreibung herangezogen (DIN, 1993; BERGER-SCHRUNN, 1994). Der Normfarbwertanteil z muss nicht angegeben werden, da er aus x und y berechnet werden kann (z = 1 - x - y).

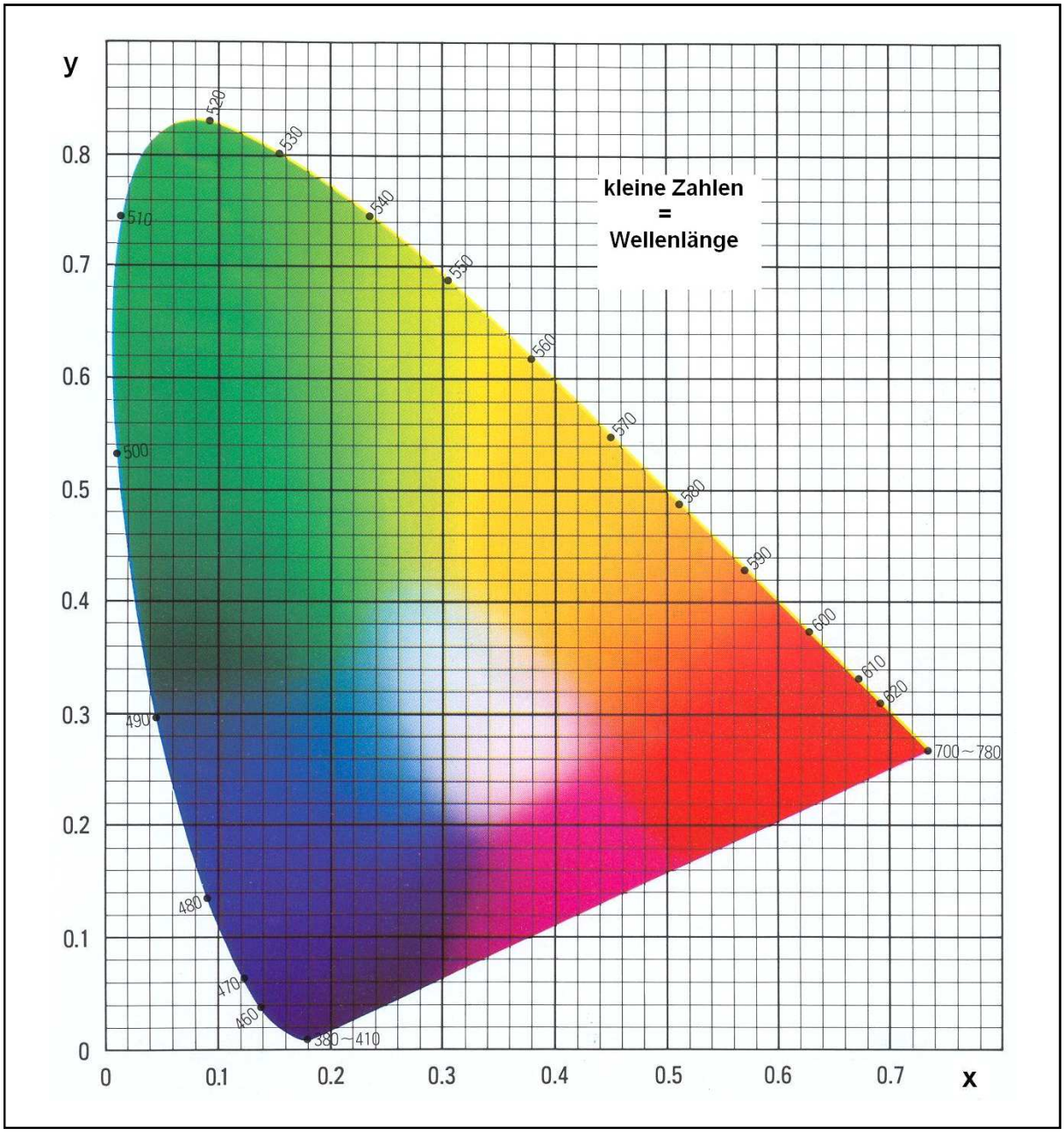


**Abb. 4:** Normfarbtafel für den 2° Normalbeobachter CIE 1931 nach KONICA-MINOLTA (2004)

Im mittleren Bereich der Normfarbtafel liegt der Unbuntpunkt C (x = 0,333; y = 0,333). Wird im Unbuntpunkt die Senkrechte errichtet, so liegen auf dieser die unbunten Farben Schwarz, Weiß und alle Grauabstufungen. Sie unterscheiden sich in ihrer Helligkeit. Auf denen vom Unbuntpunkt nach außen ziehenden Strahlen liegen jeweils die Farben gleichen Bunttons in steigender Sättigung. Ganz außen in der Normfarbtafel liegen die Spektralfarben, als Farben mit maximaler Sättigung. Ihre Normfarbwertanteile bilden einen nicht geschlossenen, gekrümmt verlaufenden Kurvenzug, der als Spektralfarbenzug bezeichnet wird (LOOS, 1989; DIN, 1993).

Der Nachteil des XYZ-Systems ist, dass die Abstände zwischen den verschiedenen Farborten in der Farbtafel des Normvalenzsystems nicht den Unterschieden in der menschlichen Farbempfindung entsprechen (BERGER-SCHRUNN, 1994). Das menschliche Auge ist zum Beispiel in der Lage, im blauen Bereich wesentlich kleinere Farbunterschiede zu erkennen als im grünen Bereich. Daher hat die CIE 1976 ein Farbraumsystem mit empfindungsgemäßen Farbabständen, das L*a*b*-System, eingeführt (LOOS, 1989). Im CIE L*a*b*-System werden die Normfarbwerte X, Y, Z verzerrt, so dass ein Farbraum entsteht, in dem gleiche Abstände zwischen zwei Farben auch dem visuellen Farbunterschied entsprechen (BERGER-SCHRUNN, 1994). Die Farbwerte des L*a*b*-Farbraumes werden folgendermaßen berechnet:

$$L^* = 116 \times Y^* - 16$$

$$a^* = 500 \times (X^* - Y^*)$$

$$b^* = 200 \times (Y^* - X^*)$$

Die X*, Y*, Z*-Werte können unter Berücksichtigung des jeweiligen Normalbeobachters aus den Normfarbwerten X, Y, Z errechnet werden und hängen von der Lichtart sowie der Messgeometrie (s. 2.2.3 und 2.2.4) ab (KLETTNER und STIEBING, 1980).

Für das L*a*b*-System wird ein räumliches, rechtwinkliges Koordinatensystem (Abb. 5) verwendet, wobei a* und b* eine Ebene bilden und L* senkrecht darauf steht (LOOS, 1989). L* ist die Helligkeitsachse. Die Rot-Grün-Achse a* und die Gelb-Blau-Achse b* charakterisieren die Farbtöne.

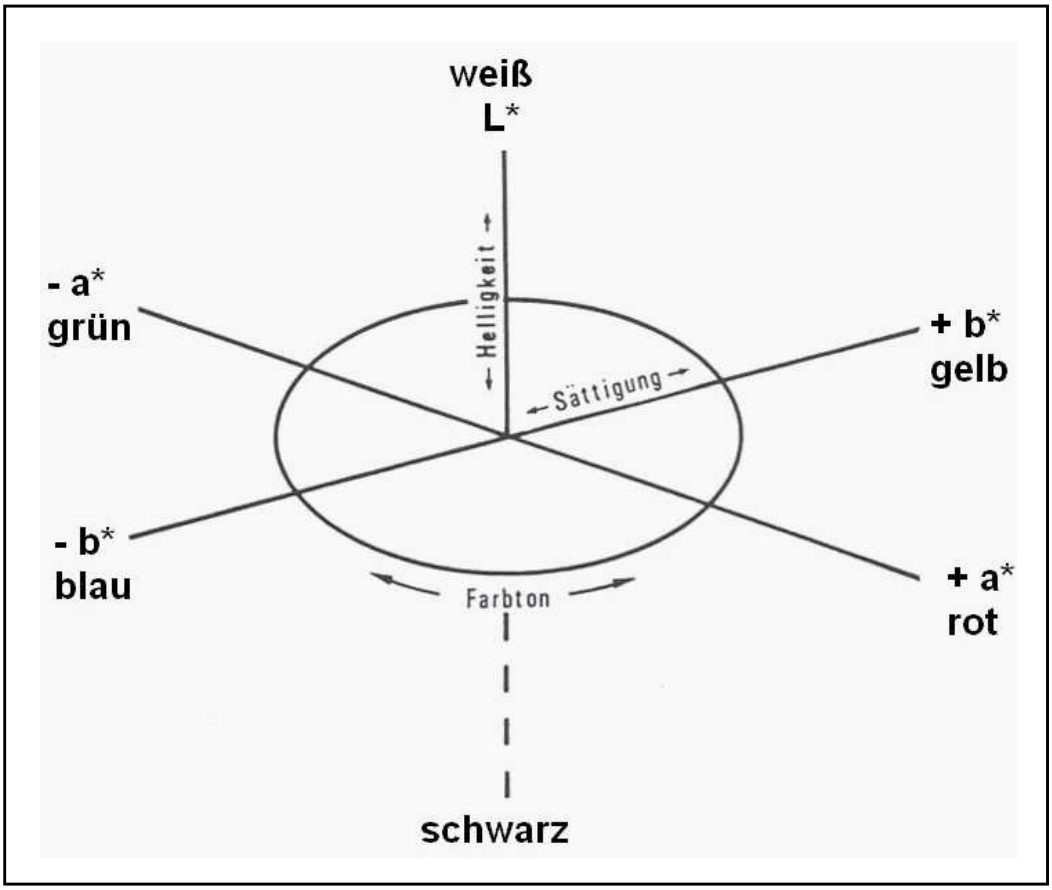


**Abb. 5:** Räumliche Darstellung des L*a*b*-Farbraumes nach KLETTNER und STIEBING (1980)

Im Nullpunkt der Ebene liegen Grautöne vor. Die Farbe weiß hat einen L*-Wert von 100 und die Farbe schwarz von 0. Unbunte Farben haben stets einen a*- und b*-Wert von 0. Positive a*-Werte stehen für rot und negative für grün. Positive b*-Werte kennzeichnen gelb und negative blau. Je größer die absolute Farbmaßzahl, desto höher ist die Sättigung der jeweiligen Farbe (KLETTNER und STIEBING, 1980; RÖDEL, 1991b). Eine Farbdifferenz von 1,0 im CIE L*a*b*-System kann visuell wahrgenommen werden (RÖDEL, 1991b; BERGER-SCHRUNN, 1994).

### 2.2.3 Normlichtarten

Die Beleuchtung besitzt einen wichtigen Einfluss auf die Wahrnehmung von Körperfarben. Nach FREIER (1992) wird die Farbe von Gegenständen durch die Wellenlängen des beleuchtenden Lichtes sowie durch das Absorptionsverhalten der Gegenstände, d. h. ihre Molekularstruktur, geprägt. Damit Farbmessungen vergleichbar und vor allem wiederholbar sind, muss die Farbmessung von Körperfarben bei Beleuchtung mit einer eindeutig definierten Lichtart, deren spektrale Verteilung bekannt ist, erfolgen (KLETTNER und STIEBING, 1980). Das Tageslicht scheidet aus, da es zu großen Schwankungen unterworfen ist. Durch die CIE sind Lichtarten mit definierter spektraler Verteilung, so genannte Normlichtarten, genormt worden. Die Normlichtart A (Abendlicht) wird im sichtbaren Spektralbereich durch die Strahlungsfunktion einer gasgefüllten Wolfram-Glühlampe der Temperatur ≈ 2856 K angenähert. Die Lichtart B für direktes Sonnenlicht mit einer Temperatur von 4800 K wird in Europa kaum verwendet. Die Normlichtart C entspricht dem mittleren Tageslicht mit einer Farbtemperatur ≈ 6750 K. Als Normlichtart $D_{65}$ (Daylight) ist eine dem mittleren natürlichen Tageslicht inklusive dem UV-Anteil entsprechende Lichtart mit einer ungefähren Temperatur von 6500 K definiert (CIE, 1971; DIN, 1993). Für die meisten Farbmessungen wird heute die Verwendung der Normlichtart $D_{65}$ empfohlen (BERGER-SCHRUNN, 1994). Weitere definierte Lichtarten sind: $D_{50}$, $D_{55}$, $D_{75}$, F, G, P und Xe. Sie sollten für die Farbmessung jedoch nicht angewendet werden (DIN, 1993).

### 2.2.4 Messgeometrie

Die Ergebnisse der Farbmessung, die Farbmaßzahlen, hängen von der Messgeometrie ab. Unter Messgeometrie versteht man die Winkel, unter denen eine Probe beleuchtet bzw. beobachtet wird (KLETTNER und STIEBING, 1980). Es gibt drei genormte Messgeometrien (Abb. 6). Bei 45°/0° erfolgt die Beleuchtung der Probe im 45° Winkel und der Beobachtungswinkel beträgt 0°, senkrechte Aufsicht. Im Falle von 0°/d wird der Körper senkrecht (0°) beleuchtet und das über eine Photometerkugel (Ulbricht' Kugel) diffus reflektierte Licht an einer Stelle gemessen. Bei Verwendung von d/8° bzw. d/0° findet die Beleuchtung diffus über eine Photometerkugel statt und unter 8° bzw. unter 0° wird das von der Probe zurückgeworfene Licht gemessen (CIE, 1971; DIN, 1993).

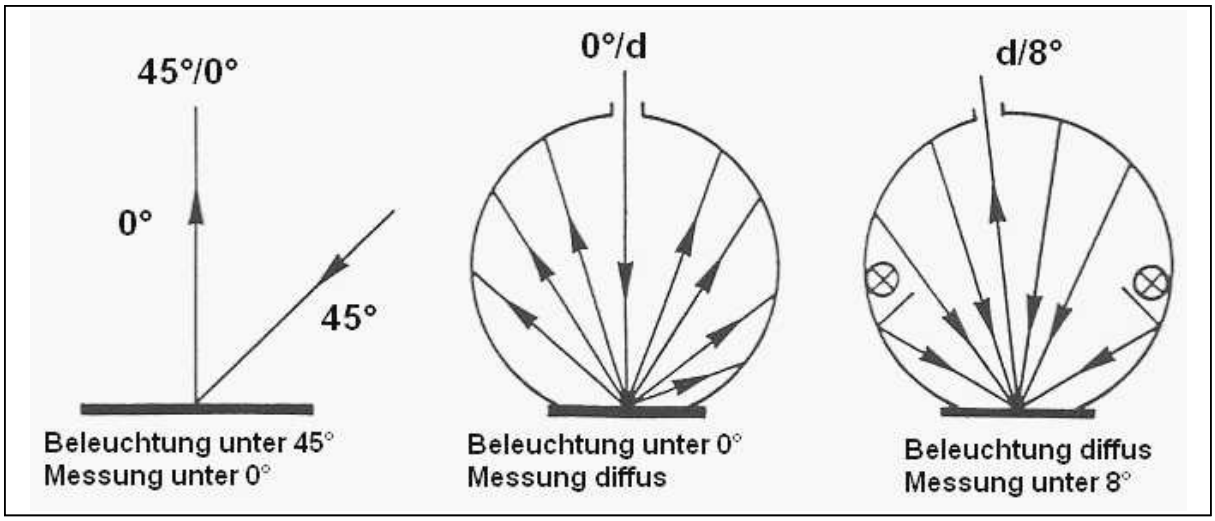


**Abb. 6:** Messgeometrien für die Farbmessung nach KLETTNER und STIEBING (1980)

Weiterhin ist der verwendete Normalbeobachter von Bedeutung für die Farbmessung. 1931 führte die CIE den so genannten 2° farbmetrischen Normalbeobachter (Abb. 3) ein, der die spektrale Empfindlichkeit der drei Reizzentren des Auges festlegt (LOOS, 1989). Das Arbeiten mit einem 2° großen Gesichtsfeld wurde als Vorraussetzung für das rein foveale Farbsehen angesehen. Das Farbsehen sollte ausschließlich durch die Zapfen in der Fovea unter Ausschluss der Stäbchen realisiert werden (RICHTER, 1981). Als zweites Normvalenzsystem beschloss die CIE 1964 den Großfeld- oder 10° Normalbeobachter (CIE, 1971). Das größere Gesichtsfeld von 10° wurde eingeführt, da in der praktischen Farbmessung häufig über 2° als Gesichtsfeld für die Abmusterung von größeren Farbproben verwendet wurden. Beim 10° Normalbeobachter trifft Licht bei der Betrachtung größerer Proben auch außerhalb der Fovea auf die Netzhaut, d. h. neben den Zapfen sind hier in geringem Maße auch Stäbchen am Farbsehen beteiligt (BERGER-SCHRUNN, 1994). Die 10° Normalspektralwerte weichen von den 2° Werten ab, daher ist keine Umrechnung zwischen 2° und 10° Normvalenzsystem möglich (CIE, 1971; RICHTER, 1981).

## 2.3 Die Fleischfarbe

### 2.3.1 Bedeutung der Fleischfarbe

Der Verbraucher beurteilt die Fleischfarbe nur subjektiv mit dem Auge. Anhand seiner Erfahrungswerte sucht der Konsument nach Fleisch mit der für ihn optimalen Farbe (GRÜNEWALD, 1979; BARBUT, 2001). Der Verbraucher verknüpft mit einer ansprechenden Fleischfarbe eine gute Fleischqualität, d. h. ein hohes Maß an Frische, Schmackhaftigkeit und Zartheit (HAMM, 1975; POTTHAST, 1987). Zwischen der Fleischfarbe und anderen Qualitätsmerkmalen besteht aber nicht zwangsläufig eine Beziehung (POTTHAST, 1987).

Die Fleischfarbe spielt für die Kaufentscheidung vor allem bei vorverpacktem Fleisch in der Selbstbedienung eine wichtige Rolle, da der Konsument das Fleischstück selbst beurteilen muss (JEREMIAH et al., 1972; HOOD und RIORDAN, 1973). Die optimale Fleischfarbe ist ein Kriterium, das personenabhängig ist und sich nach individuellen Erfahrungen und Vorlieben richtet. Allgemein wird als optimale Fleischfarbe für Rindfleisch Kirschrot mit mittlerer Helligkeit angesehen. Schweinefleisch entspricht der Verbrauchererwartung, wenn es hell, aber nicht blass, ist und einen rosa-pinkfarbenen Schimmer aufweist (EAGERMAN et al., 1977).

Zur Klassifizierung von Fleisch wird die Fleischfarbe vor allem bei Kalbfleisch herangezogen. Im Bereich der Kalbfleischproduktion richtet sich sogar die Bezahlung der Produzenten nach der Fleischfarbe (EIKELENBOOM et al., 1988; DENOYELLE und BERNY, 1999; HULSEGGE et al., 2001). Der Verbrauchererwartung nach sollte Kalbfleisch möglichst hell sein, wobei hier der Zusammenhang zwischen hellem Fleisch und hoher Güte nicht gegeben ist (HEITING, 1989). Im Rahmen der Fleischuntersuchung wird die Fleischfarbe zudem zur Erkennung von nicht verzehrsfähigem Fleisch herangezogen. Mängel in der Fleischreifung, die zu Fehlfarben führen, sind PSE-Eigenschaften (pale, soft, exsudative), welche sich in extrem heller und blasser Farbe der Muskulatur äußern und vor allem beim Schwein auftreten sowie DFD-Eigenschaften (dry, firm, dark), die eine sehr dunkle Farbe der Muskulatur bedingen und gehäuft beim Rind vorkommen (HAMM, 1975; FELDHUSEN et al., 1987; POTTHAST, 1987; OSTER und FEWSON, 1990).

### 2.3.2 Zustandekommen der Fleischfarbe

Die Fleischfarbe wird im Wesentlichen von der Konzentration und vom Zustand des Myoglobins in der Muskulatur bestimmt (STEINHAUF et al., 1965; HAMM, 1975; GIDDINGS, 1977; POTTHAST, 1987; FELDHUSEN und REINHARD, 1994; WENDT et al., 2000). Des Weiteren spielt die Struktur der Muskeloberfläche eine wichtige Rolle bei der Remission von Licht und damit bei der Farbentstehung (STEINHAUF et al., 1964; STEINHAUF et al., 1965; HAMM, 1975; WENDT et al., 2000).

#### Biochemische Grundlagen

Myoglobin ist wie auch Hämoglobin ein Chromoproteid. Der Muskelfarbstoff Myoglobin spielt im Fleisch die Hauptrolle bei der Farbgebung. Hämoglobin, der Blutfarbstoff, ist nur in geringem Maße (max. 5%) im Fleisch enthalten, in Abhängigkeit von der Ausblutung (HAMM, 1975; HOFMANN, 1981; SEIDEMAN et al., 1984; POTTHAST, 1987). Myoglobin besteht aus einem Proteinanteil, dem Globin, und einer prosthetischen Gruppe, dem Häm. Das Häm als farbgebende Komponente besitzt als Grundgerüst das Protoporphyrin, vier miteinander verknüpfte Pyrrolkerne (Abb. 7). In der Mitte des Protoporphyrin-Ringes befindet sich ein elektropositiv geladenes Eisen-Ion. Eisen besitzt die Koordinationszahl 6. Das Eisen-Ion geht Bindungen mit den vier Stickstoffatomen der Pyrrolkerne und eine Bindung mit einer Histidinseitenkette des Globins ein. Die sechste, freie Bindungsstelle kann durch Sauerstoff ($O_2$), Wasser ($H_2O$), Kohlenmonoxid (CO) oder Stickoxid (NO) besetzt werden (HAMM, 1975; GIDDINGS, 1977; POTTHAST, 1987).

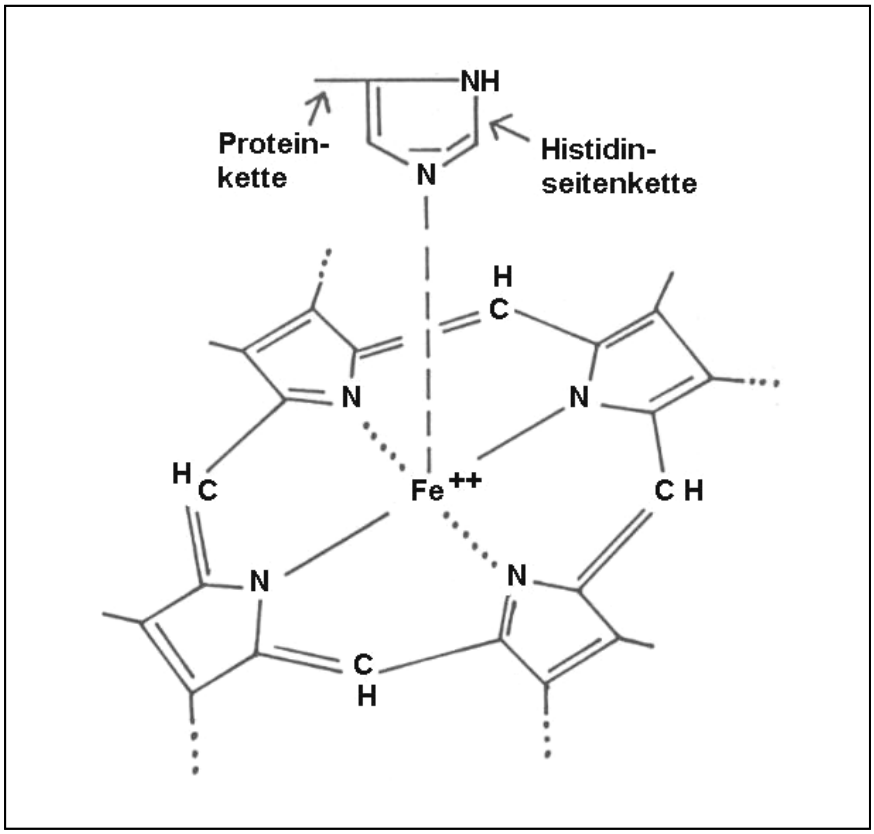


**Abb. 7:** Struktur des Häm (reduziertes Myoglobin) nach POTTHAST (1987)

Myoglobin ist intra vitam der Sauerstoffspeicher der Muskulatur. Der Sauerstoff geht an der Muskelzellmembran, aufgrund der höheren Affinität des Myoglobins zum Sauerstoff, vom Hämoglobin auf das Myoglobin über. Bei Bedarf im Muskel wird die reversible Bindung zwischen Myoglobin und Sauerstoff gelöst und der Sauerstoff an die Mitochondrien abgegeben (HAMM, 1975; POTTHAST, 1987).

Der Redoxzustand des Myoglobins (Abb. 9) ist von entscheidender Bedeutung für die Fleischfarbe (STRANGE et al., 1974; HAMM, 1975; SEIDEMAN et al., 1984; POTTHAST, 1987; RENERRE, 1990). Unmittelbar nach der Schlachtung liegt das Myoglobin in reduzierter Form mit einem zweifach positiv geladenen Eisen-Ion vor (Abb. 7). Reduziertes Myoglobin (Mb) erscheint purpurrot. Durch Kontakt mit dem Luftsauerstoff erfolgt eine schnelle Oxygenierung des Myoglobins der Fleischoberfläche zum helleren, kirschroten Oxymyoglobin ($MbO_2$) (Abb. 8). Aufgrund von oxidierenden Einflüssen während der Lagerung des Fleisches kommt es zur Oxidation des zweiwertigen Eisens zum dreiwertigen Eisen, welches keinen Sauerstoff mehr anlagern kann. Durch die Oxidation entsteht braunes bis graues

Metmyoglobin (MetMb) (Abb. 8) (HAMM, 1975; GIDDINGS, 1977; POTTHAST, 1987; RENERRE, 1990).

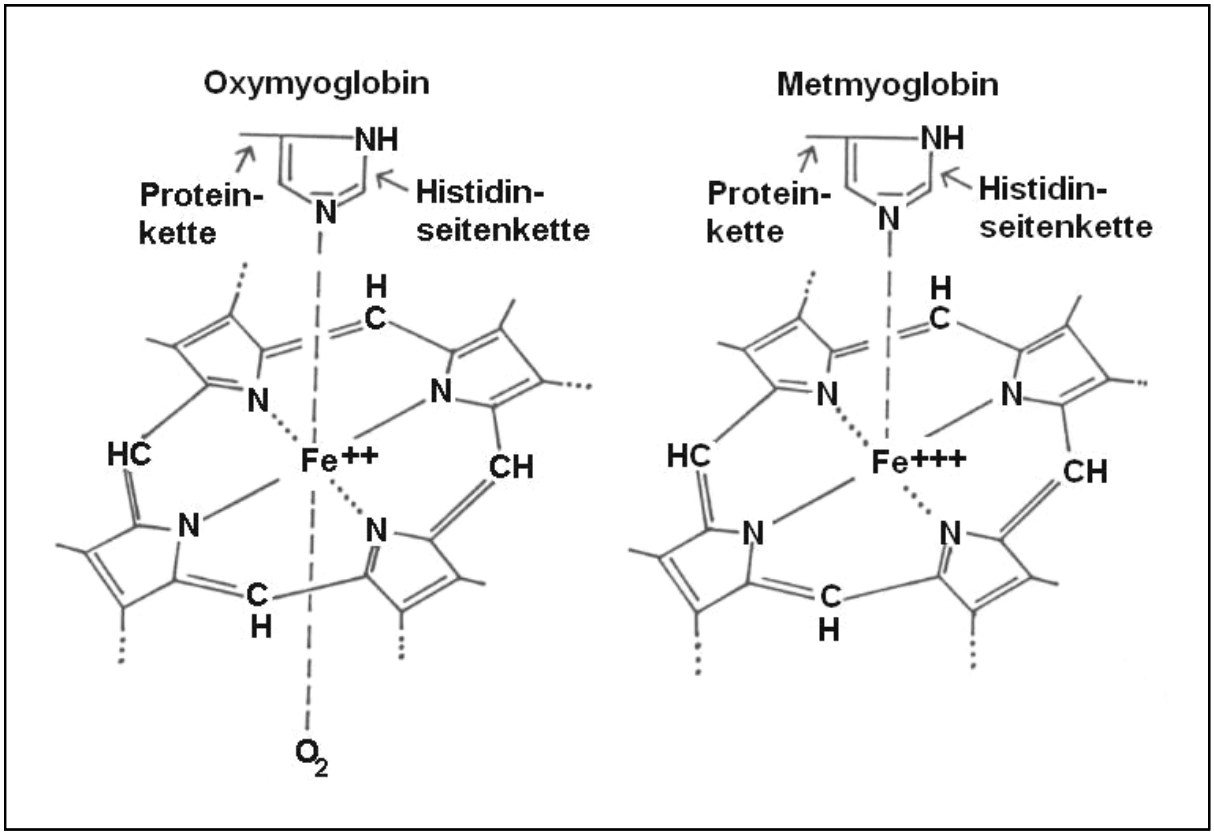


**Abb. 8:** Struktur des Oxymyoglobins und des Metmyoglobins nach POTTHAST (1987)

Als Stabilität der Fleischfarbe wird die Fähigkeit des Fleisches, eine attraktive, rote Farbe über einen gewissen Zeitraum zu bewahren, bezeichnet. Die Fleischfarbe ist stabil bis der Metmyoglobinanteil im Fleisch prozentual überwiegt und unerwünschte Farbabweichungen auftreten. Zu diesen Farbveränderungen zählen neben der typischen grau-braunen Verfärbung durch Metmyoglobin auch Grünverfärbungen. Wenn eine Oxidation des Myoglobins in der Anwesenheit von Sulfhydryl-Gruppen und Sauerstoff erfolgt, wird Sulfmyoglobin, ein grünes Pigment, gebildet. Sulfmyoglobin wird durch Anlagerung von Sauerstoff zum rotem Oxysulfmyoglobin oxygeniert. Als weiteres grünes Produkt entsteht bei Oxidation des Myoglobins in Anwesenheit von Wasserstoffperoxid oder Ascorbat das Cholemyoglobin. Sulfmyoglobin kann durch reduzierende Agenzien wieder in Myoglobin überführt werden, wohingegen die Bildung von Cholemyoglobin zu einer Oxidation des Porphyrin-

Ringes mit nachfolgendem Aufbrechen des Pigments führt (PRICE und SCHWEIGERT, 1971; LAWRIE, 1985). Ursachen für die Entstehung grüner Pigmente sind zum einen in veränderten Oxidations- und Reduktionspotentialen in der Fleischumgebung und zum anderen in bakteriellem Wachstum und Verderb zu suchen. Gekochtes Fleisch erscheint dunkelbraun, da die hohen Temperaturen zur Oxidation des Eisenions und zur Denaturierung des Globins führen.

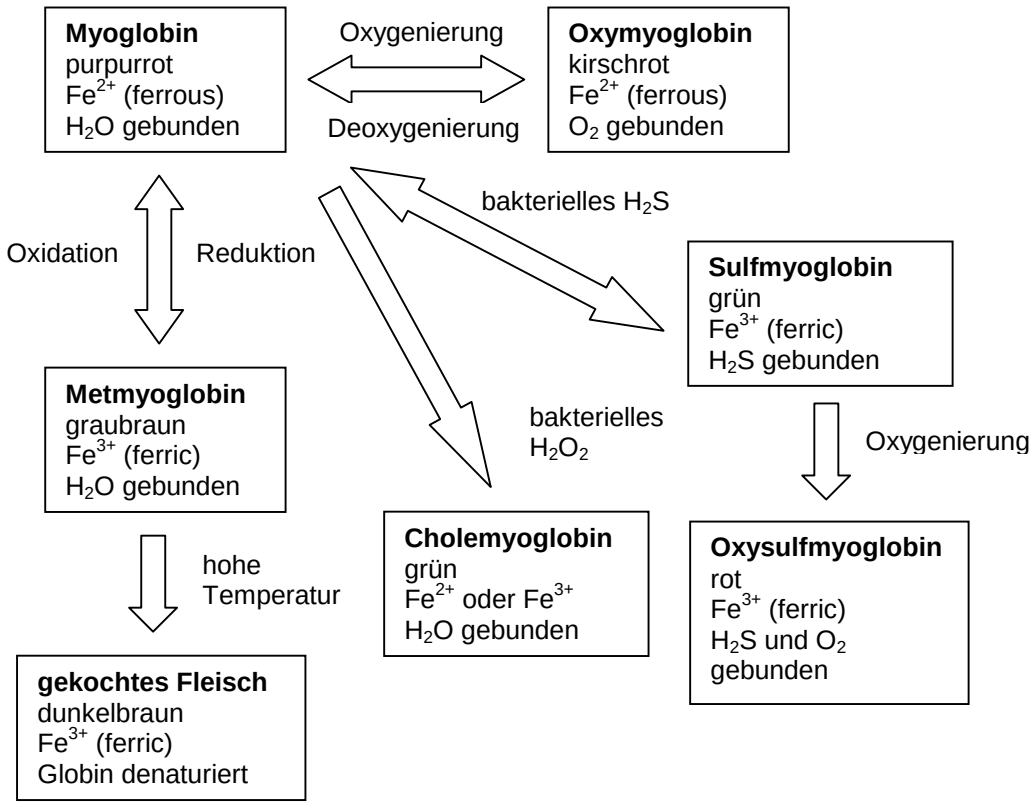


**Abb. 9:** Zustandsformen des Myoglobins nach CROSS (1986)

Die Farbe von frischem Fleisch wird nun einerseits von der Myoglobinkonzentration des Muskels bestimmt und andererseits wesentlich durch die prozentualen Anteile an reduziertem Myoglobin, Oxymyoglobin und Metmyoglobin beeinflusst. Myoglobin, Oxymyoglobin und Metmyoglobin unterscheiden sich in ihren Absorptionsspektren (Abb. 10). Sie reflektieren verschiedene Wellenlängenanteile des Lichts, wodurch der unterschiedliche visuelle Eindruck bei Überwiegen einer Redoxform des Myoglobins zustande kommt. Reduziertes Myoglobin erscheint purpurrot, Oxymyoglobin hellrot bis kirschrot und Metmyoglobin grau-braun.

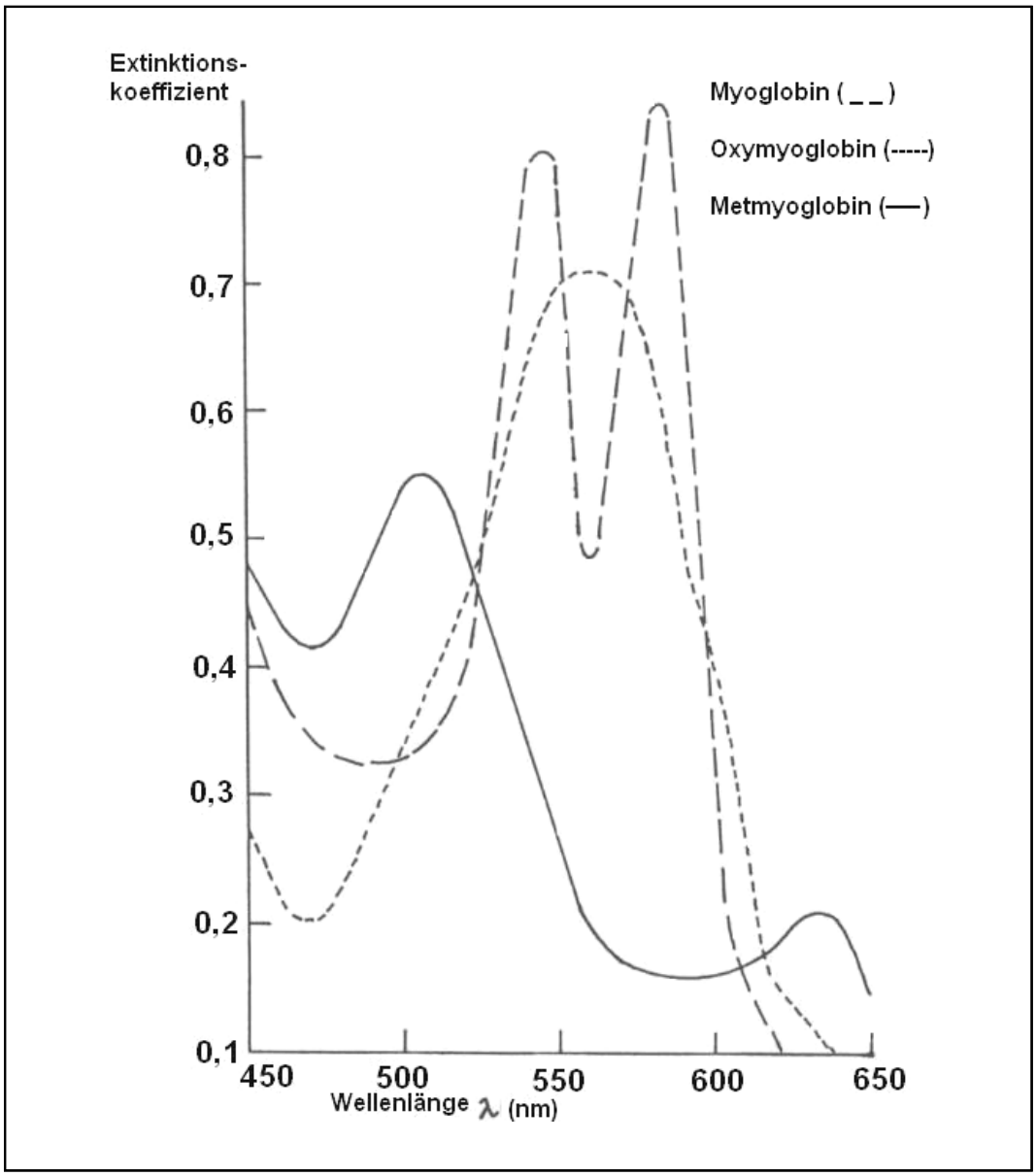


**Abb. 10:** Absorptionsspektren von Myoglobin, Metmyoglobin und Oxymyoglobin nach HAMM (1975)

Des Weiteren hat die Struktur des Fleisches Anteil an der Farbentstehung (STEINHAUF et al., 1964; STEINHAUF et al., 1965). Die myofibrilläre Struktur ist entscheidend für die Lichtstreuung. Unmittelbar nach der Schlachtung sind die Myofibrillen sehr dicht gepackt und das Myoglobin liegt in reduzierter Form vor, so dass die Muskulatur große Anteile des Lichtes absorbiert und dunkel erscheint (FELDHUSEN, 1994). Die Wirkung der Strukturkomponente auf die Fleischfarbe kommt vor allem bei Fleischqualitätsmängeln zum Tragen. Sehr niedrige pH-Werte bewirken durch die erniedrigte Wasserbindungsfähigkeit der Muskulatur stark entquollene Muskelfasern sowie einen hohen Anteil an ungebundenem Wasser im Gewebe, wodurch ein größerer Teil des Lichtes reflektiert wird. Das Fleisch wirkt heller und blasser. Im Gegensatz dazu führen erhöhte End-pH-Werte zu einer extremen Quellung der Muskelfasern aufgrund eines erhöhten Wasserbindungsvermögens. Die Oberfläche wirkt geschlossen und streut nur wenig Licht. Das Fleisch erscheint dunkler (HAMM, 1975; MUCK und SCHARNER, 1998).

### 2.3.3 Einflüsse auf die Fleischfarbe

Eine Vielzahl von intrinsischen Faktoren, wie Art des Muskels, Tierart, Alter, Fütterung, pH-Wert, und extrinsischen Faktoren, wie Behandlung der Tiere vor dem Schlachten (Stress), Kühlung und bakterielle Besiedlung des Fleisches, wirken sich auf die Fleischfarbe aus (POTTHAST, 1987; RENERRE, 1990).

#### 2.3.3.1 Einfluss der muskulären Eigenschaften

Der Myoglobingehalt im Muskel hängt von seiner physiologischen Beanspruchung ab, da Myoglobin der Sauerstoffspeicher der Muskulatur ist. Hellere Muskeln mit geringerem Myoglobingehalt sind *M. longissimus dorsi* und *M. psoas major*, im Vergleich zu der an Muskelfarbstoff reichen Herz- und Zwerchfellmuskulatur sowie der dunklen, stark beanspruchten Gliedmaßenmuskulatur (HAMM, 1975; HONIKEL, 1998).

Neben der Myoglobinkonzentration ist die Farbe abhängig von der Verteilung des Myoglobins im Muskel. Myoglobin konzentriert sich im Muskel in den so genannten „roten“ Fasern und kommt nur zu einem geringeren Prozentsatz in den „weißen“ Muskelfasern vor. Kräftig rot gefärbte Muskeln haben hohe Anteile an „roten“ Fasern und blasse Muskeln enthalten vor allem „weiße“ Fasern. Bei Muskeln mit geringen Myoglobingehalten können, aufgrund eines hohen Anteils an „weißen“ Muskelfasern, die höchsten Helligkeitswerte L* gemessen werden (MC KENNA et al., 2005). Einige Muskeln, wie der *M. semitendinosus* des Schweins, bestehen aus heller und dunkler gefärbten Abschnitten. Der *M. semitendinosus* weist in der helleren äußeren Portion sehr viel weniger „rote“ Muskelfasern auf, als in der dunkleren inneren Portion (LAWRIE, 1985).

Neben der einfachen Unterscheidung zwischen „roten“ und „weißen“ Muskelfasern sind verschiedene Klassifizierungssysteme für Muskelfasern anhand von histochemischen Untersuchungen erarbeitet worden (Tab. 1). Der Nachteil der verschiedenen Systeme liegt darin, dass sie zum Teil nicht miteinander kompatibel sind und einen Vergleich daher unmöglich machen (KLONT et al., 1998).

**Tab. 1:** Klassifizierungssysteme für Muskelfasertypen

| Muskelfasertypen | Methode der histochemischen Charakterisierung | Kompatibilität mit anderen Muskelfasertyp-Einteilungen | Literatur |
|---|---|---|---|
| • rote Fasern<br>• intermediäre Fasern<br>• weiße Fasern | Einteilung nach der aeroben oxidativen Kapazität - Succinat-dehydrogenase (SDH) | | GAUTHIER (1969) |
| • Typ I (langsam, oxidativ, viele Kapillaren)<br>• Typ IIA (mittlerer Durchmesser, mittlere Anzahl an Kapillaren)<br>• Typ IIB (glykolytisch, großer Durchmesser, wenig Kapillaren) | Einteilung auf Basis der pH-Empfindlichkeit der myofibrillären ATPase | | BROOKE und KAISER (1970) |
| • β R (ATPase säurestabil; oxidativ)<br>• α R (ATPase säurelabil; oxidativ)<br>• α W (ATPase säurelabil; glykolytisch) | Einteilung nach SDH und pH-Empfindlichkeit der myofibrillären ATPase | Kombination der beiden erstgenannten Klassifizierungen | ASHMORE und DOERR (1971) |

Fortsetzung **Tab. 1**

| Muskelfasertypen | Methode der histochemischen Charakterisierung | Kompatibilität mit anderen Muskelfasertyp-Einteilungen | Literatur |
|---|---|---|---|
| • slow-twitch oxidative (SO) Fasern<br>• fast-twitch oxidativ-glykolytische (FOG) Fasern<br>• fast-twitch glykolytische (FG) Fasern | Einteilung nach histochemischer Anfärbung der oxidativen Enzyme (NADH Tetrazolium Reduktase; ATPase) | Keine Kompatibilität mit anderen Einteilungs-systemen | PETTE und STARON (1990) |

Zwischen dem Anteil an roten Muskelfasertypen (α R und β R) und dem Rotwert a* des Fleisches konnte eine positive Korrelation aufgezeigt werden (OZAWA et al., 2000). Muskulatur, die konstante Haltearbeit verrichtet, enthält vor allem wenig ermüdbare Fasern vom Typ I, die viele Mitochondrien besitzen und p. m. einen hohen Sauerstoffbedarf aufweisen. Solche Muskeln, wie der *M. psoas major* des Rindes, zeichnen sich durch eine schlechte Farbhaltung aus, weil die Mitochondrien mit dem Myoglobin um den Sauerstoff konkurrieren. Es steht weniger Sauerstoff zur Bildung von Oxymyoglobin zur Verfügung. Das großteilig reduzierte Myoglobin wird verstärkt zu Metmyoglobin oxidiert. Im Gegensatz dazu besitzt der *M. longissimus dorsi* des Rindes einen hohen Anteil an schnell ermüdenden Fasern vom Typ IIB. Aufgrund der geringeren Mitochondrienkonzentration in Muskelfasern vom Typ IIB wird der verfügbare Sauerstoff vermehrt an das Myoglobin gebunden. Das Oxymyoglobin unterliegt nur in geringem Maße der Autoxidation, daher ist der *M. longissimus dorsi* farbstabiler (HOOD, 1980; KLONT et al., 1998).

Bei Schweinen zeigt der *M. longissimus dorsi* von Trägern des Halothan-Gens (nn) einen erhöhten Anteil an glykolytischen Muskelfasern der Typen IIA und IIB, eine geringere Kapillarisierung und größere Faserdurchmesser als bei Halothan-Gen-freien Tieren (NN). Die Fasern vom Typ IIB gewinnen ihre Energie vor allem über anaerobe Glykolyse. Die hohe glykolytische Aktivität im *M. longissimus dorsi* von

Trägertieren verstärkt den pH-Abfall nach dem Schlachten und die PSE-Neigung (ESSÉN-GUSTAVSSON et al., 1992; WENDT et al., 2000). Durch den verstärkten pH-Wert-Abfall erscheint Schweinefleisch von Trägern des Halothan-Gens heller und blasser, als solches von stressresistenten Tieren. Bei einem Vergleich der Fleischfarbe von stressunempfindlichen (NN) und heterozygot stressempfindlichen (Nn) Schweinen konnten in der objektiven Farbe keine signifikanten Unterschiede gefunden werden, aber Nn-Schweine zeigten eine Tendenz für blasseres Fleisch (SUTTON et al., 1997).

#### 2.3.3.2 Einfluss der Spezies

Die Fleischfarbe unterscheidet sich tierartspezifisch (SEIDEMAN et al., 1984). Ursache für die unterschiedliche Färbung ist die tierartabhängige Myoglobinkonzentration. Rindfleisch hat einen hohen Muskelfarbstoffgehalt, Lammfleisch nimmt eine Zwischenposition ein, und Schweinefleisch weist die niedrigste Myoglobinkonzentration auf (SEIDEMAN et al., 1984). Nach FELDHUSEN (1994) liegt der Myoglobingehalt von Schweinemuskulatur bei 0,5 bis 1 mg/g, dagegen enthält Rindermuskulatur um 5 mg Myoglobin pro g Muskel. Die höheren Gehalte bei Rind und Lamm werden der intensiveren Bewegung dieser Spezies zugeschrieben (POTTHAST, 1987). Die extrem dunkle Muskulatur des Wals beruht auf sehr hohen Myoglobinkonzentrationen, da der Wal während der Tauchphasen einen erhöhten Bedarf an Sauerstoffspeicherkapazität besitzt (GIDDINGS, 1977; POTTHAST, 1987).

Innerhalb einer Tierart haben weitere Faktoren, wie Geschlecht, Alter, Rasse, Fütterung, Haltung und Aufzuchtsbedingungen, einen nachweisbaren Einfluss auf die Ausprägung der Fleischfarbe.

#### 2.3.3.3 Einfluss des Geschlechts

Vor allem an Rindfleisch lassen sich die Auswirkungen des Geschlechts auf die Farbe des Fleisches nachvollziehen. Männliche Tiere haben dunkleres Fleisch als weibliche, aufgrund einer höheren Myoglobinkonzentration. Fleisch von Bullen ist dunkler gefärbt als Ochsenfleisch, d. h. die Kastration hat über Veränderungen im Hormonhaushalt und in der Aktivität der Rinder ebenfalls einen Einfluss auf die Fleischfarbe (SEIDEMAN et al., 1984). Das hellere Ochsenfleisch erfreut sich einer größeren Beliebtheit beim Konsumenten als dunkleres Bullenfleisch (SHACKELFORD et al., 1992). Rindfleisch von Färsen liegt von der Helligkeit her zwischen Ochsen- und Bullenfleisch. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Fleisch von Ochsen höhere a*- und b*-Werte aufweist als Fleisch von Färsen und Bullen. Ochsenfleisch hat eine intensivere Rotfärbung (WULF et al., 1997; PAGE et al., 2001).

Neuere Untersuchungen zeigen, dass geschlechtspezifische Farbunterschiede auch beim Schwein nachweisbar sind. HIEGEMANN (2002) fand hochsignifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Bezug auf den Rotwert a*. Weibliche Tiere zeigten im *M. semimembranosus* (a* = 7,5) und im *M. longissimus dorsi* (a* = 7,63) signifikant höhere Werte als männliche Tiere (SM a* = 7,08 und LD a* = 7,28). Bei Schweinen besitzen weibliche Tiere demnach einen höheren Rotanteil im Fleisch. Die Untersuchungen von LAUBE (2000) ergaben eine höchstsignifikante Korrelation des Geschlechts mit dem Helligkeitswert L* bei Schweinefleisch.

#### 2.3.3.4 Einfluss des Lebensalters

Mit zunehmendem Alter der Tiere steigt die Myoglobinkonzentration der Muskelfasern an und die Farbe des Fleisches intensiviert sich (SEIDEMAN et al., 1984). Junge Tiere zeichnen sich durch ein sehr weißes Fleisch aus, da sie mit der Milch nur wenig Eisen zur Myoglobinbildung aufnehmen. Durch Aufnahme von eisenreicherem Futter mit zunehmendem Alter sowie durch steigende Muskelaktivität wird vermehrt Myoglobin gebildet (POTTHAST, 1987). Im Zeitraum von der Geburt bis zu

einem Alter von 24 Monaten ist ein dreiphasiger Anstieg des Myoglobins nachgewiesen worden (RENERRE, 1990).

FRICKH und SÖLKNER (1997) fanden Unterschiede in den Farbwerten L*, a*, b* für verschiedene Schlachtaltersgruppen beim Rind. Das Fleisch der ältesten Tiere (425 Tage) wies die geringsten Helligkeitswerte (L* = 42,7) auf. Mit steigendem Alter nahm der Rotwert a* zu. Der Anstieg des Gelbwertes b* mit zunehmendem Alter war dagegen nicht signifikant. Die Helligkeitsabnahme und der Anstieg des Rotwertes mit zunehmendem Alter sind auf steigende Myoglobinkonzentrationen im Muskel zurückzuführen. Zum Zeitpunkt der Geschlechtsreife erreicht der Myoglobingehalt sein Maximum und damit ist die Farbentwicklung des Fleisches zunächst abgeschlossen (HONIKEL, 1998).

#### 2.3.3.5 Einfluss der Rasse

Rassebedingte Unterschiede in der Fleischfarbe sind in verschiedenen Publikationen angeführt worden (SEIDEMAN et al., 1984; CHIZZOLINI et al., 1993; REICHARDT et al., 1997; LAUBE, 2000; ESTÉVEZ et al., 2003). SEIDEMAN et al. (1984) berichten von Farbdifferenzen im Fleisch verschiedener Züchtungsrichtungen bei Pferden. Der *M. longissimus dorsi* von Rennpferden (Thoroughbred) zeichnet sich gegenüber Zugpferden (Draught Horse) durch höhere Myoglobinkonzentrationen und dunklere Farbe aus. Die vermehrte Aktivität der Rückenpartie im Rennsport bewirkte im Laufe der Selektion bei Rennpferden höhere Myoglobingehalte im *M. longissimus dorsi*.

Für andere Tierarten können Farbunterschiede zwischen bewegungsfreudigeren, oft ursprünglicheren Rassen und den bewegungsarm gehaltenen Hochleistungsrassen aufgezeigt werden. ESTÉVEZ et al. (2003) fanden Farbunterschiede zwischen extensiv gehaltenen Iberischen Schweinen und konventionell gemästeten Schweinen sowohl in der Frischfleischfarbe als auch in der Farbhaltung während der Lagerung. Iberische Schweine zeichneten sich durch einen höheren Rotwert a* aus. Konventionelles Schweinefleisch zeigte hohe L*-Werte, es ist weniger rot und blasser. Bei Schweinefleisch hatte in den Untersuchungen von LAUBE (2000) vor allem die Genetik der Vaterlinie einen hoch signifikanten Einfluss auf die Fleischhelligkeit L*. Mastschweine mit der Vaterlinie Duroc x Hampshire wiesen niedrigere L*-Werte und damit weniger blasses Fleisch auf als solche mit Pietrain x Hampshire-

Vaterlinie. Dieser Effekt der Genetik auf die Fleischfarbe von Schweinen wurde von CHIZZOLINI et al. (1993) ebenfalls beschrieben.

Bei Rindfleisch fanden REICHARDT et al. (1997) Unterschiede in der Fleischfarbe von Bullen, Ochsen und Färsen verschiedener Rassen und deren Kreuzungsprodukten. Besonders dunkles Rindfleisch zeigte sich bei den für Extensivhaltung prädestinierten Rassen Galloway (L* = 36,2) und Pinzgauer (L* = 37,1), wobei diese trotzdem den unteren Grenzwert für Qualitätsrindfleisch von L* = 34 überschreiten (CMA, 1991a). Helles Rindfleisch wiesen nur Salers-Bullen auf (L* > 40). Starke Rasseunterschiede sind beim Rind auch für den Rotwert a* (von a* = 15,6 für Fränkisches Gelbvieh bis a* = 24,6 für Pinzgauer) und den Gelbwert b* (von b* = 8,5 für Fränkisches Gelbvieh bis b* = 13,0 für Salers) bei Farbmessungen 48 Stunden post mortem gefunden worden (REICHARDT et al., 1997). Rasseabhängige Farbunterschiede bei Rindfleisch belegen auch Untersuchungen von FRICKH und SÖLKNER (1997). Signifikante Differenzen konnten vor allem innerhalb einer Schlachtaltersgruppe (425 Tage) zwischen den Rassen Fleckvieh und Schwarzbunt sowie Schwarzbunt und Fleckvieh-Limousin-Kreuzung in Bezug auf den Rotton a* festgestellt werden (a* für Schwarzbunt = 5,4; a* für Fleckvieh = 4,2 und für Fleckvieh x Limousin = 4,4). Bei Rindern wirkt sich die Selektion auf hohe Tageszunahmen, wie bereits bei Schweinen angeführt, negativ auf die Fleischfarbe aus. Hochleistungsmastrinder mit hohen täglichen Zunahmen erbringen helleres, weniger intensiv gefärbtes Fleisch (AASS, 1996). Trotz der oben beschriebenen Untersuchungen gibt es gerade bei Rindfleisch in Bezug auf den Einfluss der Rasse auf die Fleischfarbe konträre Meinungen: ABRIL et al. (2001) konnten in ihren Versuchen keine Farbbeinflussung durch die Rinderrasse finden. KLONT et al. (1999) gelang es ebenfalls nicht, bei Kalbfleisch verschiedener Rassen Farbdifferenzen nachzuweisen.

#### 2.3.3.6 Einfluss der Haltung

Die Auswirkungen von Aufzuchts- und Haltungsbedingungen auf die Farbvariation von Schweinefleisch untersuchten GENTRY et al. (2002). Lenden im Freien geborener Schweine zeigten höhere a*-Werte als Lenden von im Stall geborenen Schweinen. Die Situation für die b*-Werte stellte sich ähnlich dar. Die Helligkeitswerte L* der Lenden von extensiv gehaltenen Schweinen lagen niedriger als die von

im Stall gehaltenen Schweinen. Zur Mast im Freien gehaltene Tiere zeigten also dunkleres, kräftiger gefärbtes Fleisch. Die Umgebung, in der Schweine geboren werden, spielt eine wichtige Rolle im Wachstum und in der Entwicklung der Tiere. In der dreiwöchigen Periode von der Geburt bis zum Absetzen werden die Grundsteine für die Muskelentwicklung gelegt. Schweine, die in Außenhaltung geboren und aufgezogen werden, erbringen dunkleres, intensiver rotes Fleisch als im Stall geborene und aufgezogene (GENTRY et al., 2002; GENTRY et al., 2004). Diese Ergebnisse werden bestätigt durch die Untersuchungen von ESTÉVEZ et al. (2003), die bei im Freien aufgezogenen und gemästeten Iberischen Schweinen ebenfalls höhere Rotwerte a* und niedrigere Helligkeitswerte L* als bei konventionell im Stall gemästeten Schweinen feststellten.

#### 2.3.3.7 Einfluss der Fütterung

Ein Einfluss der Fütterung auf die Fleischfarbe wird deutlich bei Kalbfleisch. Besonders der Eisengehalt in der Nahrung von Kälbern steht in enger Beziehung zur Bildung von Myoglobin, aber auch Hämoglobin (EIKELENBOOM et al., 1988; MILTENBURG et al., 1992). Milch und Milchaustauschertränken sind relativ eisenarm und wenn Kälbern nicht zusätzlich die Möglichkeit der Aufnahme von eisenreichem Raufutter oder Pellets geboten wird, erhält man ein sehr helles, weißes Kalbfleisch (HEITING, 1989; KLONT et al., 1999). Bei höherer Eisenaufnahme hat das Kalbfleisch eine eher rosarote Farbe, welche jedoch vom Verbraucher in vielen Ländern unerwünscht ist (HEITING, 1989). MILTENBURG et al. (1992) berichteten, dass Helligkeit (L*) und Rotwert (a*) mit dem Eisen- und Myoglobingehalt des Kalbfleisches hoch korreliert sind.

Bei Schweinefleisch wird die dunklere und intensiver rote Fleischfarbe von extensiv gehaltenen Schweinen, die Gras und Erde aufnehmen können, zum Teil der höheren Eisenaufnahme zugeschrieben (GENTRY et al., 2002). Die bessere Farbstabilität im Schweinefleisch von auf der Weide gemästeten Schweinen wird mit der höheren Aufnahme an natürlichen Antioxidantien begründet (ESTÉVEZ et al., 2003). Antioxidantien fungieren als Elektronendonatoren und verhindern die Oxidation von Myoglobin zu Metmyoglobin. Dadurch bleibt die erwünschte Fleischfarbe länger erhalten. ROSENVOLD und ANDERSEN (2003) konnten dagegen keinen Effekt einer künstlichen Vitamin E-Supplementierung auf die Farbe und Farbstabilität von

Schweinefleisch nachweisen. In der Studie von FAUSTMAN und WANG (2000) wirkte die Zufütterung von Vitamin E deutlich positiv auf die Farbe und Farbhaltung von Rindfleisch und auch weniger ausgeprägt auf die von Lammfleisch.

#### 2.3.3.8 Einfluss des pH-Wertes

Sowohl der Abfall des pH-Wertes nach dem Schlachten als auch der End-pH-Wert des Fleisches haben immense Auswirkungen auf die Fleischfarbe (RENERRE, 1990). Der pH-Wert des Muskels liegt intra vitam um 7,0. Dies entspricht auch dem pH-Wert in der Muskulatur unmittelbar nach dem Schlachten (SCHWÄGELE, 1999; FISCHER, 2000). Mit der Tötung wird die Durchblutung und damit die Sauerstoffzufuhr zum Muskel unterbrochen (FISCHER, 1981). Die Muskulatur stellt nach Verbrauch der ATP-Reserven zur Deckung des Energiebedarfs auf anaerobe Verstoffwechselung des Glykogens um. Durch die anaerobe Glykolyse kommt es zur Anreicherung von Milchsäure im Muskel. Die Milchsäure dissoziiert zu Wasserstoffionen ($H^+$) und Lactat (FISCHER, 1981; SCHWÄGELE, 1999). Da der pH-Wert der negative dekadische Logarithmus der Konzentration der Wasserstoffionen ist (FALBE und REGITZ, 1991), führt die Anhäufung von Wasserstoffionen zu einem pH-Abfall. Im Normalfall erfolgt ein langsames Absinken des pH-Wertes innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Schlachtung auf einen End-pH-Wert (ultimate pH) von unter 5,8. Bei Schweinefleisch ist der End-pH ungefähr 15 Stunden post mortem erreicht und liegt bei 5,4 bis 5,6 (FISCHER, 2000). Im Gegensatz dazu ist die postmortale Glykolyse bei Rindfleisch erst nach 24 bis 36 Stunden abgeschlossen, so dass der End-pH erst zu einem sehr späten Zeitpunkt bestimmt werden kann (FISCHER, 1988).

Nach dem Schlachten sind die Aktin- und Myosinfilamente im Muskel noch frei gegeneinander verschieblich. Durch das Absinken der ATP-Konzentration unter 1 µmol pro g Muskulatur und Abfall des pH-Wertes unter 5,9 kommt es zur irreversiblen Verknüpfung der Aktin- und Myosinfilamente. Die Muskulatur verliert ihre Flexibilität, weil ATP als „Weichmacher“, zur Lösung der Aktin- und Myosinfilamente voneinander, fehlt (KLINKE und SILBERNAGL, 1996). Die Totenstarre (Rigor mortis) tritt ein. Die Senkung des pH-Wertes in den ersten 24 Stunden nach der Schlachtung führt weiterhin zu einer Abnahme des Wasserbindungsvermögens (FISCHER, 1981) und zu farbbeeinflussenden Strukturveränderungen im Fleisch.

Nach der Schlachtung beginnt die Umwandlung und Reifung der Muskulatur zum Lebensmittel Muskelfleisch (SCHWÄGELE, 1999). Dieser Prozess ist entscheidend für dessen Aroma, Saftigkeit, Zartheit, technologische Verwendbarkeit und Haltbarkeit. Während dieses ersten Reifungsschrittes kann es zu deutlichen Fleischqualitätsabweichungen kommen. Bei Schweinen tritt gehäuft PSE-Fleisch auf (pale, soft, exudative = blass, weich, wässrig). Aufgrund von Stresssituationen, denen die empfindlichen Tiere vor der Schlachtung ausgesetzt sind, geraten sie in extreme Erregungszustände (WENDT et al., 2000). Die Muskulatur, vor allem die gut bemuskelten Partien, werden nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt und stellen ihre Energiegewinnung bereits ante mortem auf anaerobe Glykolyse um. Nach dem Schlachten fällt der pH-Wert des Fleisches sehr schnell ab, da eine überstürzte Glykolyse abläuft (HAMM, 1975). Innerhalb von 45 Minuten werden End-pH-Werte von unter 5,8 erreicht (HONIKEL und KIM, 1985; RENERRE, 1990). Zeitgleich findet man im Tierkörper hohe Temperaturen, aufgrund von starker Erregung sowie von Kontraktionen und erhöhtem Stoffwechsel der Muskulatur. Die niedrigen pH-Werte und hohen Temperaturen bewirken eine Denaturierung von Muskelproteinen (FELDHUSEN, 1994; SCHWÄGELE, 1999; WENDT et al., 2000). Denaturierte sarkoplasmatische Eiweiße präzipitieren auf den Myofibrillen. Dies führt zu einer verstärkten Streuung und Reflexion des Lichtes, so dass die Helligkeit L* des Fleisches ansteigt. Die denaturierten Proteine im Sarkoplasma der Muskelzellen sind zudem nicht mehr in der Lage, das Gewebswasser zu binden. Die Wasserbindungsfähigkeit des Fleisches ist folglich stark erniedrigt. PSE-Fleisch weist aufgrund des Verlustes an Gewebswasser stark entquollene Muskelfasern auf, die eine verstärkte Lichtstreuung bedingen (HAMM, 1975). Man spricht auch von Fleisch mit einer offenen Struktur der Oberfläche. Die erhöhte Lichtreflexion bei PSE erklären FELDHUSEN (1994) und WENDT et al. (2000) weiterhin mit der verringerten Eindringtiefe des Lichtes in die Muskulatur, dem verringerten myofibrillären Abstand und dem vermehrten Vorhandensein von ungebundenem Wasser, welches das Licht stärker reflektiert. Der Proteinanteil des Myoglobins ist ebenfalls von der Denaturierung betroffen. Die selektive Absorption des Myoglobin ist verringert und die Farbanteile des Lichts werden verstärkt reflektiert. Daraus resultiert der Anstieg des Rotwertes a* und des Gelbwertes b* bei sehr niedrigem pH-Wert (FELDHUSEN, 1994). Der schnelle pH-Wert-Abfall bei hohen Temperaturen setzt das Myoglobin zudem oxidierenden Bedingungen aus. Ein Teil des Myoglobins wird zum wenig

farbintensiven Metmyoglobin oxidiert (LAWRIE, 1985). Die Helligkeits- L* und die Gelbwerte b* von PSE-Schweinefleisch sind aufgrund des höheren Metmyoglobingehaltes gegenüber normalem Fleisch erhöht, d. h. PSE-Fleisch wirkt blasser und gelber (CHIZZOLINI et al., 1993).

Ein Fleischqualitätsmangel, der bei Rindfleisch häufiger auftritt als bei Schweinefleisch, ist der DFD-Zustand (dark, firm, dry = dunkel, fest, trocken). Solches Rindfleisch wird synonym auch als dark cutting beef (DCB) bezeichnet (SCHWÄGELE, 1993). DFD-Fleisch entsteht, wenn die Tiere, aufgrund lang anhaltender Belastungen vor dem Schlachten, bereits ante mortem einen Glykogenmangel in der Muskulatur aufweisen (SCHWÄGELE, 1993). In diesem Fall ist post mortem nicht mehr genügend Glykogen für eine anaerobe Glykolyse mit Bildung von Milchsäure vorhanden. Es kann nicht zu einem ausreichend starken pH-Abfall kommen. End-pH-Werte von über 6,1 (ABRIL et al., 2001) bzw. 6,2 (FISCHER, 1988) im Fleisch 24 Stunden post mortem werden dem DFD-Komplex zugeordnet. Bei hohen pH-Werten befinden sich die sarkoplasmatischen und myofibrillären Proteine, v. a. das Actomyosin, deutlich oberhalb ihres isoelektrischen Punktes. Sie besitzen viele freie Ladungen und binden daher verstärkt das Gewebswasser (PRICE und SCHWEIGERT, 1971; LAWRIE, 1985). Das erhöhte Wasserbindungsvermögen führt zu einer starken Quellung der Muskelfasern. Die Fleischoberfläche erscheint geschlossener, da die gequollenen Myofibrillen dichter zusammenliegen (HAMM, 1975; FISCHER, 1988; RENERRE, 1990; ABRIL et al., 2001). Die dicht gepackten Muskelfasern stellen weiterhin eine Barriere für die Diffusion des Sauerstoffs in tiefer liegende Schichten dar (LAWRIE, 1985; FISCHER, 1988). Zudem ist bei erhöhtem pH-Wert die Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme groß, deshalb bildet sich nur eine schmale, oberflächliche Schicht des hellroten Oxymyoglobins aus, und das dunkelrote, reduzierte Myoglobin prägt die Fleischfarbe (HAMM, 1975; PAGE et al., 2001). Die geschlossene Oberfläche absorbiert einen großen Anteil des auftreffenden Lichtes und streut nur wenig Licht, so dass das Fleisch dunkler erscheint (FISCHER, 1988). Im Gegensatz zu dieser Aussage geht FELDHUSEN (1994) davon aus, dass ein erhöhter End-pH-Wert aufgrund vermehrt vorliegender freier Ladungen an den Aminosäureseitenketten der Proteine zu einer größeren elektrostatischen Abstoßung zwischen den Myofibrillen führt. Durch den größeren myofibrillären Abstand wird vermehrt Licht absorbiert und daher ist die

Helligkeit erniedrigt. Untersuchungen von ABRIL et al. (2001) zeigten, dass Fleisch mit einem End-pH-Wert über 6,1 im Vergleich zu Fleisch mit einem normalen End-pH niedrigere Werte für L* und b* aufweist, teilweise auch für a*. DFD-Fleisch ist demnach dunkler und weniger gelb.

#### 2.3.3.9 Auswirkungen des Umgangs mit den Tieren vor dem Schlachten

Der Stress, der für die Tiere mit der Behandlung vor dem Schlachten verbunden ist, hat vor allem über seine Auswirkungen auf den postmortalen pH-Wert-Abfall Einfluss auf die Fleischfarbe.

Bei Schweinen wurde lange Zeit ausschließlich auf Fleischfülle und Magerfleischanteil gezüchtet. Leider sind diese beiden wünschenswerten Eigenschaften mit der Stressempfindlichkeit der Schweine positiv korreliert. Schweine mit hohem Magerfleischanteil, vornehmlich Muskelfasern vom Typ IIB, weisen eine Mutation des Ryanodinrezeptors der Muskulatur auf. Aufgrund der Mutation sind die stressempfindlichen Schweine nicht in der Lage, in Belastungssituationen die Muskulatur nach einigen Kontraktionen wieder abzuschalten (WENDT et al., 2000). Die Muskelfasern kontrahieren immer weiter und aufgrund ihres hohen Energiebedarfs sowie eines Sauerstoffunterangebotes muss die Energie über anaerobe Glykolyse gewonnen werden. Bereits vor der Schlachtung reichert sich Milchsäure im Muskel an (WENDT et al., 2000). Nach der Schlachtung tritt eine überstürzte Glykolyse ein und der pH-Wert fällt extrem schnell ab (HONIKEL und KIM, 1985). Dies manifestiert sich in Form von PSE. Neben Schweinen sind seltener auch Rinder, vor allem von Rassen die Doppellendigkeit aufweisen, betroffen (FISCHER, 1988).

Wenn Tiere unmittelbar nach der Einwirkung einer belastenden Situation geschlachtet werden, führt das zum Auftreten von PSE (WENDT et al., 2000). DFD tritt auf, wenn die Schlachttiere länger andauernden Belastungen ausgesetzt waren und nicht unmittelbar, sondern erst nach einer längeren Wartezeit geschlachtet werden (FISCHER, 1988; WENDT et al., 2000). Durch die starke Belastung wird das gesamte Glykogen des Muskels zur Energiegewinnung verbraucht. Die entstehende Milchsäure wird intra vitam abgebaut, daher zeigt das Fleisch post mortem zunächst die erwarteten pH-Werte. Die Wartezeit reicht aber nicht aus, um die Glykogen-

reserven wieder aufzufüllen (FISCHER, 1988), daher steht nach der Schlachtung kein Glykogen zur Realisierung des normalen pH-Abfalls zur Verfügung.

Verschiedene Untersuchungen haben einen Einfluss von Stressfaktoren, wie Transport (Ablauf, Dauer), Nüchterung, Umgebungstemperatur, Wartezeit zwischen Transport und Schlachtung und Schlachtungsablauf (Zutrieb, tierschutzgerechte Behandlung, Betäubung), auf die Fleischfarbe ergeben. Diese Faktoren sind in Tab. 2 zusammenfassend dargestellt.

Der **Transport** stellt für die Schlachttiere eine ungewohnte Belastung dar. Faktoren wie Stress beim Be- und Entladen, Belegungsdichte, Ausstattung des Transporters, Wetterlage und Transportdauer wirken auf die Tiere ein. Vor allem für stressempfindliche Schweine stellt der Transport zum Schlachthof häufig eine Überforderung in Bezug auf muskuläre Haltearbeit und das kardiovaskuläre System dar (JUNCHER et al., 2001).

Die **Wartezeit** am Schlachthof hat einen entscheidenden Einfluss auf die Fleischqualität. Bei Schweinen, die unmittelbar nach der Ankunft geschlachtet werden, lassen sich höhere Anteile an Schlachttierkörpern mit PSE finden, als bei Schweinen, die nach einer Aufstallungszeit von 2 Stunden geschlachtet werden (WENDT et al., 2000). Eine starke Verlängerung der Wartezeiten führt dagegen sowohl bei Schweinen als auch bei Rindern zu einem verstärkten Auftreten von Schlachttierkörpern mit DFD-Eigenschaften (FISCHER, 1988; ABRAHAM et al., 1989).

Während der Aufstallung kann die Umgebungstemperatur im Wartebereich als weiterer Stressor auf die Schlachttiere wirken. Insbesondere hohe **Temperaturen** führen zu Fleischbeschaffenheitsabweichungen in Form von PSE- und DFD-Fleisch, da die Schlachttiere ante mortem starkem Hitzestress ausgesetzt sind (SANTOS et al., 1997; KADIM et al., 2004).

Futterentzug vor der Schlachtung ist ein weiterer Stressfaktor für Schweine und Kälber. Die **Nüchterung** ist ungewohnt und bewirkt bei physischen Belastungen, wie Transport, eine erhöhte glykolytische Aktivität der Muskulatur ante mortem (VAN DE WATER et al., 2003). Nüchterung führt bei Schweinen und Kälbern über verstärkte Milchsäurebildung zu erniedrigten pH-Werten und zu hellem, blassem Fleisch. Bei Rindern dagegen spielt die Nüchterung keine wichtige Rolle, da sie als Wiederkäuer den Energiebedarf der Muskulatur großteilig aus dem Fettstoffwechsel decken (FISCHER, 1988). Daher steht trotz Futterentzug das muskuläre Glykogen beim Rind post mortem zur Realisierung der pH-Wert-Absenkung zu Verfügung.

Ein entscheidender Faktor vor der Schlachtung ist der **Zutrieb**. Der Zutrieb sollte möglichst ruhig und stressfrei für die Schlachttiere erfolgen, dies wirkt sich positiv auf die Fleischqualität aus. So ergaben Untersuchungen von HIEGEMANN (2002), dass Fleisch von Schweinen, die einem stressärmeren und tierschutzgerechteren Zutrieb ausgesetzt waren, in der Fleischfarbe weniger Gelbanteile enthält. Dies spricht für eine kräftigere, dunklere Fleischfarbe.

In verschiedenen Publikationen wird der Einfluss der **Betäubung** auf die Farbe von Frischfleisch und auf die Farbhaltung kontrovers diskutiert. Bei Schweinen wirkt sich die Elektrobetäubung über höhere Gelb- und Helligkeitswerte gegenüber der $CO_2$-Betäubung negativ auf die Fleischfarbe aus (VELARDE et al., 2000). Bei Rindfleisch scheint sich die Betäubungsart nicht auf die Frischfleischfarbe, sondern auf die Farbe des gereiften Rindfleisches und auf die Farbhaltung auszuwirken (HOFFMANN, 2003; ÖNENC und KAYA, 2004). Bei Lämmern konnte keine Farbbeeinflussung durch die Art der Betäubung gefunden werden (VERGARA et al., 2005).

**Tab. 2:** Ante mortem Stressoren mit Wirkung auf Fleischfarbe und -qualität

| | **Tier** | **Mögliche Stressfaktoren** | **Auswirkung auf Fleischfarbe und -qualität** | **Literatur** |
|---|---|---|---|---|
| ***TRANSPORT*** | Kalb | • steigende Transportdauer<br>• Nüchterung | • steigender Anteil an DFD<br>• dunkleres Fleisch | VAN DE WATER et al. (2003) |
| | Kalb | Vorderes Kompartment des Transporters<br>• höhere Temperatur<br>• schlechtere Belüftung | • Fleisch 50 min p. m. heller<br>• niedrigerer pH-Wert als Tiere aus dem hinteren Kompartment | VAN DE WATER et al. (2003) |
| | Schwein | • Transportdauer > 120 min<br>• schwüles Wetter<br>• Überbelegung | steigender Anteil an PSE | VON WENZLAWOWICZ et al. (1996) |
| | Schwein | Laufband (simuliert muskuläre Anstrengungen des Transports) | L* und b* steigen - helleres, deutlicher gelbes Fleisch | JUNCHER et al. (2001) |
| ***WARTEZEIT*** | Jungbulle | 24 h Aufstallung im Schlachthof | dunklere Fleischfarbe | KAZAROV (1979) |
| | Färse<br>Ochse | 20 h Aufstallung im Schlachthof | Färsen:<br>• dunklere Fleischfarbe<br>• vermehrt Verletzungen | WAJDA (1988) |

Fortsetzung **Tab. 2**

| | Tier | Mögliche Stressfaktoren | Auswirkung auf Fleischfarbe und -qualität | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| ***WARTEZEIT*** | Jungbulle | steigende Wartezeit | steigender Anteil an DFD | FISCHER (1988) |
| | Schwein | • Wartezeit von 12 h<br>• Nüchterung | steigender Anteil an DFD | ABRAHAM et al. (1989) |
| | Schwein | Wartezeit < 2 h | steigender Anteil an PSE | WENDT et al. (2000) |
| ***TEMPERATUR im Wartestall*** | Rind | Temperatur > 25℃ | Anteil an DFD verdoppelt | FISCHER (1988) |
| | Rind | heiße Jahreszeit (Temperatur ≈ 34℃) | • L*, a*, b* im Vergleich zu kühlen Jahres-zeit (22℃) niedriger<br>• dunklere Fleischfarbe<br>• vermehrt DFD | KADIM et al. (2004) |
| | Rind | Winter (Temperatur < 5℃) | • L*, b* niedriger als im Herbst oder Frühjahr<br>• dunklere Fleischfarbe | KIM et al. (2003) |
| | Schwein | • hohe Tempera-turen > 35℃<br>• hohe Luftfeuch-tigkeit<br>• steigende Wartezeit | • steigender Anteil an PSE<br>• vermehrt akute Herz-Kreislauf-Probleme | SANTOS et al. (1997) |

Fortsetzung **Tab. 2**

| | Tier | Mögliche Stressfaktoren | Auswirkung auf Fleischfarbe und -qualität | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| ***NÜCHTERUNG*** | Rind | Futterentzug über längere Zeit | keine | FISCHER (1988) |
| | Kalb<br>Schwein | Nüchterung | • erhöhter End-pH-Wert<br>• L* niedriger<br>• dunkleres Fleisch | VAN DE WATER et al. (2003) |
| ***ZUTRIEB zur Betäubung*** | Schwein | Vergleich:<br>• altes Zutriebs-system (offen, nicht lärmge-schützt, manuelles Treiben)<br>• neues Zutriebssystem (lärmgedämmt, Sichtschutz, automatisches Treiben) | Neues System:<br>• Abfall der Gelbwerte b*<br>• b* weiter von Grenzwerten für PSE-Fleisch entfernt | HIEGEMANN (2002) |
| ***BETÄUBUNG*** | Schwein | Vergleich:<br>• Elektro-Betäubung<br>• $CO_2$-Betäubung | Elektrobetäubung:<br>• L* und b* erhöht<br>• erhöhter Anteil an PSE | VELARDE et al. (2000) |

Fortsetzung **Tab. 2**

| | Tier | Mögliche Stressfaktoren | Auswirkung auf Fleischfarbe und -qualität | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| ***BETÄUBUNG*** | Rind | Vergleich:<br>• Schächtung<br>• Elektro-Betäubung<br>• Betäubung mit nicht-penetrierendem Bolzenschuss | • keine Unterschiede in Frischfleisch-farbe<br>• nach Reifung: Betäubung mit nicht-penetrierendem Bolzenschuss hellere, kräftiger rote Farbe | ÖNENC und KAYA (2004) |
| | Rind | Vergleich:<br>• Schuss-Schlag-Betäubung<br>• Bolzenschuss-Betäubung | keine Unterschiede in Fleischfarbe | HOFFMANN (2003) |
| | Saug-lamm | Vergleich:<br>• Schächtung<br>• Elektro-Betäubung<br>• $CO_2$-Betäubung | keine Unterschiede in Fleischfarbe | VERGARA et al. (2005) |

#### 2.3.3.10 Einfluss der Kühlung

Verschiedene Kühlungsmodalitäten bedingen Differenzen in der Fleischfarbe (RENERRE, 1990). Die Kühltemperatur bestimmt die Geschwindigkeit, mit der die biochemischen Reaktionen im Fleisch nach der Schlachtung ablaufen. Durch die Absenkung der Temperatur beim Kühlen wird das Tempo der postmortalen Glykolyse nach den ersten vier Stunden verlangsamt (SCHWÄGELE, 1999). Innerhalb der ersten vier Stunden post mortem beschleunigen sehr niedrige Temperaturen den Abfall des pH-Wertes (FISCHER, 1981). Durch schnelles Kühlen der Muskulatur bei hohen ATP-Gehalten (> 1 µmol/g) vor dem Eintritt des Rigor mortis kann es zur Kälteverkürzung (cold shortening) kommen. Nach MARSH und CARSE (1974) bewirkt das cold shortening ein Ineinanderschieben der dicken und dünnen Filamente der Muskulatur. Dies schreitet fort, bis die dicken Filamente eines Sarkomers mit den Aktinfilamenten der benachbarten Sarkomere verbunden sind. Besonders die dunkelrote Muskulatur von Rind, Schaf und Wild ist davon betroffen (SCHWÄGELE, 1999). Das „cold shortening“ ist irreversibel und bewirkt einen höheren Tropfsaftverlust, Zähigkeit sowie Farbveränderungen. Ein erhöhter Anteil an ungebundenem Wasser führt zu einem Anstieg der L*-Werte, was ein blasseres Fleisch zur Folge hat. Niedrige Temperaturen und schnelle Kühlung wirken sich bei Rind- und Schaffleisch negativ auf Farbe und Zartheit aus (PRÄNDL et al., 1988b). Aufgrund der schnellen pH-Wert-Senkung ist die Denaturierung der Muskelproteine stark ausgeprägt und das Wasserbindungsvermögen erniedrigt. Die Muskulatur wirkt deshalb sehr hell und blass (FISCHER, 1981; SCHWÄGELE, 1999).

Im Gegensatz dazu konnten diese Einflüsse der Schnellkühlung bei Schweinefleisch nicht beobachtet werden. Schockkühlung des Schlachttierkörpers bewirkt bei Schweinen eine Abnahme des Gewichtsverlustes, wobei keinerlei negative Auswirkungen auf die Fleischqualität auftreten (VAN DER WAL et al., 1995). Es zeigt sich sogar ein gegenteiliger Effekt: die Schnell- und Schockkühlung von Schweinefleisch verringert das Auftreten bzw. die massive Ausprägung von PSE (PRANGE et al., 1977; PRÄNDL et al., 1988b). Die Kühlung kann jedoch eine mangelhafte Fleischqualität, ausgelöst durch Stress ante mortem, nicht vollständig verhindern (HAMBRECHT et al., 2004).

Niedrige Kühltemperaturen haben den Vorteil, dass die Sauerstofflöslichkeit im Gewebe erhöht und dadurch die Bildung von Oxymyoglobin beschleunigt wird. Das Fleisch zeigt schneller eine kräftiger rote Fleischfarbe (FELDHUSEN, 1994). Während der Kühlung bewirken sehr starke Luftbewegung und geringe relative Luftfeuchtigkeit (unter 90%) eine Abtrocknung der Fleischoberfläche. Mit der Abtrocknung geht eine beschleunigte Metmyoglobin-Bildung und die Abnahme der Fleischhelligkeit einher (FELDHUSEN und REINHARD, 1994). Nach FELDHUSEN (1994) verursacht die Abtrocknung durch den Wasserverlust bei gleichzeitiger Zunahme der Ionenstärke eine vermehrte Autoxidation des Myoglobins zum Metmyoglobin. Die Fleischhelligkeit kann durch Anwendung der Sprühkühlung stabilisiert werden, da diese die Abtrocknung der Oberfläche verhindert. Die Sprühkühlung ist jedoch mit mikrobiologischen Nachteilen behaftet (FELDHUSEN et al., 1995b).

#### 2.3.3.11 Auswirkungen der bakteriellen Besiedelung

Die bakterielle Besiedelung von Fleisch ist abhängig von hygienischem Status sowie Gesundheitszustand des Schlachttieres und vom Hygienestatus des Schlachtbetriebs (Personal-, Betriebs-, Produkthygiene).

Bakterien wirken meist während der Reifung und Lagerung farbverändernd auf das Fleisch ein. Sie können das Redoxpotential der Fleischoberfläche verändern oder Muskelproteine denaturieren bzw. hydrolysieren (POTTHAST, 1987). Wenn der Proteinanteil des Myoglobins denaturiert ist, kann Sauerstoff nicht mehr an das Häm angelagert werden. Das reduzierte Myoglobin wird rasch, unter Braunverfärbung, zu Metmyoglobin oxidiert (HAMM, 1975). Katalase-positive Bakterien dagegen wirken über die Anreicherung von Peroxiden auf das Redoxpotential und schaffen oxidierende Bedingungen. Hierdurch kommt es zur Bildung von Metmyoglobin und zur Braunverfärbung des Fleisches. Peroxide können aber auch Veränderungen am Porphyrinring des Häm bewirken, die zur Bildung von grünen Pigmenten führen (HAMM, 1975). Ein solches grünes Pigment, das als bakterielles Nebenprodukt aus dem Myoglobin gebildet wird, ist das Cholemyoglobin (SEIDEMAN et al., 1984). Grünverfärbungen von rohem Fleisch werden des Weiteren von Bakterien, z. B. *Shewanella putrefaciens*, ausgelöst, die Schwefelwasserstoff bilden. Dieser reagiert mit dem Häm zum grünen Sulfmyoglobin (HAMM, 1975; POTTHAST, 1987; BORCH

et al., 1996; BAUMGART und BECKER, 2003). Diese Vorgänge sind in Abb. 9 schematisch dargestellt. Aerobe Bakterien, wie Pseudomonaden, bewirken eine schnelle Vergrauung der Fleischoberfläche durch Reduktion des Sauerstoffpartialdrucks. Die Bakterien entziehen dem Fleisch sozusagen den Sauerstoff, welcher dann zur Bildung von Oxymyoglobin fehlt. Das purpurrote Myoglobin wird unter diesen Bedingungen schnell zum grau-braunen Metmyoglobin oxidiert (RENERRE, 1990; FELDHUSEN et al., 1995a).

Zusammenfassend sind zu den farbbeeinflussenden Faktoren Stress, Kühlung und bakterielle Besiedelung die Untersuchungen von HAMBRECHT et al. (2003) anzuführen. Die Organisation des einzelnen Schlachthofes beeinflusst die Fleischfarbe massiv, wobei sich bei Schweinen die $CO_2$-Betäubung in Kombination mit konventioneller Kühlung als negativ erwiesen hat. Auf diese Weise gewonnenes Schweinefleisch zeigt signifikant höhere L*- und b*-Werte und niedrigere a*-Werte, ist damit blasser, gelber und weniger rot (HAMBRECHT et al., 2003).

### 2.3.4 Farbentwicklung während der Fleischreifung und -lagerung

Die Fleischreifung ist ein muskelzellinterner Vorgang, der eine tierartspezifische Dauer aufweist. Bei niedrigen Temperaturen nimmt die Fleischreifung bei Geflügel ungefähr 36 Stunden, bei Schweinen über 60 Stunden, beim Kalb ca. 7 Tage und bei Rindern mindestens 14 Tage in Anspruch (KÜHNE, 2004). Bei der Fleischreifung sind zwei Phasen zu unterscheiden: in der ersten Phase beginnt die Umwandlung der Muskulatur zum Muskelfleisch. Der pH-Wert fällt ab. Die erste Phase ist abgeschlossen mit Eintritt des Rigor mortis. Ein Zustand maximaler Zähigkeit ist erreicht (SCHWÄGELE, 1999). In der zweiten Phase gewinnt das Fleisch durch „Abhängen“ zunehmend an Zartheit. Proteolytische Enzyme bewirken eine Muskelfragmentierung. Die Muskelfragmentierung besteht in einem Aufbrechen der Muskelfasern an oder im Bereich der Z-Linie sowie weiteren Calcium-abhängigen Abbauprozessen, die zu einer Lockerung des Muskelgewebes führen (FISCHER, 1981; SCHWÄGELE, 1999). Die Reifung hat eine Erhöhung des Wasserbindungsvermögens sowie eine Verbesserung des Fleischaromas und der Zartheit zur Folge (AUGUSTINI und FISCHER, 1999; KÜHNE, 2004).

Die Fleischfarbe wird während der Reifung von der Art der Lagerung beeinflusst. Die Lagerung kann zum einen in Hälften oder Vierteln mit Luftkontakt und zum anderen in Form von vakuumverpackten Teilstücken erfolgen (AUGUSTINI und FISCHER, 1999). Durch den Kontakt mit Luftsauerstoff kommt es nach dem Schlachten zu einer schnellen Oxygenierung des Myoglobins der Fleischoberfläche zum hellroten Oxymyoglobin. Die Farbe der Muskeloberfläche ist abhängig vom Sauerstoffpartialdruck und von der Dauer der Sauerstoffeinwirkung (FELDHUSEN et al., 1994). In den ersten drei Tagen der Lagerung kann bei Schweine- sowie bei Rindfleisch unter der Oberfläche nur ein niedriger Sauerstoffpartialdruck festgestellt werden, da das Gewebe noch eine hohe Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme aufweist. Vom 4. bis 7. Tag nimmt der Sauerstoffverbrauch kontinuierlich ab und der Sauerstoffpartialdruck steigt. Der Gehalt an Oxymyoglobin steigt parallel an (FELDHUSEN, 1994; FELDHUSEN et al., 1995a). Dies bewirkt bei Schweinefleisch nur eine geringe Zunahme des Rotwertes a*. Bei Rindfleisch ist der Anstieg des Rotwertes a* mit steigender Oxymyoglobinkonzentration ausgeprägter (FELDHUSEN, 1994). Des Weiteren steigen bis zum 5. Tag der Lagerung L* und b* parallel zur Oxymyoglobinkonzentration an (FELDHUSEN et al., 1994).

Die Dauer der Sauerstoffeinwirkung auf die Fleischoberfläche spielt ebenfalls eine wichtige Rolle für die Farbe. FELDHUSEN et al. (1994; 1995a) wiesen sowohl für Schweine- als auch für Rindfleisch einen Anstieg des Sauerstoffpartialdruckes im Fleisch beim Vergleich einer Einwirkzeit von 1 Minute mit einer solchen von 5 Stunden nach. Daher führt eine längere Einwirkzeit des Sauerstoffes auch zu einer Zunahme der Oxymyoglobingehalte und zur Veränderung der Farbwerte L*, a*, b*. Dieses Phänomen wird als „blooming“ oder Farbaufhellung bezeichnet (STRANGE et al., 1977; HONIKEL, 2000). Vor einer sensorischen Farbbeurteilung oder einer Farbmessung muss die Oberfläche eines frischen Fleischanschnittes die Möglichkeit zur Aufsättigung mit Sauerstoff erhalten, um eine korrekte Farbausprägung zu gewährleisten. Unter Vakuumverpackung gereifte und gelagerte Teilstücke haben zunächst eine dunkelrote Fleischfarbe, da das Myoglobin überwiegend in reduzierter Form vorliegt. Bei Kontakt mit Sauerstoff kommt es sehr schnell, innerhalb von 1 bis 3 Stunden, zur Bildung von hellrotem Oxymyoglobin an der Oberfläche (AUGUSTINI und FISCHER, 1999; HONIKEL, 2000).

Bei niedrigen Sauerstoffpartialdrücken desoxygeniert das Oxymyoglobin zum reduzierten, oxidationsanfälligen Myoglobin. Die Bildung von Metmyoglobin läuft beschleunigt ab und erreicht bei einem Sauerstoffpartialdruck von 4 mmHg ein Maximum (HAMM, 1975). Wenn die Fleischoberfläche während der Reifung und Lagerung abtrocknet, wird ebenfalls vermehrt Metmyoglobin gebildet. Das Fleisch wird dunkler und vergraut (FELDHUSEN und REINHARD, 1994).

Bei der Reifung von Rindfleisch konnte für L*, a*, b* ein Anstieg proportional zur Lagerdauer festgestellt werden. Die Helligkeit war am niedrigsten am Tag der Schlachtung und stieg bis Tag 16 an, wobei eine Reifung unter Vakuum zu hellerem Fleisch führte als eine konventionelle Reifung im Viertel. Der Rotwert a* war positiv korreliert mit der Reifungsdauer. Der Rotwert stieg ab Tag 12 deutlich an und erreichte an Tag 16 ein Maximum. Der Gelbwert b* nahm während der Reifung geringgradig zu. Ab Tag 12 war ein deutlicher Anstieg des Gelbwertes festzustellen (BOAKYE und MITTAL, 1996).

### 2.3.5 Farbhaltung und Einflüsse auf die Farbstabilität

Unter Farbhaltung wird die Stabilität bzw. Instabilität der Fleischfarbe unter Lager- und Verkaufsbedingungen verstanden. Während der Kühllagerung und der Auslage zum Verkauf in der Fleischtheke wirken technologische Faktoren wie Reifungsdauer, Lagertemperatur, Lagerungsdauer, Beleuchtung und Verpackung auf die Farbe von Frischfleisch ein. Faktoren, die primär die Fleischfarbe beeinflussen, können ebenfalls Auswirkungen auf die Farbhaltung haben. Dabei sind besonders Muskeltyp, Rasse, Fütterung und Stress ante mortem wichtig für die Farbstabilität.

Die **Reifungsdauer** hat einen wesentlichen Einfluss auf die Farbstabilität. Die Farbhaltung von drei bis vier Wochen gereiftem Rindfleisch ist unter Verkaufsbedingungen geringer als bei einer Reifung von einer Woche. Kürzer als eine Woche gereiftes Rindfleisch (drei Tage) zeigt ebenso eine größere Farbinstabilität als eine Woche gereiftes (O`KEEFFE und HOOD, 1981; FELDHUSEN et al., 1995a). Mit der Dauer der Reifung steigen bei Messung am frischen Anschnitt L*, a* und b* an (AUGUSTINI und FISCHER, 1999). Bei Rindfleisch wird eine Reifung über 10 bis 14 Tage (AUGUSTINI und FISCHER, 1999) und bei Schweinefleisch über drei bis vier

Tage (ROSENVOLD und ANDERSEN, 2003) als optimal für Zartheit, Farbe und sensorische Eigenschaften angesehen.

Die **Lagertemperatur** ist ein kritischer Faktor für die Farbhaltung. Mit steigender Temperatur entfärbt sich das Fleisch schneller und die Zeitspanne für die Verkaufspräsentation sinkt (O`KEEFFE und HOOD, 1981). Bei Temperaturen von + 5 bis + 6℃ treten Farbveränderungen bereits nach drei Tagen auf, dagegen ist die Farbe bei einer Temperatur von - 1℃ noch nach zehn Tagen Lagerung stabil (POTTHAST, 1987). Bei hohen Lagertemperaturen ist die Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme erhöht, so dass wenig Sauerstoff für die Bildung von Oxymyoglobin zur Verfügung steht. Zudem steigt der Anteil an Metmyoglobin durch eine verstärkte Lipidoxidation, welche mit Autoxidation des Myoglobins einhergeht, an (GIDDINGS, 1977; SEIDEMAN et al., 1984; RENERRE, 1990). Um die Fleischfarbe zu erhalten und die Lipidoxidation einzuschränken, wird deshalb eine Lagertemperatur unter + 4℃ empfohlen (JAKOBSEN und BERTELSEN, 2000) .

Der zweite wichtige Faktor mit Einfluss auf die Farbstabilität ist die **Lagerungsdauer** (JAKOBSEN und BERTELSEN, 2000). Schweinefleisch zeigt während einer siebentägigen Auslage in der Theke keine Veränderungen der Helligkeit L*. Die Farbwerte a* und b* hingegen steigen am ersten Auslagetag an und fallen dann über die restliche Zeit ab. Der Rotanteil a* sinkt viel schneller als der Gelbwert b* (ZHU und BREWER, 1998).

Die Wahrnehmung der Farbe von Frischfleisch in der Theke oder von vorverpacktem Fleisch ist entscheidend von der **Beleuchtung** abhängig. Die Wirkung der Beleuchtung wird durch die Lichtfarbe mit ihrer spezifischen spektralen Zusammensetzung bestimmt (KLETTNER und STIEBING, 1980). Ein Problem stellen Lichtarten mit einem hohen Rotanteil dar, weil sie geeignet sind, den Verbraucher über Fleischqualitätsmängel zu täuschen (KLETTNER und TERSTIEGE, 1999). Neuere Untersuchungen ergaben, dass die Konsumenten bei Beleuchtung mit verschieden hohen Rotanteilen trotzdem in der Lage sind, den Unterschied zwischen frischem und gealtertem Fleisch zu erkennen (PÖHLE und WIDELL, 2001). Um eine Täuschung des Verbrauchers nach § 11 LFGB auszuschließen, ist die Norm DIN 10504 „Lebensmittelhygiene – Lampen für die Beleuchtung von Fleisch und

Fleischerzeugnissen“ erarbeitet worden. Die Norm gibt als Grenzwert für den speziellen Farbwiedergabe-Index für Fleisch und Fleischerzeugnisse (RFF) mindestens 65 an, um hohe Rotanteile in der Fleischbeleuchtung auszuschließen (STOLLE, 2001; RÖSLER und STOLLE, 2002). Aufgrund von Einsprüchen gegen die DIN-Norm 10504 soll diese jedoch gänzlich abgeschafft werden (N.N., 2005a; N.N., 2005b; N.N., 2005c).

Die Beleuchtung mit Wolfram-Glühlampen bewirkt bei Rindfleisch die beste Fleischfarbe (höchste Rotwerte a*). Bei Schweine- und Geflügelfleisch ist die Glühlampe der Neon- oder Halogenbeleuchtung ebenfalls überlegen, da sie die Rotfärbung am besten zur Geltung bringt (BARBUT, 2001). Nach CALKINS et al. (1986) sind kalte Glühlampen und weiße Leuchtstoffröhren die beim Verbraucher beliebtesten Beleuchtungsarten für Fleisch. Glühlampen haben gegenüber Leuchtstoffröhren den Nachteil, dass sie höhere Temperaturen bedingen, die bakterielles Wachstum sowie die Abnahme der Fleischhelligkeit zur Folge haben. Beim Beleuchten von Fleisch muss weiterhin die Lichtintensität beachtet werden, da hohe Lichtintensitäten oxidative Prozesse, wie Vergrauen und Ranzigwerden, im Fleisch fördern (RÖDEL, 1991a; RÖDEL, 1991b; KLETTNER und TERSTIEGE, 1999).

Die Fleischfarbe von verpacktem Frischfleisch ist abhängig von der **Verpackungsart** und der Atmosphäre, in der sich das Fleisch befindet. Bei Frischfleisch, das in luftdurchlässigen Folien verpackt ist, bewirkt der Sauerstoff die erwünschte intensiv rote Fleischfarbe (SEIDEMAN et al., 1984). Luftdurchlässige Folien haben den Nachteil, dass sie die Ansiedlung von Verderbniskeimen nicht hemmen. Daher wird Fleisch häufig in wenig gasdurchlässigen Folien unter modifizierten $O_2/CO_2$-Atmosphären verpackt. Das Kohlendioxid hemmt bakterielles Wachstum und damit verbundene Farbveränderungen (RENERRE, 1990). Bei Sauerstoffgehalten von über 55% bleibt die hellrote Fleischfarbe ebenfalls optimal erhalten (JAKOBSEN und BERTELSEN, 2000). Sauerstoffreiche Atmosphären bewirken jedoch eine herabgesetzte Farbstabilität einiger Muskeln, z. B. des *M. semitendinosus* (BEHRENDS et al., 2003). In vakuumverpacktem Fleisch liegt aufgrund des Sauerstoffmangels das Myoglobin in der reduzierten, purpurroten Form vor

(RENERRE, 1990). Bei Kontakt mit Luft kommt es zum so genannten „blooming“ und die erwünschte, kirschrote Farbe tritt hervor (HONIKEL, 2000).

Auswirkungen auf die Farbstabilität hat auch die **„Metmyoglobin reduzierende Aktivität“** (MRA) des Muskels. Unter dem Begriff MRA werden muskeleigene Reduktasen zusammengefasst, die in der Lage sind, das dreiwertige Eisenion des Metmyoglobins zu einem zweiwertigen Eisenion zu reduzieren. Bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck (Anoxie), wie in einer Vakuumverpackung, bleibt die MRA lange erhalten und die Fleischfarbe mehr als 2 Wochen stabil (HAMM, 1975; GIDDINGS, 1977).

Die Farbhaltung variiert zudem zwischen den verschiedenen **Muskeln**. So besitzt beim Rind der *M. longissimus* eine höhere Farbstabilität und damit eine größere Zeitspanne für den Verkauf als der *M. glutaeus medius* (ARNOLD et al., 1992). Der farbstabile *M. longissimus* hat einen geringeren Sauerstoffverbrauch und eine niedrigere Myoglobinkonzentration als der farblabile *M. glutaeus medius* (FAUSTMAN und CASSENS, 1991). BEHRENDS et al. (2003) berichteten, dass Steaks vom *M. semitendinosus* nach 10 Tagen Verkaufspräsentation die höchsten L*- und a*-Werte zeigten. Sie waren heller und damit farbinstabiler als Steaks vom *M. semimembranosus* oder *M. biceps femoris*. Im Gegensatz zu diesen Aussagen postulierten MC KENNA et al. (2005), dass Muskeln mit einem hohen Myoglobingehalt grundsätzlich farbstabiler sind als solche mit einem niedrigeren. In ihren Untersuchungen wiesen die farbstabilen Muskeln nach fünf Tagen Verkaufspräsentation keine Veränderung von a* auf. Bei den farblabilen Muskeln hingegen kam es zu einem starken Abfall des Rotwertes a*.

**Tab. 3:** Einteilung der Muskeln nach ihrer Farbstabilität (MC KENNA et al., 2005)

| Muskeln mit hoher Farbstabilität | Muskeln mit niedriger Farbstabilität |
|---|---|
| *M. longissimus thoracis* | *M. psoas major* |
| *M. longissimus lumborum* | *M. adductor* |
| *M. tensor fasciae latae* | *M. infraspinatus* |
| *M. semitendinosus* | *M. supraspinatus* |

FAUSTMAN und CASSENS (1991) wiesen bei Rindfleisch einen **Rasseunterschied** in der Farbhaltung zwischen Holstein-Friesian-Milchrindern und Fleischrindkreuzungen nach. Das Fleisch von Holstein-Friesian-Rindern zeigte eine höhere Pigmentoxidation und entfärbte sich schneller. Die schlechtere Farbhaltung wird auf die Milchrindgenetik, welche ein Fleisch mit höherem oxidativem Potential bedingt, zurückgeführt. Eine wechselseitige Beeinflussung zwischen Lipid- und Myoglobinoxidation konnte auch von WARNATZ et al. (1993) aufgezeigt werden.

Eine **Vitamin E-Supplementierung** erhöhte bei Rindfleisch die Farbstabilität. Dies gilt in weniger deutlicher Ausprägung auch für Lammfleisch (FAUSTMAN und WANG, 2000). Im Gegensatz dazu konnten ROSENVOLD und ANDERSEN (2003) keinen positiven Effekt der Zufütterung von Vitamin E bei Schweinefleisch finden. GENTRY et al. (2004) wiesen nach der Verkaufsausstellung höhere a*- und b*-Werte für Schweinefleisch von extensiv gehaltenen Tieren nach und begründeten diese bessere Farbhaltung mit höherer Eisen- und Antioxidantienaufnahme.

Koteletts von Schweinen, die vor dem Schlachten **Stress**faktoren ausgesetzt wurden, zeigen zunächst eine attraktivere Farbe (höhere Rotwerte a*), aber insgesamt eine schlechte Farbhaltung. Die Rotwerte fallen sehr schnell ab (JUNCHER et al., 2001). Auch der durch die Betäubung verursachte Stress hat Einfluss auf die Farbstabilität. Rindfleisch von mit nicht-penetrierendem Bolzenschuss betäubten Tieren hat eine stabilere, hellere und intensiver rote Farbausprä-

gung als Fleisch von geschächteten oder elektrisch betäubten Rindern (ÖNENC und KAYA, 2004).

### 2.3.6 Die Fleischfarbe als Qualitätsparameter

#### 2.3.6.1 Definition der Fleischqualität

Die Qualität setzt sich aus einer Summe oder Gesamtheit von qualitätsbeeinflussenden Merkmalen zusammen (HOFMANN, 1987; SCHARNER, 1997). Der Begriff Qualität darf wissenschaftlich nur wertneutral verwendet werden. Umgangssprachlich wird „Qualität“ oft mit Wertschätzung gleichgestellt und in eindeutig positivem Sinne angewendet. Begriffe wie „Qualitätsfleisch“ oder „Qualitätsfleischwaren“ sind mit dieser positiven Wertung unterlegt (SCHARNER, 1997). Die tatsächliche Qualität eines Produktes ist jedoch objektiv messbar. Die Wertschätzung ist von der Qualität sekundär abgeleitet und subjektiv (HOFMANN, 1987). Nach HOFMANN (1973) ist die „Fleischqualität (...) die Summe aller sensorischen, ernährungsphysiologischen, hygienisch-toxikologischen und verarbeitungstechnologischen Eigenschaften des Fleisches.“

#### 2.3.6.2 Parameter der Fleischqualität

Zu unterscheiden ist zwischen objektiv messbaren und ausschließlich subjektiv erfassbaren Merkmalen (SCHARNER, 1997). Objektive Parameter der Fleischqualität sind: biochemische (z. B. Glykogen, Lactat), physikalische (z. B. pH-Wert, Farbwerte bzw. Farbhelligkeit, Zartheit, Wasserbindungsvermögen), chemische (z. B. Vollanalysedaten, Aminosäuren, Fettsäuren) und bakteriologische (z. B. Gesamtkeimzahl, *Enterobacteriaceae*) Merkmale. Subjektive Kriterien dagegen sind Aussehen, subjektiver Farbeindruck, Konsistenz, Geruch, Geschmack, Marmorierung (RISTIC, 1984; SCHARNER, 1997). Als Indikatormuskeln zur Prüfung der oben angeführten Fleischqualitätsparameter empfiehlt SCHARNER (1997) bei Rind- und Schweinefleisch *M. longissimus dorsi*, *M. semimembranosus* und *M. semitendinosus.*

#### 2.3.6.3 Beziehung der Fleischfarbe zu weiteren Fleischqualitätsparametern

Eine Vielzahl von Publikationen wies einen engen Zusammenhang zwischen den objektiv messbaren Farbwerten L*, a*, b* und subjektiv ermittelten Farbscores nach (JEREMIAH et al., 1972; EIKELENBOOM et al., 1988; STEVENSON et al., 1989; EIKELENBOOM et al., 1992; DENOYELLE und BERNY, 1999; VAN OECKEL et al., 1999; HULSEGGE et al., 2001; LAGODA et al., 2002). Des Weiteren sind die Farbwerte untereinander stark korreliert (L* und a*: r = 0,69; L* und b*: r = 0,44) (DENOYELLE und BERNY, 1999). Der Rotwert a* weist mit dem Gelbwert b* den höchsten Zusammenhang von r = 0,95 auf (PAGE et al., 2001). GARRIDO et al. (1994) sowie VAN OECKEL et al. (1999) zeigten deutliche Korrelationen zwischen L*, Göfo-Wert (Göttinger Fotometer) und $FOP_{24h}$ (Fibre Optic Probe), welche Parameter sind, die die Fleischhelligkeit beschreiben.

EIKELENBOOM et al. (1988) konnten für Kalbfleisch keine deutlichen Beziehungen zwischen der Fleischfarbe und anderen Fleischbeschaffenheitsparametern finden. Dagegen berichteten VAN OECKEL et al. (1999), dass bei Schweinefleisch die Helligkeit L* mit anderen on-line Methoden (FOP, Leitfähigkeit - $LF_{45min}$, Double Density Light Transmission - DDLT) mit r = 0,49 bis r = 0,60 korreliert ist. Der $pH_{45min}$-Wert war in dieser Untersuchung mit r = - 0,53 mit dem L*-Wert korreliert. Die frühpostmortale, negative Beziehung zwischen pH-Wert und L*a*b* wurde durch PAGE et al. (2001) bestätigt. Dem widersprechen die Ergebnisse von VON WENZLAWOWICZ et al. (1996), dass Farbhelligkeit und $pH_{45min}$-Wert nur äußerst gering korreliert sind. Die Farbhelligkeit L* wird von VON WENZLAWOWICZ et al. (1996) als nicht geeignet zur Bestimmung der Fleischqualität am Schlachtband eingestuft. KIRCHHEIM et al. (2001) stützen diese These, da sie ebenfalls nur schwache Zusammenhänge zwischen Farbhelligkeit L* und anderen frühpost-mortalen Kriterien ($pH_{45min}$, $LF_{45min}$) fanden.

Die Fleischfarbe von Schweinefleisch 24 Stunden post mortem kann durch Farbmessung 45 Minuten nach dem Schlachten nicht vorhergesagt werden (VAN OECKEL et al., 1997; DVORAK et al., 2001). Die Helligkeit $L^*_{24h}$ kann am besten durch frühpostmortale Messung des Göfo-Wertes (r = - 0,65) geschätzt werden,

dagegen sind a* und b* durch am Schlachtband gemessene Parameter nicht vorauszusagen (VAN OECKEL et al., 1997).

WULF und WISE (1999) berichteten über die Korrelation der Farbwerte L*, a*, b* (24 h p. m.) mit Magerfleischanteil, pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit und DFD-Häufigkeit bei Rindfleisch. Der End-pH-Wert ist stark und negativ korreliert mit L*a*b*, wobei der engste Zusammenhang zwischen $pH_{24h}$ und Gelbwert b* festzustellen ist (WULF et al., 1997; WULF und WISE, 1999; MALLIA et al., 2000; PAGE et al., 2001). SCHMIDTKE (2002) wies für Rindfleisch nach, dass die elektrische Leitfähigkeit mit der Fleischfarbe korreliert ist (r = 0,46). Das Fleisch wurde im Verlauf der Reifung, parallel zum Leitfähigkeitsanstieg, heller. Die Beziehung zwischen Magerfleischanteil und L*a*b*, besonders L*, beim Rind wurde durch PAGE et al. (2001) bestätigt. Nach HAMBRECHT et al. (2003) hängt bei Messung der Farbwerte 24 Stunden post mortem die Helligkeit L* am besten mit anderen Parametern der Schweinefleischqualität, wie Wasserbindungsvermögen und elektrischer Leitfähigkeit, zusammen. Schon STEINHAUF et al. (1965) wiesen auf die enge Beziehung zwischen Fleischfarbe und Wasserbindungsvermögen hin.

#### 2.3.6.4 Qualitätsbeurteilung im Rahmen der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene

Die AVV Fleischhygiene, die momentan noch gültig ist und durch die AVV Lebensmittelhygiene (In-Kraft-Tretung 2006) ersetzt werden soll, hat neben gesundheitlichen Aspekten auch die Qualitätsbeurteilung von Lebensmitteln zur Aufgabe. In der AVV Lebensmittelhygiene sind folgende Methoden zur Überprüfung der Fleischqualität vorgesehen: pH-Wert-Messung in Schlachtkörpern, Bestimmung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit aus Muskelproben, Methoden zur Feststellung von Geruchs- und Geschmacksabweichungen sowie zur Differenzierung der Gelbfärbung von Fleisch und Fett und der Nachweis der Behandlung von frischem Fleisch. Als wichtige sensorische Parameter werden nur Geruch und Geschmack des Fleisches beurteilt. Die für den Verbraucher wichtige Fleischfarbe wird mit den bisherigen Verfahren nicht erfasst. Bei Berücksichtigung der Fleischfarbe als Qualitätsparameter in der AVV Lebensmittelhygiene sollte die Aufnahme der objektiven Farbmessung angestrebt werden.

## 2.4 Die Farbmessung an Fleisch

### 2.4.1 Problematik der objektiven Farbmessung an Fleisch

Die Farbmessung an Fleisch ist mit ähnlichen Problemen behaftet wie die Farbmessung an Lebensmitteln generell. Einerseits erschwert die unebene Struktur die Messung der Oberflächenfarbe, da die Probe unter verschiedenen Blickwinkeln unterschiedlich erscheint. Andererseits kommt es bei unebenen, rundlichen Oberflächen dazu, dass die Probe nicht in der Messebene liegt. Problematisch ist zudem die Inhomogenität der Oberflächenfarbe. Das Auge kann die einzelnen Farben abgrenzen, das Messgerät hingegen errechnet einen Mittelwert über die Messfläche. Die Schichtdicke der Probe ist weiterhin entscheidend, da eine dünnere Schichtdicke bei durchscheinenden Proben zu einer anderen Farbe mit höherer Helligkeit führen kann (GRÜNEWALD, 1979; STIEBING und KLETTNER, 1980). Bei Fleisch könnte so eine dünne Scheibe heller erscheinen als ein ganzes Teilstück. Ein großes Problem ist der Glanz auf Oberflächen, der zur Verfälschung der Messergebnisse führen kann. Deshalb sollte bei Fleisch entweder die Oberfläche trocken getupft werden oder ein Farbmessgerät mit Glanzfalle eingesetzt werden (GRÜNEWALD, 1979; HONIKEL, 2000). Bei Fleisch muss außerdem die Zeitdauer der Farbmessung so gering wie möglich gehalten werden, da bei längerer Dauer der Messung eine Veränderung der Farbe eintreten kann (STIEBING und KLETTNER, 1980).

### 2.4.2 Anwendung der Farbmessung

#### 2.4.2.1 Einsatzgebiete der Farbmessung an Fleisch

Die Farbmessung an Fleisch wird vor allem zum Zweck der Klassifizierung von Schlachttierkörpern und zur Abgrenzung von Fleischbeschaffenheitsabweichungen eingesetzt.

Speziell bei Kalbfleisch wird die Messung der Farbe zur Klassifizierung der Schlachttierkörper verwendet. Die Farbe ist bei Kalbfleisch ein wertbestimmender Faktor. Die Klassifizierung erfolgte lange Zeit subjektiv, anhand von genormten Farbskalen (Farbscores), in Form der Abmusterung durch geschultes Personal

(DENOYELLE und BERNY, 1999). Die objektive Messung hat den Vorteil einer höheren Präzision und besseren Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Schlachthöfen (LAGODA et al., 2002). In mehreren Untersuchungen konnte eine hohe Korrelation zwischen subjektivem Farbscore und objektiven L*a*b*-Werten nachgewiesen werden (EIKELENBOOM et al., 1992; DENOYELLE und BERNY, 1999; HULSEGGE et al., 2001; LAGODA et al., 2002). EIKELENBOOM et al. (1992) bewiesen erstmals, dass die frühpostmortale Farbmessung am *M. rectus abdominis* geeignet ist zur Klassifizierung von Kälbern. Weitere Studien durch DENOYELLE und BERNY (1999) sowie HULSEGGE et al. (2001) zeigten, dass Farbmessungen mit dem Minolta Chroma-Meter CR-300 bzw. CR-310 45 Minuten post mortem am *M. rectus abdominis* zu 63% bis 87% zur selben Klassifizierung der Tierkörper von Kälbern führen wie eine Klassifizierung durch das geschulte Personal.

Ein wichtiges Einsatzgebiet der Farbmessung an Schweine- und Rindfleisch ist die Abgrenzung von Fleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften gegenüber Fleisch mit Qualitätsmängeln, wie PSE- oder DFD-Fleisch (FELDHUSEN et al., 1987). Dabei ist die Festlegung von Grenzwerten für die Farbwerte L*a*b* von großer Bedeutung. Da der pH-Abfall und die Farbausprägung bei PSE bereits 45 Minuten nach dem Schlachten abgeschlossen sind, wird zur Abgrenzung von PSE-Fleisch beim Schwein eine Farbmessung 45 bis 60 Minuten p. m. empfohlen (Tab. 4). Die Helligkeit nimmt bis 24 Stunden nach dem Schlachten für Schweinefleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften zu, daher muss zu diesem spätpostmortalen Zeitpunkt bei der Farbmessung ein höherer Grenzwert (Tab. 5) angesetzt werden (FELDHUSEN et al., 1987; SCHARNER und SCHIEFER, 1996; SCHARNER et al., 1997). Die Bedeutung der a*- und b*-Werte zur Abgrenzung des Mangels PSE wird als unklar angesehen (SCHARNER und SCHIEFER, 1996; SCHARNER et al., 1997). Die CMA führt daher die Farbmessung zur Überprüfung auf PSE-Fleisch in ihren Bestimmungen für Qualitätsschweinefleisch nur als experimentelles Verfahren an (CMA, 1991b).

**Tab. 4:** Frühpostmortale Grenzwerte der Farbmessung an Schweinefleisch

| Tierart | Messposition<br>Messzeitpunkt | Grenzwert | Aussage des Grenzwertes | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| ***Schwein*** | • *M. longissimus dorsi*<br>• *M. semi-membranosus*<br>• 60 min p. m. | L* < 45 | Schweinefleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften | FELDHUSEN et al. (1987) |
| | | L* > 52 | PSE | |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 60 min p. m. | b* > 4,1 | PSE | FELDHUSEN et al. (1987) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 45 min p. m. | L* > 38 | PSE | SCHARNER und SCHIEFER (1996) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 45 min p. m. | L* > 36 | PSE | SCHARNER et al. (1997) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 60 min p. m. | L* = 28,03 bis 41,15 | Schweinefleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften | MUCK (2000) |

**Tab. 5:** Spätpostmortale Grenzwerte der Farbmessung an Schweinefleisch

| Tierart | Messposition<br>Messzeitpunkt | Grenzwert | Aussage des Grenzwertes | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| ***Schwein*** | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m. | L* = 36,92 bis 48,38 | Schweinefleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften | MUCK (2000) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• *M. semi-membranosus*<br>• 24 h p. m. | L* > 56 | PSE | FELDHUSEN et al. (1987) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m. | L* < 51 | Fleisch guter Qualität | MUSSMANN et al. (1994) |
| | | L* = 51 bis 56 | Fleisch indifferenter Qualität | |
| | | L* > 56<br>b* > 4,3 | PSE | |

Fortsetzung **Tab. 5**

| Tierart | Messposition<br>Messzeitpunkt | Grenzwert | Aussage des Grenzwertes | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| **Schwein** | • *M. longissimus thoracis*<br>• 24 h p. m. | L* > 60,3<br>b* > 15,7 | PSE | VAN OECKEL et al. (1997) |
| | | L* < 56,2<br>b* < 15,0 | Schweinefleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften | |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m. | L* > 50 | PSE | SCHARNER und SCHIEFER (1996) |
| | • 24 h p. m. | L* > 58 | PSE | SCHWÄGELE (1993) |
| | | L* < 55 | handelsübliches Kotelett | |
| | | L* < 50 | handelsüblicher Schinken | |

Eine Farbmessung zur Feststellung des DFD-Zustandes an Schweine- oder Rindfleisch kann erst 24 Stunden nach der Schlachtung erfolgen (Tab. 6), wenn der End-pH-Wert erreicht ist und die Fleischfarbe sich stabilisiert hat (SCHWÄGELE, 1993).

**Tab. 6:** Grenzwerte der Farbmessung an Rindfleisch

| Tierart | Messposition<br>Messzeitpunkt | Grenzwert | Aussage des Grenzwertes | Literatur |
|---|---|---|---|---|
| ***Rind*** | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m. | L* < 34 | DFD | SCHWÄGELE (1993) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m. | L* > 34 | Rindfleisch guter Qualität | CMA (1991a) |
| | • 24 h p. m. | L* > 34 - 40 | Rindfleisch guter Qualität | TEMISAN und AUGUSTINI (1989) |

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Untersuchungen konnten OSTER und FEWSON (1990), aufgrund eines fließenden Übergangs der Farbwerte L*a*b* zwischen PSE-, Normal- und DFD-Fleisch, bei Schweinen keine Abgrenzung von Fleischqualitätsmängeln vornehmen.

Des Weiteren wird die Farbmessung an Fleisch vor allem zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet. Neben der Farbmessung an Fleisch sind auch Untersuchungen zur Farbmessung an Fett, zur Differenzierung des Ikterus bei Schlachttieren, vorgenommen worden (WINZIG, 2002). Eine Vielzahl an Studien zur Klärung von Einflussfaktoren auf die Fleischfarbe (SEIDEMAN et al., 1984; RENERRE, 1990) sowie auf spezifische Aspekte der Farbhaltung während Verkauf und Lagerung sind durchgeführt worden (FAUSTMAN und CASSENS, 1991; JAKOBSEN und BERTELSEN, 2000; JUNCHER et al., 2001).

#### 2.4.2.2 Standardisierung der Farbmessung an Fleisch

Durch Standardisierung einer Methode wird ein Vergleich zwischen den Ergebnissen verschiedener Labore oder Forschungsgruppen ermöglicht. Zudem ist die Standardisierung ein wichtiges Mittel der Qualitätssicherung innerhalb eines Labors (HONIKEL, 2000).

Die folgenden Empfehlungen für die Farbmessung an Fleisch wurden von HONIKEL (2000) erarbeitet. Das Fleisch sollte seinen End-pH-Wert erreicht haben. Der Muskel und die Messposition am Muskel müssen benannt werden. Eine Probendicke von mindestens 1,5 bis 2 cm ist einzuhalten. Die Lagertemperatur der Fleischprobe sollte unter + 3°C liegen. Bei längerer Lagerung hat eine Beschreibung der Bedingungen wie Temperatur, Beleuchtung und Verpackungsmaterial zu erfolgen. Die Farbmessung sollte am frischen Anschnitt erst nach Abschluss des „blooming“ (Farbaufhellung), nach 1 bis 2 Stunden, durchgeführt werden. Eine Messung der Fleischfarbe nach einer Wartezeit von 1 Stunde bei + 3°C wird empfohlen. In Bezug auf die Messgeräte und deren Einstellungen rät HONIKEL (2000) zur Verwendung des L*a*b*-Systems, der Lichtart $D_{65}$, des Beleuchtungs-Betrachtungssystems 45°/0° oder d/8° und zu einem Betrachtungswinkel von 10°. Weiterhin ist es günstig, Geräte mit möglichst großer Apertur und Glanzfalle zu benutzen. Die Aufwärmzeit des Messgerätes sollte abgewartet werden. Eine regelmäßige Kalibrierung ist durchzuführen. Die oben beschriebenen Vorbedingungen werden von MUCK (2000) für eine standardisierte Farbmessung an Schweinefleisch ebenfalls gefordert.

In der Literatur werden unterschiedliche Messzeitpunkte und Messpositionen (Muskeln) für die Farbmessung an Fleisch beschrieben. Bei Kalbfleisch wird die Farbmessung zum Zweck der Klassifizierung am *M. rectus abdominis* am Schlachtband 45 Minuten post mortem vorgenommen (Tab. 7).

**Tab. 7:** Empfohlene Messposition und -zeitpunkt für die Farbmessung an Kalbfleisch

| Tierart | Messposition-Muskel | Messzeitpunkt | Literatur |
|---|---|---|---|
| ***Kalb*** | *M. rectus abdominis* | 45 min p. m. | EIKELENBOOM et al. (1988); EIKELENBOOM et al. (1992); DENOYELLE und BERNY (1999); KLONT et al. (1999); HULSEGGE et al. (2001) |

Bei Schweinefleisch sind verschiedene Messzeitpunkte und -lokalisationen publiziert worden (Tab. 8). Am geeignesten erscheint dabei die Messung am *M. longissimus dorsi* zwischen letztem Brust- und erstem Lendenwirbel (MUCK, 2000; WENDT et al., 2000). MATZKE et al. (1992) und SCHWÄGELE (1993) empfehlen zur Fleischqualitätseinschätzung beim Schwein ebenfalls die Farbmessung am Kotelett zwischen 12. und 14. Rippe 24 Stunden post mortem.

**Tab. 8:** Empfohlene Messpositionen und -zeitpunkte für die Farbmessung an Schweinefleisch

| Tierart | Messposition-Muskel | Messzeitpunkt | Literatur |
|---|---|---|---|
| ***Schwein*** | | 45 - 60 min p. m. | CMA (1991b); VON WENZLAWOWICZ et al. (1996) |
| | | 24 h p. m. | CMA (1991b); SCHARNER und SCHIEFER (1996); VAN OECKEL et al. (1999); HIEGEMANN (2002) |

Fortsetzung **Tab. 8**

| Tierart | Messposition-Muskel | Messzeitpunkt | Literatur |
|---|---|---|---|
| ***Schwein*** | *M. longissimus dorsi* (Kotelett) | | MATZKE et al.(1992); SCHWÄGELE (1993); FELDHUSEN und REINHARD (1994); SCHARNER und SCHIEFER (1996); MUCK (2000); WENDT et al. (2000); HIEGEMANN (2002); ROSENVOLD und ANDERSEN (2003) |
| | *M. semi-membranosus* | | CHIZZOLINI et al. (1993); GARRIDO et al. (1994); VON WENZLAWOWICZ et al. (1996); DVORAK et al. (2001); HIEGEMANN (2002); ROSENVOLD und ANDERSEN (2003) |
| | *M. biceps femoris* | | CHIZZOLINI et al. (1996); ROSENVOLD und ANDERSEN (2003) |

Die Farbmessung an Rindfleisch wird fast ausschließlich 24 Stunden post mortem vorgenommen (CMA, 1991a; SCHWÄGELE, 1993; HOFFMANN, 2003). SCHWÄGELE (1993) empfiehlt zur Feststellung der Rindfleischfarbe eine Doppelmessung 24 bis 48 Stunden p. m. an einem frischen Anschnitt des *M. longissimus dorsi*. Die für das Rind beschriebenen Messlokalisationen sind in Tab. 9 detailliert dargestellt.

**Tab. 9:** Empfohlene Messpositionen für die Farbmessung an Rindfleisch

| Tierart | Messposition-Muskel | Literatur |
|---|---|---|
| ***Rind*** | *M. longissimus dorsi* (Roastbeef) | SCHWÄGELE (1993); FELDHUSEN et al. (1995a); BOAKYE und MITTAL (1996); FRICKH und SÖLKNER (1997); ABRIL et al. (2001); PAGE et al. (2001); HOFFMANN (2003) |
| | *M. semitendinosus* | FRICKH und SÖLKNER (1997); BEHRENDS et al. (2003) |
| | *M. semi-membranosus* | O`KEEFFE und HOOD (1981); BEHRENDS et al. (2003) |
| | *M. biceps femoris* | O`KEEFFE und HOOD (1981); BEHRENDS et al. (2003) |
| | *M. glutaeus medius* | O`KEEFFE und HOOD (1981); ARNOLD et al. (1992) |

#### 2.4.2.3 Farbmessverfahren und Messgeräte

Bei der Farbmessung werden drei Verfahren unterschieden: Gleichheits-, Dreibereichs- und Spektralverfahren (RICHTER, 1981; PRÄNDL et al., 1988a). Beim Gleichheitsverfahren wird mit dem bloßen Auge eine Farbe aufgesucht, die der zu bestimmenden Farbe entspricht. Die Farbmaßzahlen der Vergleichsfarbe müssen bekannt sein (DIN-Farbkarten). Diese Methode ist ungenau, da das menschliche Auge als Messgerät dient. Sie wird daher heute kaum noch angewandt (PRÄNDL et al., 1988a; DIN, 1993). Beim Dreibereichsverfahren werden die Farbmaßzahlen über eine photometrische Messung ermittelt. Dem Strahlungsempfänger sind dabei austauschbare Farbfilterkombinationen (rot, grün, blau) vorgeschaltet, durch die seine spektrale Empfindlichkeit dem Normalbeobachter angepasst wird (DIN, 1993). Beim Spektralverfahren werden die Farbmaßzahlen aus der spektralen Remission gewonnen. Die Remission wird über das gesamte sichtbare Spektrum in Abständen von 5 bis 10 nm ermittelt. Aus der Remissionskurve der Probe, bei der die Remissionswerte gegen die Wellenlängen des Lichts aufgetragen werden, erhält man die Farbwerte (RICHTER, 1981).

In wissenschaftlichen Versuchen sind eine Vielzahl verschiedener Farbmessgeräte zur Bestimmung der Fleischfarbe benutzt worden. Verwendung fanden der Elrephomat DFC 5 von Zeiss (STIEBING und KLETTNER, 1980), ein Dreibereichsfilterphotometer, das HunterLab (VAN OECKEL et al., 1999), ein Zweistrahl-Dreibereichsfilterphotometer, das Göttinger Fotometer (STEINHAUF et al., 1964; STOLLE, 1987), ein Farbhelligkeitsmessgerät sowie verschiedene Minolta Chroma-Meter (FELDHUSEN et al., 1987; OSTER und FEWSON, 1990), Dreibereichsphotometer. In einzelnen Untersuchungen sind weitere Messgeräte, z. B. das Helligkeitsmessgerät Opto-Star, verwendet worden, die sich aber nicht durchsetzten (HÖRETH und DOBROWOLSKI, 1994).

Früher wurde zur Helligkeitsmessung an Schweinefleisch im Rahmen der praktischen Qualitätsprüfung vor allem das Göttinger Fotometer angewendet (FELDHUSEN et al., 1987; OSTER und FEWSON, 1990). Das Göfo-Gerät hat den Nachteil, dass eine häufige Kalibrierung notwendig ist und Daten verschiedener Geräte nicht vergleichbar sind (FELDHUSEN et al., 1987). In den meisten neueren Publikationen wird daher die Farbmessung mit dem Minolta Chroma-Meter (CR-100

bis CR-400) beschrieben (FELDHUSEN et al., 1987; RÖDEL, 1991b; MUCK, 2000; HULSEGGE et al., 2001; HIEGEMANN, 2002). Das Minolta Chroma-Meter ist ein Dreibereichsmessgerät. Durch das Auslösen eines Messvorgangs wird von der Xenon-Blitzlampe ein Lichtblitz der Lichtart $D_{65}$ emittiert. Dabei erfolgt die Aussendung des Lichtes diffus, d. h. die Probe an der Messöffnung wird aus allen Richtungen gleichmäßig beleuchtet. Vom Messempfänger, bestehend aus 6 Silizium-Photodioden, wird ausschließlich das von der Probe senkrecht reflektierte Licht gemessen. Man bezeichnet diese von der CIE empfohlene Messgeometrie auch als d/0°. Aus dem reflektierten Licht, das vom Messempfänger aufgenommen wird, errechnet ein Mikroprozessor die Farbwerte L*a*b*. Die Messöffnung des Minolta Chroma-Meter CR-400 hat einen Durchmesser von 8 mm. Über diese Fläche ermittelt das Gerät einen Mittelwert für die Farbwerte. Das Gerät verfügt über eine Glanzfalle und wird auf Basis des 2° Normalbeobachters eingesetzt. Die Farbwerte können graphisch als spektrale Remissionskurve oder numerisch in Form der Normfarbwerte X, Y, Z, der Normfarbwertanteile Y, x, y oder in Form von L*, a*, b* und weiteren Farbsystemen angezeigt werden (WINZIG, 2002). Alternativ stehen zur Farbmessung von der Firma Konica-Minolta auch Spektralphotometer, wie das Minolta CM-2002, zur Verfügung (MUCK, 2000).

Eine weitere Möglichkeit der objektiven Farbbeschreibung ist die Verwendung einer Kamera mit angeschlossenem Computer. Die Kamera nimmt ein Bild von der Messposition am Muskel auf. Der Computer errechnet aus dem Photo die Farbmaßzahlen. Vorteilhaft an diesem Verfahren ist die Auswertung einer größeren Fläche und die bessere Berücksichtigung von Inhomogenitäten gegenüber dem Minolta Chroma-Meter (LU et al., 2000; O`SULLIVAN et al., 2003).

#### 2.4.2.4 Durchschnittswerte der Fleischfarbe für Schweine-, Rind- und Kalbfleisch aus der Literatur

In der Literatur angegebene Durchschnittswerte für L*, a*, b* sind aufgrund der Variabilität der Messungen (Zeitpunkt, Messposition, Messgerät) kritisch zu beurteilen. Berücksichtigt werden in der nachfolgenden Tab. 10 vor allem Ergebnisse aus Studien, die mit einem Minolta Chroma-Meter durchgeführt wurden.

**Tab. 10:** Durchschnittswerte der Fleischfarbe für Schweine-, Rind- und Kalbfleisch

| Tierart | Messposition<br>Messzeitpunkt | Ermittelte Farbwerte<br>L*, a*, b* | Literatur |
|---|---|---|---|
| ***Schwein*** | • *M. longissimus dorsi*<br>• 45 min p. m. | L* = 31,59<br>a* = 3,51<br>b* = 14,32 | SCHARNER et al. (1997) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m.<br>• | L* = 44,40 | SCHARNER und SCHIEFER (1996) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 60 min p. m. | L* = 43,26<br>a* = -1,49<br>b* = 9,42 | MUCK (2000) |
| | • *M. longissimus dorsi*<br>• 24 h p. m. | L* = 49,60<br>a* = 0,12<br>b* = 10,87 | MUCK (2000) |
| | • *M. semi-membranosus*<br>• 24 h p. m. | L* = 46,23<br>a* = 7,12<br>b* = 4,28 | GARRIDO et al. (1994) |

Fortsetzung **Tab. 10**

| **Tierart** | **Messposition**<br>**Messzeitpunkt** | **Ermittelte Farbwerte**<br>**L*, a*, b*** | **Literatur** |
|---|---|---|---|
| ***Kalb*** | • *M. rectus abdominis*<br>• 45 min p. m. | L* = 49,8<br>a* = 15,0<br>b* = 3,1 | EIKELENBOOM et al. (1992) |
| ***Rind*** | • *M. longissimus dorsi*<br>• ca. 17 h p. m. | L* = 37,59<br>a* = 20,60<br>b* = 8,58 | HOFFMANN (2003) |

# 3 MATERIAL UND METHODEN

## 3.1 Material

### 3.1.1 Probenmaterial der Vorversuche

Die Untersuchungen des Vorversuchs I wurden am Zerlegeband eines EU-zugelassenen süddeutschen Schlacht- und Zerlegebetriebs am *M. longissimus dorsi* von 255 Jungbullen durchgeführt. Dabei blieben die Faktoren Herkunft, Rasse und Gewicht, im Gegensatz zum Hauptversuch, unberücksichtigt. Im Vorversuch II wurde ein Teil des Probenmaterials (Roastbeef Nr. 1, 2, 6, 7, 11, 12) aus dem Hauptversuch verwendet (s. 3.1.2).

### 3.1.2 Probenmaterial des Hauptversuchs

Die eigenen Untersuchungen an einem EU-zugelassenen süddeutschen Schlacht- und Zerlegebetrieb wurden am *M. longissimus dorsi* (Roastbeef) von Jungbullen (Tab. 11) vorgenommen. Insgesamt wurden 30 Roastbeef (Nr. 1 bis 30) in die Studie einbezogen.

**Tab. 11:** Charakteristika des Probenmaterials

| Kategorie | Rasse | Betäubung | Entblutung | Schlachtalter | Schlacht-gewicht |
|---|---|---|---|---|---|
| Jungbulle | Fleck-vieh | Bolzen-schuss | Bruststich; hängend | < 24 Monate | < 400 kg |

Die Tierkörper durchliefen im Anschluss an die Schlachtung zunächst für 45 Minuten einen Schockkühlungstunnel mit einer Temperatur von - 10°C, dann schloss sich eine Kühlung bei + 1 bis + 6°C Raumtemperatur an.

Am Tag nach der Schlachtung erfolgte die routinemäßige Zerlegung der Schlachttierkörper (Kerntemperatur + 14 bis + 15°C) im gleichen Betrieb bei einer maximalen Raumtemperatur von + 12°C. Das Roastbeef wurde ausgelöst und dem normalen

Ablauf des Schlacht- und Zerlegebetriebs folgend hergerichtet. Die Probengewinnung und -lagerung ist in Abb. 11 schematisch dargestellt. Im Zerlegebereich wurden aus dem Mittelteil des *M. longissimus dorsi* (Roastbeef) am Tag der Zerlegung 10 Scheiben mit einer Breite von 3 cm herausgeschnitten. Die Fleischscheiben wurden in Schrumpfbeuteln OSB 3050 (Fa. Cryovac/Sealed Air, Norderstedt) vor Ort vakuumiert. Eine Scheibe diente für die Untersuchungen an Tag 0 und die übrigen 9 Proben wurden dunkel bei + 0,5 bis + 2°C im Kühlraum des Institutes für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs, LMU München, gelagert. Über einen Zeitraum von 8 Wochen wurde pro Woche, am gleichen Wochentag, eine Fleischprobe pro Roastbeef gemäß Randomisierungsplan (Tab. 36, Anhang) entnommen, ausgepackt und untersucht. Die neunte Fleischscheibe stand als Reservelagerprobe zur Verfügung.

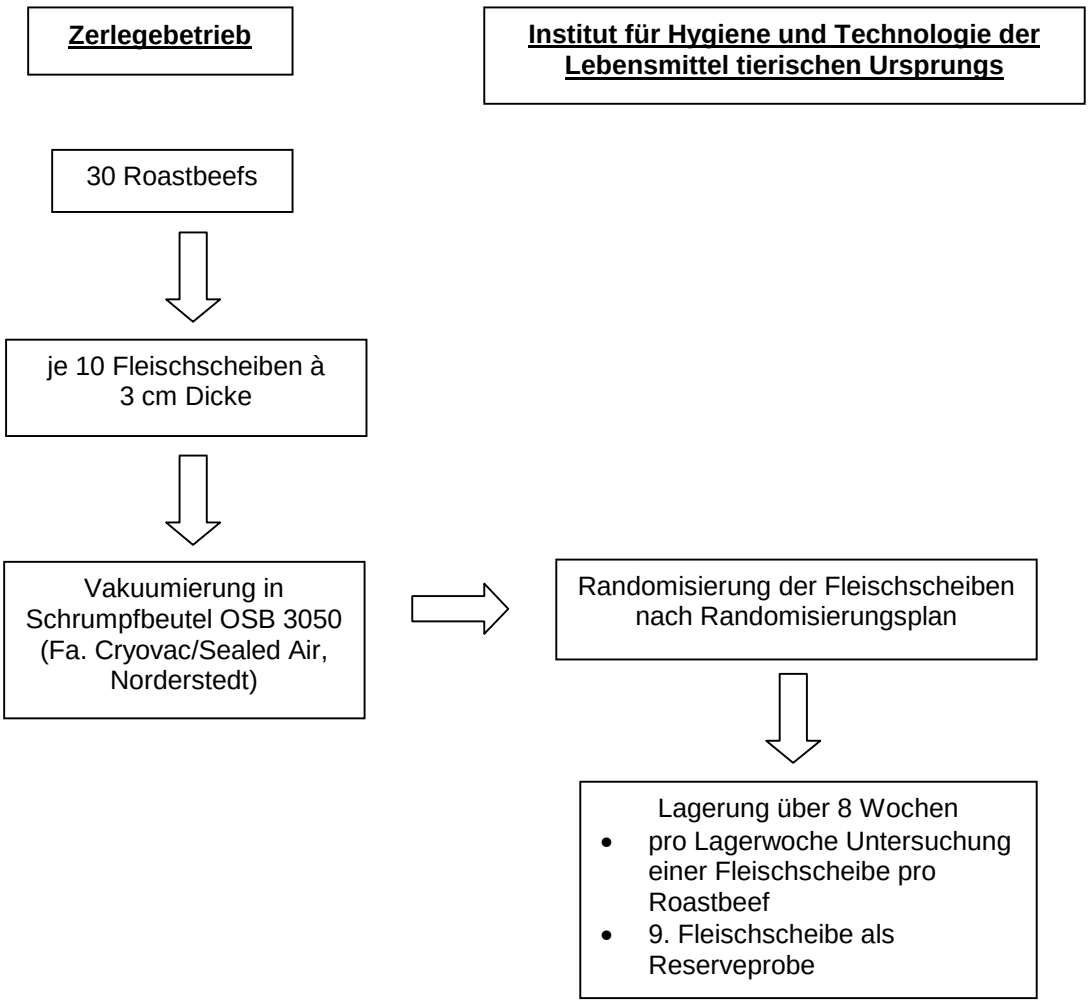


**Abb. 11:** Probengewinnung und –lagerung Hauptversuch

### 3.1.3 Verbrauchsmaterialien der mikrobiologischen Untersuchungen

Verdünnungslösung:

- pro 1000 ml Aqua dest. 1 g Pepton aus Fleisch und 8,5 g NaCl
- entsprechend der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB L 06.00-16 (nach ISO 6887-1)

**Bestimmung der aeroben Keimzahl bei + 30°C:**

Nährboden:

- Plate-Count-Agar (Fa. Merck, Darmstadt)
- entsprechend der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB L 06.00-18

**Bestimmung von Laktobazillen:**

Nährboden:

- Laktobazillus-Agar nach de Man, Rogosa und Sharpe, pH-Wert 5,0 (Fa. Merck, Darmstadt)
- entsprechend der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB L 06.00-31

**Bestimmung von aerob wachsenden Milchsäurebakterien:**

Nährboden:

- Laktobazillus-Agar nach de Man, Rogosa und Sharpe, pH-Wert 5,7 (MRS-Nährboden modifiziert) (Fa. Merck, Darmstadt)

### 3.1.4 Verbrauchsmaterialen der physikalischen Untersuchungen

**Messung des pH-Wertes:**

Chemikalien:

1. Pufferlösung gebrauchsfertig pH 7,00 (Fa. Merck, Darmstadt)
2. Pufferlösung gebrauchsfertig pH 4,00 (Fa. Merck, Darmstadt)
3. KCl-Lösung (3 mol/l)
4. Ethanol

### 3.1.5 Geräte und Hilfsmittel

**Geräte für mikrobiologische Untersuchungen**

- Stomacher 400 Circulator (Fa. Seward, Worthing)
- Whitley Automatic Spiral Plater (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte)
- Brustschrank B 6200 (Fa. Heraeus, Hanau)
- Brutschrank B 6420 (Fa. Heraeus, Hanau)

**Geräte für physikalische Untersuchungen**

Farbmessung:

- Minolta Chroma-Meter CR-400 (Fa. Konica-Minolta Europe, Langenhagen)
- Software SpectraMagic NX (Fa. Konica-Minolta Europe, Langenhagen)

Messung des pH-Wertes:

- Grindomix GM 200 (Fa. Retsch, Haan)
- Labor-pH-Meter 766 (Fa. Knick, Berlin)
- Einstabmesskette Typ SE 100 (Fa. Knick, Berlin)

## 3.2 Methoden

### 3.2.1 Anlage der Versuche

#### 3.2.1.1 Vorversuche

In Vorversuch I wurden von 255 Jungbullen-Roastbeef, unabhängig von Rasse, Gewicht und Herkunft, die Farbwerte L*a*b* erfasst. Während des Vorversuches I wurde im Zerlegebetrieb, unmittelbar im Anschluss an die Zerlegung des Roastbeef und vor der Vakuumierung, die Farbe an einer Stelle eines frischen Anschnittes der Querseite mit dem Minolta Chroma-Meter CR-400 gemessen. Dabei erhielt die Anschnittsfläche des Roastbeef 10 Minuten bei + 12°C die Möglichkeit zur Anreicherung mit Sauerstoff. Zwischen den einzelnen Messungen erfolgte eine Reinigung der Auflagefläche des Messkopfes mit Ethanol.

Der Vorversuch II wurde an 6 Roastbeefs (Nr. 1, 2, 6, 7, 11, 12), die anschließend in den Hauptversuch eingingen, durchgeführt. Im Rahmen des Vorversuches II wurden an den Roastbeefs die Oberflächenfarbe und die Farbe eines frischen Anschnitts nach einstündigem „blooming“ bei + 3 bis + 4°C an allen 10 Scheiben ermittelt, um eventuelle Farbunterschiede in verschiedenen Abschnitten des *M. longissimus dorsi* aufzufinden. Dabei wurden an jeder Scheibe sowohl an der Oberfläche, als auch in der Tiefe 3 Stellen zur Bestimmung der Farbwerte gemessen. Aus den Werten der drei Stellen wurden pro Fleischscheibe einmal das arithmetische Mittel der Farbwerte L*a*b* für die Oberfläche und einmal für den Anschnitt berechnet.

#### 3.2.1.2 Hauptversuch

Im Hauptversuch wurde jede Lagerwoche eine Fleischscheibe pro Roastbeef den in Abb. 12 schematisch dargestellten Untersuchungen unterzogen. Nach Öffnen der Vakuumverpackung und Entnahme der Fleischprobe wurden zunächst an der Oberfläche destruktiv Stanzproben für die mikrobiologischen Untersuchungen (Gesamtkeimzahl, Laktobazillen, Milchsäurebakterien) in Anlehnung an die EU-Verordnung 2073/2005 genommen. Daran anschließend wurde an einer

Querseite der Fleischprobe ein frischer Anschnitt durch Abschneiden einer ca. 2 bis 4 mm dicken Fleischscheibe geschaffen. Um eine korrekte Farbausprägung zu gewährleisten, wurde zur Aufsättigung der Probe mit Sauerstoff ein 60-minütiges „blooming“ bei + 3 bis + 4℃ im Kühlhaus durchgeführt. Dann folgte die Farbmessung an Oberfläche und Anschnitt nach dem in Vorversuch II beschriebenen Schema (s. 3.2.1.1). Nach abgeschlossener Farbmessung wurde durch ein geschultes Prüferpanel eine sensorische Untersuchung an der Fleischprobe vorgenommen. Abschließend wurde die Probe homogenisiert und der pH-Wert gemessen.

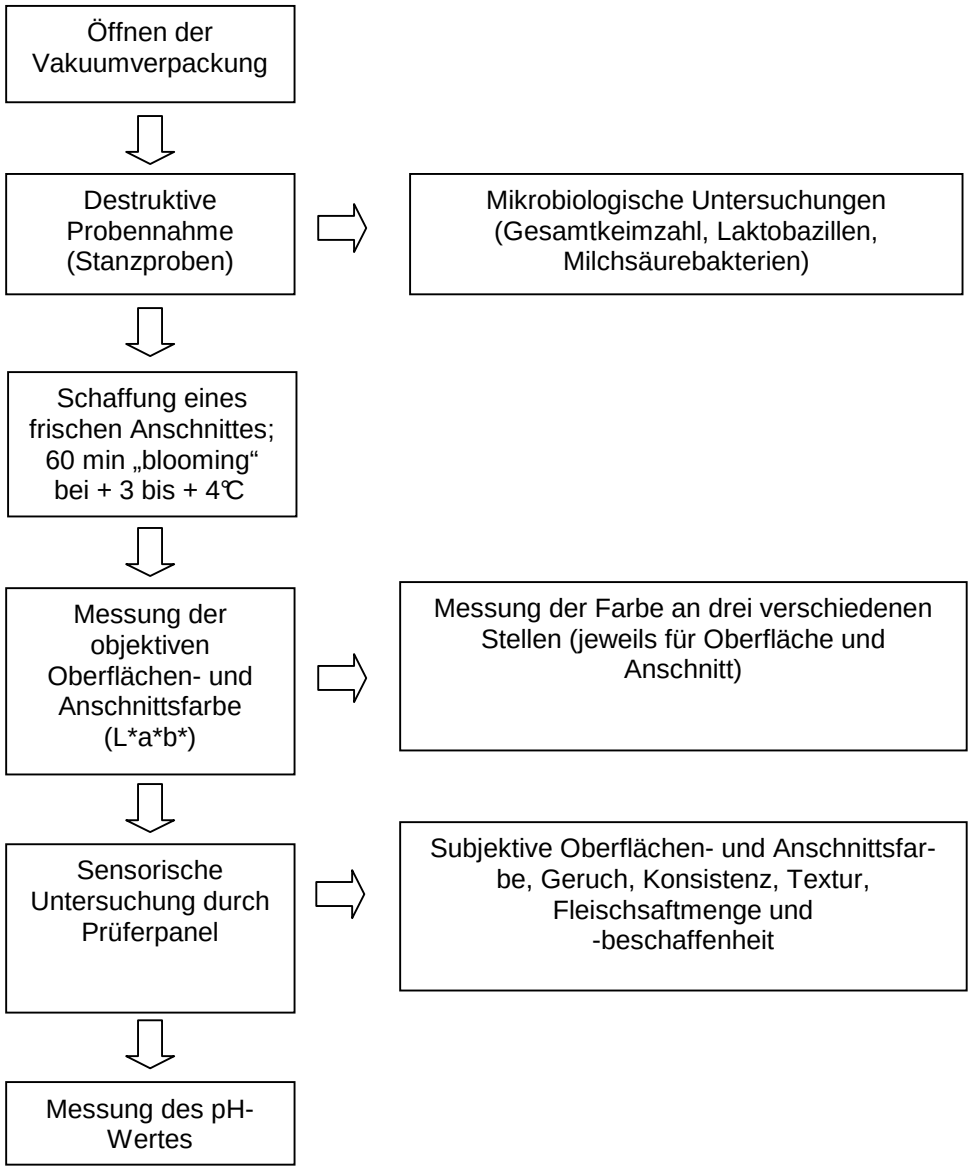


**Abb. 12:** Arbeitsschritte des Hauptversuches

### 3.2.2 Physikalische Untersuchungen

#### 3.2.2.1 Farbmessung

Die Farbmessung erfolgte mit einem Minolta Chroma-Meter CR-400 (Fa. Konica Minolta Europe, Langenhagen). Vor jedem Messtag wurde mittels eines Weißstandards eine Kalibrierung des Messgerätes zur Kompensation von Bauteilabweichungen und Verschleißerscheinungen vorgenommen.

Die Farbmessung mit dem Minolta Chroma-Meter CR-400 erfolgte entsprechend der DIN 5033 Teil 6 (1993) nach dem Dreibereichsverfahren. Das Minolta Chroma-Meter CR-400 ist ein Dreibereichsmessgerät, d. h. dem Empfänger sind zum Erreichen der spektralen Empfindlichkeit des „Normalbeobachters“ trichromatische Farbfilterkombinationen (rot, blau, grün) vorgeschaltet. Die spektrale Empfindlichkeit des Minolta Chroma-Meters CR-400 entspricht der des 2° Normalbeobachters CIE 1931 (Tab. 12). Als Lichtart wurde die Normlichtart $D_{65}$ verwendet, da sie der spektralen Zusammensetzung des mittleren natürlichen Tageslichtes inklusive des UV-Anteils entspricht.

**Tab. 12:** Einstellungen und technische Daten des Minolta Chroma-Meter CR-400

| **Minolta Chroma-Meter CR-400** | Technische Vorgaben | Einstellung während der Messungen |
|---|---|---|
| Lichtquelle | Xenon-Blitzlampe | |
| Messmindestabstand | 3 Sekunden | |
| Betriebstemperatur/ Luftfeuchtigkeit | 0 bis 40℃/ weniger als 85% relative Luftfeuchtigkeit bei 35℃ | |
| Messgeometrie | d/0° (diffuse Beleuchtung, Betrachtungswinkel von 0°) | d/0° |
| Normalbeobachter | 2° farbmetrischer Normalbeobachter (CIE 1931) | 2° Normalbeobachter |
| Lichtart | Normlichtart C oder $D_{65}$ | $D_{65}$ |
| Farbräume | XYZ; Yxy; L*a*b*; Hunter Lab; L*C*h*; Munsell; CMC; CIE 1994; $Lab_{99}$; $LCh_{99}$; CIE 2000 | L*a*b* |
| Anzahl der Messungen für einen automatischen Durchschnitt | 1 - 30 Messungen | 3 Messungen |
| Messauslösung | automatisiert oder manuell | manuell |

Die Farbmessung während der Vorversuche im Zerlegebetrieb wurde ausschließlich mit dem Messkopf des Minolta Chroma-Meters CR-400 vorgenommen (Abb. 13). Die Ergebnisse wurden vom Messkopf abgespeichert und im Anschluss mit der zugehörigen Software SpectraMagic NX (Fa. Konica Minolta Europe, Langenhagen) bearbeitet. Die Farbmessung während des Lagerversuchs im Labor erfolgte in Form einer manuellen Mittelwertmessung, wobei der Messkopf an den Computer angeschlossen war (Abb. 14). Bei der Mittelwertmessung errechnete die Software aus den Einzelfarbwerten für je drei verschiedene Messstellen automatisch das arithmetische Mittel für die Oberflächen- bzw. die Anschnittsfarbe.

**Abb. 13:** Farbmessung ausschließlich mit dem Messkopf Minolta Chroma-Meter CR-400 (Vorversuche)

**Abb. 14:** Farbmessung im Labor, Messkopf Minolta Chroma-Meter CR-400 mit der Software SpectraMagic NX verbunden (Lagerversuch)

#### 3.2.2.2 Messung des pH-Wertes

Die Messung der pH-Wertes wurde in Anlehnung an das Untersuchungsverfahren L 06.00-2 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB durchgeführt.

Die Messung des pH-Wertes der Fleischprobe erfolgte mit einem Labor-pH-Meter 766 (Fa. Knick, Berlin) und einer Einstabmesskette Typ SE 100 (Fa. Knick, Berlin). Zum Zweck der pH-Wert-Bestimmung wurde die Fleischprobe mit einem Grindomix GM 200 (Fa. Retsch, Haan) homogenisiert. Es wurde die Kettenspannung zwischen einer pH-Glaselektrode und einer Bezugselektrode, die in die Fleischprobe eingetaucht sind, gemessen. Die pH-Glaselektrode und die Bezugselektrode sind als Einstabmesskette kombiniert und besitzen einen integrierten Temperaturfühler (Einstabmesskette Typ SE 100). Das Labor-pH-Meter 766 führte automatisch eine Zweipunkt-Kalibrierung bei Zimmertemperatur (+ 20°C) durch. Als Puffersatz für die Kalibrierung fand der Puffersatz 02 (Fa. Merck, Darmstadt) mit gebrauchsfertiger Pufferlösung pH 4,00 und pH 7,00 Verwendung. Jede Bestimmung des pH-Wertes wurde doppelt durchgeführt und aus den Einzelergebnissen der Mittelwert gebildet. Die Zwischenreinigung der Messelektrode während der Messungen erfolgte durch Abspülen mit Aqua dest. und Ethanol. Am Ende des Messdurchgangs wurde die Einstabmesskette mit Ethanol und Aqua dest. gereinigt und in KCl-Lösung verwahrt.

### 3.2.3 Mikrobiologische Untersuchungen

#### 3.2.3.1 Probennahme

Die mikrobiologische Probennahme erfolgte destruktiv von der Oberfläche der Fleischproben. In Anlehnung an das in der EU-Entscheidung 2001/471/EG und EU-Verordnung 2073/2005 beschriebene, destruktive Verfahren zur bakteriologischen Untersuchung von Schlachtkörperoberflächen wurden von der Oberfläche der Fleischscheibe 2 Stanzproben mit einer Gesamtfläche von 10 $cm^2$ (ca. 5 g) gewonnen. Dabei wurde eine sterile Stanze mit einem Durchmesser von 2,53 cm an zwei verschiedenen Stellen zur Entnahme der Gewebeproben eingesetzt. Die derart vorgestanzten Proben wurden anschließend mit steriler Schere und Pinzette von der

Unterlage der jeweiligen Fleischscheibe abgelöst und in einen keimfreien Kunststoffbeutel verbracht. Die Stanzproben wurden im Labor gemäß Untersuchungsmethode L 06.00-16 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB weiterbehandelt. Zuerst erfolgte die Herstellung der 1:10 Verdünnung. Zu diesem Zweck homogenisierte man die Stanzproben zusammen mit 90 ml der sterilen Verdünnungslösung im Stomacher 400 Circulator (Fa. Seward, Worthing) für 30 Sekunden.

#### 3.2.3.2 Bestimmung der aeroben Gesamtkeimzahl bei + 30 ℃

Von der 1:10 verdünnten Probe wurde im Spatelverfahren 1 ml auf eine PC-Agar-Platte pipettiert und mit einem sterilen Spatel gleichmäßig ausgespatelt. Dieses sogenannte Spatelverfahren erfolgte entsprechend dem Untersuchungsverfahren L 06.00-18 aus der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB.

Parallel wurden mit Hilfe des so genannten „Spiralplaters“ Whitley Automatic Spiral Plater (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte) 50 µl der verdünnten Probe im Spiralverfahren auf eine zweite PC-Agar-Platte aufgetragen. Bei der Spiral-Plattierung wird durch Unterdruck die verdünnte Probenlösung in eine Nocken-aktivierte Spritze eingesogen. Die Spritze bringt die Probenflüssigkeit in einer Spiralspur auf die Oberfläche der PC-Agar-Platte auf. Von der Mitte zur Außenseite der Platte lagert die Spritze abnehmende Mengen der Probenflüssigkeit ab. Die fortlaufende Abnahme der mikrobiellen Last bewirkt, dass Größenordnungen von $4 \times 10^2$ bis $4 \times 10^5$ KbE/ml auf einer Agarplatte mit 10 cm Durchmesser zählbar sind. Dadurch entfallen die dekadischen Verdünnungsreihen, die im konventionellen Keimzählverfahren notwendig sind.

Beide PC-Agar-Platten wurden vor der Bebrütung bei Raumtemperatur leicht angetrocknet und anschließend bei + 30℃ aerob für eine Dauer von 48 Stunden im Brutschrank B 6200 (Fa. Heraeus, Hanau) bebrütet.

Die Auswertung erfolgte auf dem PC-Agar, der mittels Spatelverfahren beimpft worden war, durch Auszählen der Kolonien. Die Zahl der koloniebildenden Einheiten (KbE) pro ml wurde mit Hilfe folgender Formel (Untersuchungsverfahren L 06.00-18 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB) errechnet:

$$\mathbf{c = \sum c \,/\, n_1 \times 1 + n_2 \times 0{,}1}$$

c = gewichteter Mittelwert der Koloniezahlen
∑c = Summe der Kolonien aller Platten beider Verdünnungsreihen, die zur Berechnung herangezogen werden
$n_1$ = Anzahl der Platten der niedrigsten auswertbaren Verdünnungsstufe
$n_2$ = Anzahl der Platten der nächsthöheren Verdünnungsstufe

Beim PC-Agar, auf den das Probenmaterial mittels Spiralverfahren aufgebracht worden war, wurde die Auswertung im Auszählverfahren mit einer speziellen Schablone (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte), dargestellt in Abb. 15, vorgenommen. Hierzu wurde über der Agarplatte mit einem Durchmesser von 10 cm die Auszählschablone zentriert.

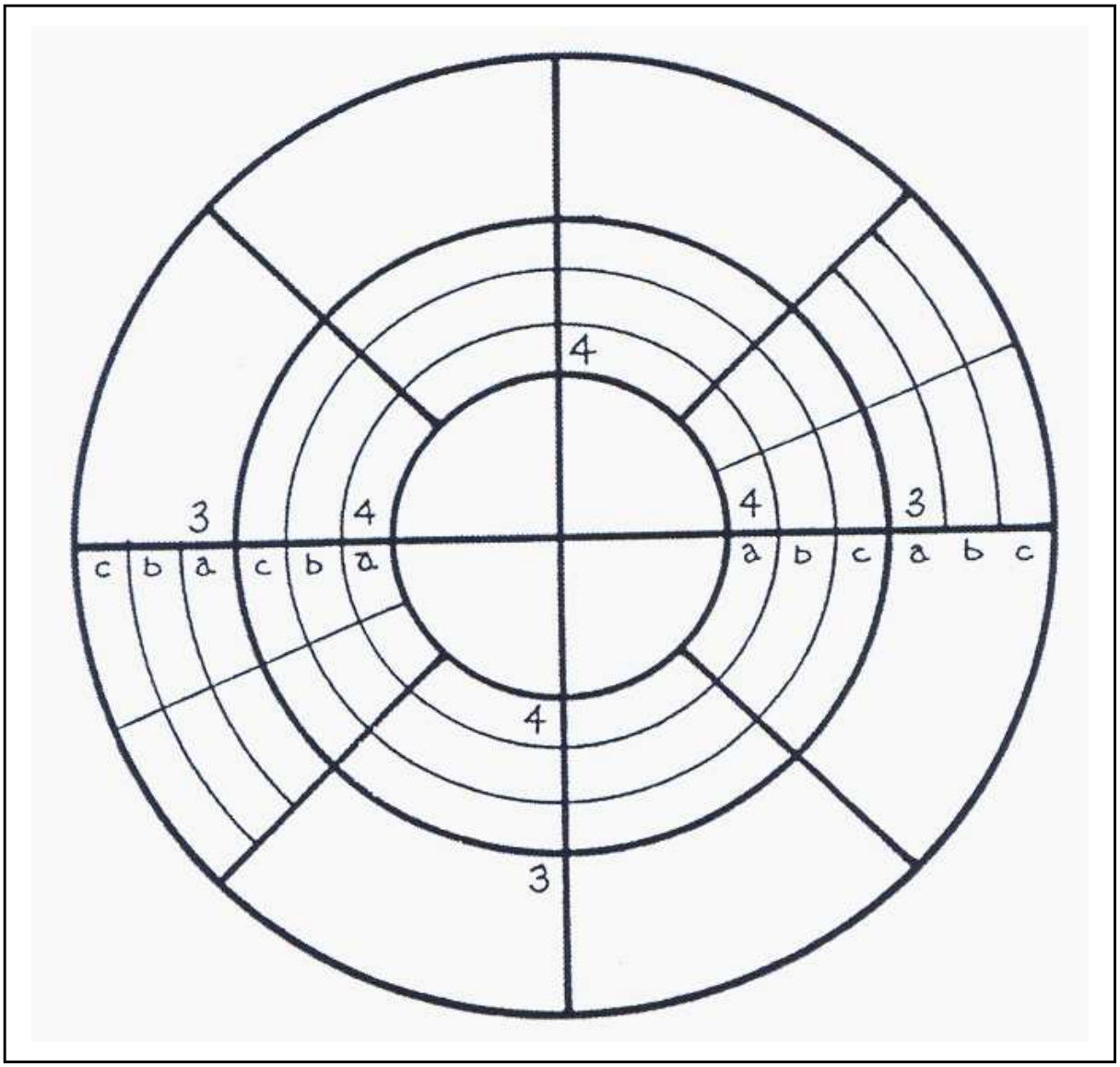


**Abb. 15:** Auszählungsschablone (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte)

Jeder markierte Bereich der Schablone weist auf ein konstantes Probenvolumen, das auf der Spiralplatte abgelagert wurde, hin. Die Zuordnung der einzelnen Schablonensegmente zu den zugehörigen Probenvolumina kann Abb. 16 entnommen werden.

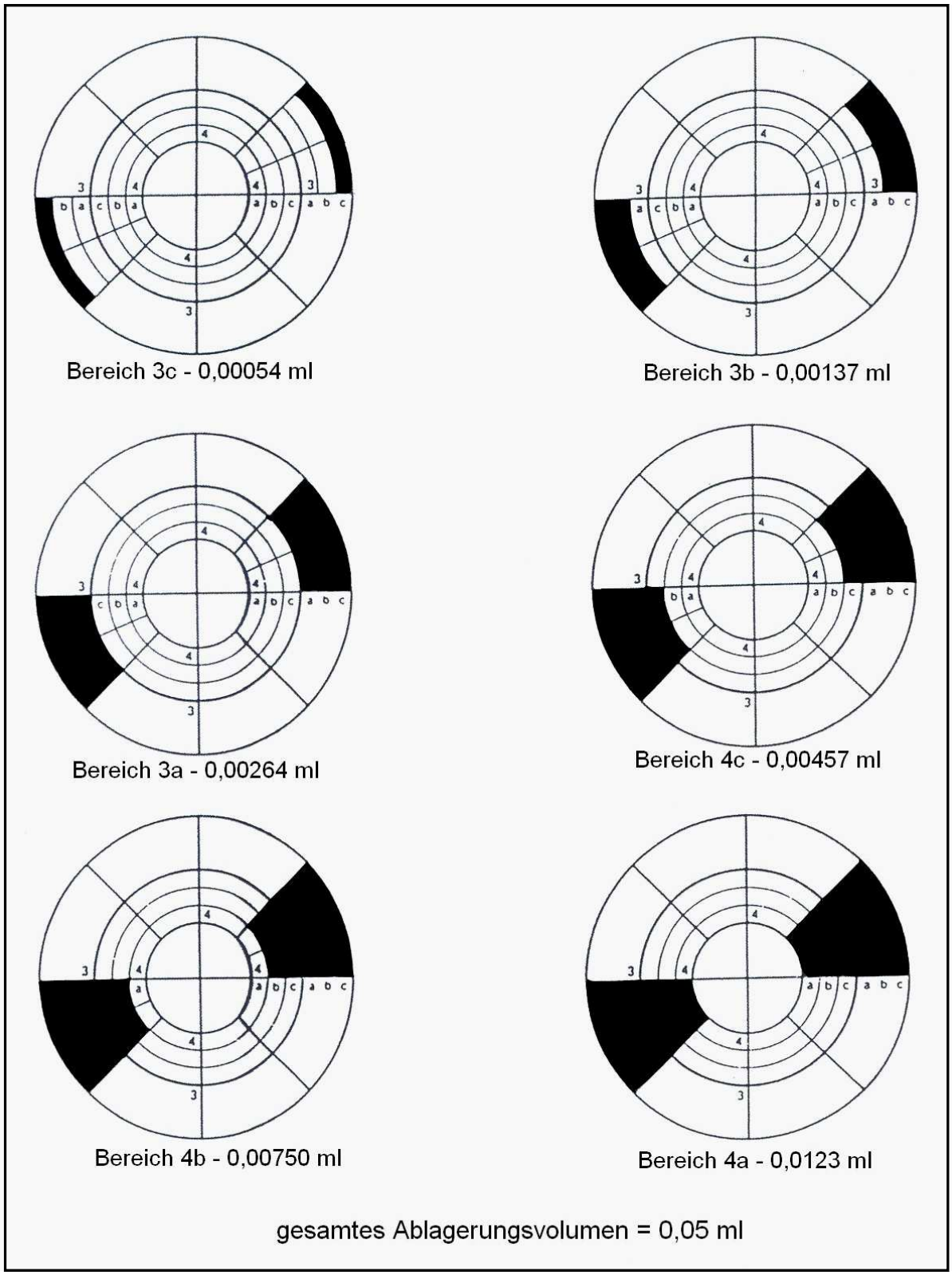


**Abb. 16:** Probenvolumen pro Auszählungsbereich (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte)

Zur Auszählung wurde folgende Methodik verwendet:

1. Auszählung bei über 20 Kolonien im Bereich 4a

Die Zählung startete am äußeren Rand, im Bereich 3c, und erfolgte weitergehend zur Mitte hin, bis 20 Kolonien gezählt worden waren. Der ausgezählte Bereich (Anzahl der Ringe) wurde notiert und auf dem gegenüberliegenden Sektor der Schablone wurde im identischen Bereich (gleiche Anzahl an Ringen) die Koloniezahl ermittelt.

2. Auszählung bei unter 20 Kolonien im Bereich 4a

Es wurde eine Gesamtzählung durchgeführt, d.h. alle Kolonien, die sich auf der Platte befanden, wurden ausgezählt.

Die Koloniezahl insgesamt (KbE/ml) errechnete sich, indem die Koloniezahlen der beiden ausgezählten Segmente addiert wurden bzw. die Gesamtkoloniezahl verwendet wurde und diese durch die Volumenkonstante, die zu dem ausgezählten Bereich gehört (Abb. 16), geteilt wurde.

Nach dem Untersuchungsverfahren L 06.00-40 aus der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB erfolgt die Berechnung der Oberflächenkeimzahl (KbE/$cm^2$) durch Multiplikation des gewichteten Mittelwertes der Koloniezahlen c mit dem Verdünnungsfaktor.

#### 3.2.3.3 Bestimmung der Laktobazillen

Zur Bestimmung der Laktobazillen wurde die Probensuspension nach den im Abschnitt 3.2.3.2 beschriebenen Spatel- und Spiralverfahren ausgestrichen. Die Anzucht erfolgte auf dem Laktobazillus-Agar nach de Man, Rogosa und Sharpe (pH-Wert 5,0). Die beimpften MRS-Agar-Platten wurden bei + 30°C anaerob über 48 Stunden im Brutschrank B 6200 (Fa. Heraeus, Hanau) bebrütet.

Die Auswertung erfolgte durch Auszählung der Kolonien mit typischer Morphologie. Im Zweifelsfalle wurde die Katalase-Reaktion zur Bestätigung herangezogen. Die Berechnung der Laktobazillenanzahl (KbE/$cm^2$) erfolgte analog zur Bestimmung der aeroben Keimzahl bei + 30°C (s. 3.2.3.2).

#### 3.2.3.4 Bestimmung von aerob wachsenden Milchsäurebakterien

Zur Bestimmung der aerob wachsenden Milchsäurebakterien wurde die Probensuspension nach den im Abschnitt 3.2.3.2 beschriebenen Spatel- und Spiralverfahren ausgestrichen. Die Anzucht erfolgte auf einem modifizierten Laktobazillus-Agar nach de Man, Rogosa und Sharpe (pH-Wert 5,7) aerob bei + 37°C für eine Dauer von 48 Stunden im Brutschrank B 6420 (Fa. Heraeus, Hanau).

Die Platten wurden durch Auszählung typischer Kolonien ausgewertet. Die Berechnung der Anzahl an aerob wachsenden Milchsäurebakterien (KbE/$cm^2$) fand analog zur Bestimmung der aeroben Keimzahl bei + 30°C statt (s. 3.2.3.2).

### 3.2.4 Sensorische Untersuchung

Ein geschultes Prüferpanel, welches sich aus drei wechselnden Prüfern (mindestens ein Prüfer mit DLG-Prüferpass) zusammensetzte, führte eine sensorische Untersuchung der Rindfleischprobe durch. Da die sensorische Beurteilung ausschließlich an der rohen Fleischscheibe erfolgte, waren die zu beurteilenden Kriterien eingeschränkt.

Die jeweilige Probe wurde in Bezug auf Fleischfarbe, Geruch, Textur, Konsistenz, Fleischsaftmenge und -beschaffenheit sensorisch beurteilt. Bei der Beschreibung der Fleischfarbe wurde zwischen Farbe der Fleischoberfläche und Farbe des frischen Anschnitts differenziert. Die beschreibenden sensorischen Beurteilungen wurden codiert. Dies bedeutet für jeden sensorischen Parameter wurde jeweils ein „Sollwert“ bzw. eine erwartete, optimale Ausprägung festgelegt und diese mit dem Wert 1 belegt. Abweichungen vom Soll wurden nach dem Grad des Unterschieds mit höheren Werten bezeichnet. Aufgrund der vielen Beschreibungen für die Parameter Oberflächenfarbe, Anschnittsfarbe und Geruch wurde für diese zusätzlich eine Bewertung nach der Stärke der Abweichung vorgenommen. Der Codierungsplan ist als Tab. 37 im Anhang aufgeführt.

### 3.2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Bearbeitung des erhobenen Datenmaterial erfolgte mit Hilfe des Statistik-Programms SPSS Version 13.0 (Fa. SPSS Inc., Chicago). Da die objektive Fleischfarbe L*a*b* eine dreidimensionale Größe ist, wurden multivariate Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) zur Prüfung der Signifikanz verwendet. Weiterhin wurden durch Tests der Zwischensubjekteffekte die Einzelbeziehungen der drei Farbwerte L*, a* und b* mit anderen Parametern auf Signifikanz geprüft.

# 4 ERGEBNISSE

## 4.1 Ergebnisse der Vorversuche

### 4.1.1 Vorversuch I (Farbmessung in der Zerlegung)

Im Vorversuch I wurde die Farbe des Roastbeefs (*M. longissimus dorsi*) von 255 Jungbullen am Tag der Zerlegung (15 bis 20 h p. m.) mit einem Minolta Chroma-Meter CR-400 gemessen. Ziel des Vorversuches I war es Grunddaten für die Farbwerte des Roastbeefs in der Zerlegung zu ermitteln. Die Farbmessung fand an einem frischen Anschnitt einer Querseite statt, welcher über 10 Minuten bei + 12℃ die Möglichkeit zum „blooming“ erhielt. Für die Helligkeit L* ergab sich ein arithmetischer Mittelwert von 33,12, für den Rot-Grün-Wert a* von 18,45 und für den Gelb-Blau-Wert b* von 6,62. Weitere Ergebnisse des Vorversuches I können aus Tab. 13 entnommen werden.

**Tab. 13:** Beschreibende Statistik der Farbwerte L*a*b* des *M. longissimus dorsi* in der Zerlegung

| | **Mittelwert** | **Standard-abweichung** | **Minimum** | **Maximum** |
|---|---|---|---|---|
| **Helligkeit L*** | 33,12 | 3,33 | 25,73 | 44,82 |
| **Rot-Grün-Wert a*** | 18,45 | 3,11 | 10,38 | 29,58 |
| **Gelb-Blau-Wert b*** | 6,62 | 2,86 | 1,32 | 16,73 |

Sowohl die Helligkeit L* als auch der Rot-Grün-Wert a* und der Gelb-Blau-Wert b* waren im Q-Q-Diagramm und im trendbereinigten Q-Q-Diagramm normalverteilt.

### 4.1.2 Vorversuch II (Farbverteilung im *M. longissimus dorsi*)

Während des Vorversuches II wurde zum einem die Farbverteilung innerhalb des *M. longissimus dorsi* und zum anderen die Übereinstimmung der Farbwerte der Fleischoberfläche mit denen eines frisch gesetzten Anschnitts untersucht. Zu diesem Zweck wurde an 10 Scheiben von 6 Roastbeefs, die in den Hauptversuch eingingen, am Tag der Zerlegung (15 bis 20 h p. m.) die Farbe jeder Scheibe sowohl an der bestehenden Oberfläche als auch an einem frischen Anschnitt mit einem Minolta Chroma-Meter CR-400 gemessen. Vor der Farbmessung erhielten die Fleischscheiben über 60 Minuten bei + 3 bis + 4℃ die Möglichkeit zur Farbaufhellung.

Die ermittelten Farbwerte der Rindfleischoberfläche sind vergleichend zu den Farbwerten eines frischen Anschnitts in der folgenden Tab. 14 aufgeführt. Die Mittelwerte von Oberfläche und Anschnitt lagen für die drei Farbparameter L*, a*, b* sehr eng zusammen.

**Tab. 14:** Beschreibende Statistik der Farbwerte der Oberflächen- und Anschnittsfarbe bei Farbmessung am Tag der Zerlegung

| | **Mittelwert** | **Standardabweichung** |
|---|---|---|
| Helligkeit $L^*_O$ (Oberfläche) | 35,86 | 3,29 |
| Rot-Grün-Wert $a^*_O$ (Oberfläche) | 20,85 | 3,69 |
| Gelb-Blau-Wert $b^*_O$ (Oberfläche) | 9,91 | 2,54 |
| Helligkeit $L^*_A$ (Anschnitt) | 36,30 | 2,11 |
| Rot-Grün-Wert $a^*_A$ (Anschnitt) | 20,72 | 2,71 |
| Gelb-Blau-Wert $b^*_A$ (Anschnitt) | 9,90 | 1,74 |

Die Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche sind in Abb. 17 in Form von Boxplots gegenüber gestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Mediane der Farbwerte von Oberfläche und Anschnitt ebenfalls sehr dicht zusammen lagen.

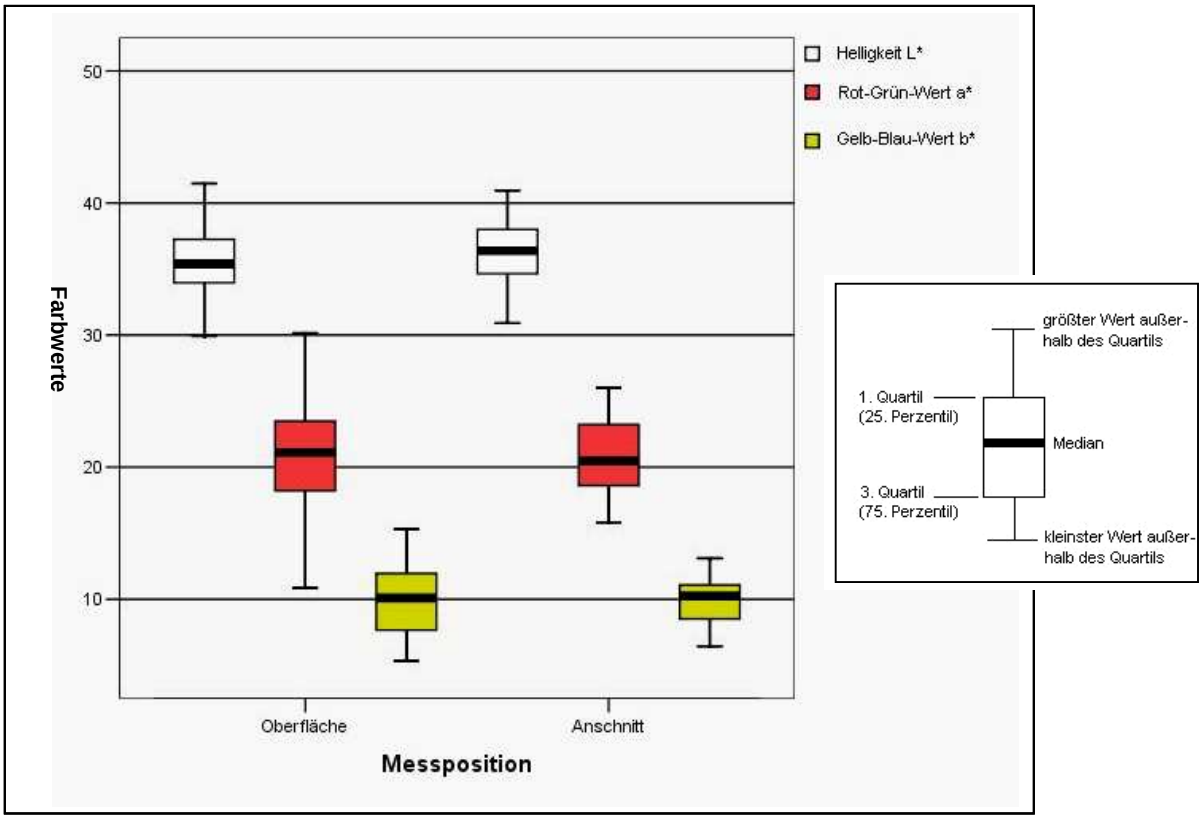


**Abb. 17:** Farbwerte L*a*b* für Oberfläche und Anschnitt vergleichend

Die Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche waren im Q-Q-Diagramm und im trendbereinigten Q-Q-Diagramm normalverteilt.

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) zeigte sich, dass die jeweilig untersuchte Scheibe, vom kranialen bis zum kaudalen Anteil des *M. longissimus dorsi*, keinen signifikanten Einfluss auf die gemessene Farbe des Muskels hatte (Tab. 38). Zwischen den 10 Scheiben, die aus einem Roastbeef gewonnen wurden, bestanden keine signifikanten Farbunterschiede. In den oben genannten multivariaten Tests existierten zwischen der Farbe L*a*b* der Oberfläche und des Anschnitts keine signifikanten Differenzen bei Farbmessung am *M. longissimus dorsi*. Zwischen den einzelnen Roastbeefs, also zwischen den verschiedenen Schlachttierkörpern, lagen hingegen signifikante Farbunterschiede vor.

## 4.2 Ergebnisse des Hauptversuchs (Lagerversuch)

Im Hauptversuch wurden über eine Lagerungsdauer von acht Wochen 30 Roastbeefs wiederholt physikalisch (Farbmessung; Bestimmung des pH-Wertes), mikrobiologisch (GKZ, LB, MSB) und sensorisch (Farbe, Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge und -beschaffenheit, Textur) untersucht. Pro Roastbeef wurden 10 Scheiben als Proben vakuumiert gelagert. Pro Lagerwoche wurde für jedes Roastbeef eine Scheibe für die Untersuchungen herangezogen. Insgesamt umfasst die vorliegende Studie 270 Einzelproben. Ziel des Hauptversuches war es, Grunddaten für die Entwicklung der Farbwerte L*a*b* von Rindfleisch während der Reifung und Lagerung zu erarbeiten. Weiterhin sollten die Zusammenhänge zwischen der objektiven Farbe und weiteren Fleischqualitätsparametern untersucht werden.

### 4.2.1 Deskriptive Auswertung der Ergebnisse des Hauptversuchs

#### 4.2.1.1 Veränderung der Farbwerte von Anschnitt und Oberfläche des *M. longissimus dorsi* während achtwöchiger Lagerung

Über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum wurden die objektive Anschnitts- und die objektive Oberflächenfarbe der Fleischproben aus dem *M. longissimus dorsi* mit einem Minolta Chroma-Meter CR-400 gemessen.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der für den Anschnitt gemessenen Farbwerte sind für die einzelnen Lagerwoche in Tab. 15 aufgeführt. In Lagerwoche 0 (Tag der Zerlegung) wurden die niedrigsten Farbwerte $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ des achtwöchigen Lagerungszeitraumes festgestellt. So stieg die Helligkeit des Anschnitt von 36,47 in Lagerwoche 0 auf einen maximalen Wert von 40,75 in Lagerwoche 7. Zur Lagerwoche 8 sank die Helligkeit $L^*_A$ wieder leicht auf 40,44 ab. Der Rotwert $a^*_A$ stieg ebenfalls kontinuierlich von Lagerwoche 0 (21,59) bis zum Erreichen des Maximalwertes in Lagerwoche 7 (26,47) an. In der 8. Lagerwoche blieb der Rotwert auf dem Niveau der Vorwoche (26,46). Der Gelbwert des Anschnitts stieg über den gesamten Lagerungszeitraum beständig an. Der geringste Wert des Farbparameters b* wurde mit 10,47 in Lagerwoche 0 gemessen. Den höchsten Wert erreichte b* in der 8. Lagerwoche (13,89).

**Tab. 15:** Mittelwerte und Standardabweichungen der objektiven Anschnittsfarbe $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ über acht Wochen Lagerung

| Lagerwoche | Farbwerte des Anschnitts | Mittelwert | Standard-abweichung |
|---|---|---|---|
| **0** | $L^*_A$ | 36,4703 | 2,32523 |
| | $a^*_A$ | 21,5950 | 2,84738 |
| | $b^*_A$ | 10,4683 | 1,67257 |
| **1** | $L^*_A$ | 38,7590 | 2,08896 |
| | $a^*_A$ | 24,1750 | 2,54939 |
| | $b^*_A$ | 12,4467 | 1,46071 |
| **2** | $L^*_A$ | 39,1693 | 2,93330 |
| | $a^*_A$ | 25,5410 | 2,42820 |
| | $b^*_A$ | 13,2770 | 1,50535 |
| **3** | $L^*_A$ | 39,4853 | 2,71678 |
| | $a^*_A$ | 25,5070 | 2,78588 |
| | $b^*_A$ | 13,3363 | 1,61516 |
| **4** | $L^*_A$ | 39,6230 | 2,83210 |
| | $a^*_A$ | 25,3217 | 2,05730 |
| | $b^*_A$ | 13,1310 | 1,29654 |

Fortsetzung **Tab. 15**

| Lagerwoche | Farbwerte des Anschnitts | Mittelwert | Standard-abweichung |
|---|---|---|---|
| **5** | $L^*_A$ | 39,7873 | 2,49046 |
| | $a^*_A$ | 25,7157 | 2,52758 |
| | $b^*_A$ | 13,1963 | 1,60914 |
| **6** | $L^*_A$ | 40,4743 | 3,10307 |
| | $a^*_A$ | 26,2133 | 2,43884 |
| | $b^*_A$ | 13,5787 | 1,59682 |
| **7** | $L^*_A$ | 40,7543 | 3,00385 |
| | $a^*_A$ | 26,4650 | 2,79756 |
| | $b^*_A$ | 13,8470 | 1,62392 |
| **8** | $L^*_A$ | 40,4447 | 2,95781 |
| | $a^*_A$ | 26,4620 | 1,91878 |
| | $b^*_A$ | 13,8997 | 1,10712 |

Für die objektive Oberflächenfarbe $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Lagerwochen in Tab. 16 ausführlich beschrieben. Die Helligkeit der Oberfläche lag in Lagerwoche 0 bei 37,22. Davon ausgehend stieg die Helligkeit $L^*_O$ kontinuierlich bis zum Erreichen ihres Maximalwertes von 40,90 bzw. 40,91 in Lagerwoche 6 bzw. 7 an. Zur Lagerwoche 8 hin sank der Helligkeitswert geringgradig auf 40,77 ab. Der Rotwert $a^*_O$ stieg von Lagerwoche 0 (22,86) bis Lagerwoche 8 (26,14), über den gesamten Untersuchungszeitraum, beständig an. Analog verhielt sich der Gelbwert der Oberfläche. Der Gelbwert $b^*_O$ stieg von 11,1 in Lagerwoche 0 auf 13,9 in Lagerwoche 8 an.

**Tab. 16:** Mittelwerte und Standardabweichungen der objektiven Oberflächenfarbe $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ über 8 Wochen Lagerung

| Lagerwoche | Farbwerte der Oberfläche | Mittelwert | Standard-abweichung |
|---|---|---|---|
| **0** | $L^*_O$ | 37,2150 | 1,94704 |
| | $a^*_O$ | 22,8607 | 2,19530 |
| | $b^*_O$ | 11,0867 | 1,47465 |
| **1** | $L^*_O$ | 39,1033 | 2,24887 |
| | $a^*_O$ | 25,3707 | 2,62085 |
| | $b^*_O$ | 12,8947 | 1,65897 |
| **2** | $L^*_O$ | 40,0987 | 2,32875 |
| | $a^*_O$ | 25,8510 | 2,07396 |
| | $b^*_O$ | 13,3697 | 1,36014 |

Fortsetzung **Tab. 16**

| Lagerwoche | Farbwerte der Oberfläche | Mittelwert | Standard-abweichung |
|---|---|---|---|
| **3** | $L^*_o$ | 40,3243 | 2,63157 |
| | $a^*_o$ | 25,8980 | 2,12602 |
| | $b^*_o$ | 13,4963 | 1,29867 |
| **4** | $L^*_o$ | 40,2617 | 2,46128 |
| | $a^*_o$ | 25,6977 | 2,25885 |
| | $b^*_o$ | 13,2393 | 1,32775 |
| **5** | $L^*_o$ | 40,4463 | 3,09975 |
| | $a^*_o$ | 25,4260 | 2,63361 |
| | $b^*_o$ | 13,3070 | 1,66002 |
| **6** | $L^*_o$ | 40,8967 | 2,49087 |
| | $a^*_o$ | 25,9317 | 2,22895 |
| | $b^*_o$ | 13,6100 | 1,20602 |
| **7** | $L^*_o$ | 40,9093 | 2,79208 |
| | $a^*_o$ | 25,9270 | 2,18637 |
| | $b^*_o$ | 13,5833 | 1,31400 |
| **8** | $L^*_o$ | 40,7693 | 2,92919 |
| | $a^*_o$ | 26,1350 | 2,06110 |
| | $b^*_o$ | 13,7450 | 1,29710 |

#### 4.2.1.2 Veränderung des pH-Wertes während achtwöchiger Lagerung

Die Messung des pH-Wertes erfolgte an jeweils 30 homogenisierten Fleischproben pro Lagerwoche mit einem Labor-pH-Meter 766 (Tab. 17). Der Mittelwert des pH-Wertes schwankte über die acht Lagerungswochen nur gering. Er stieg von 5,64 in Lagerwoche 0 auf einen maximalen Wert von 5,67 in Lagerwoche 3. Von der 3. bis zur 8. Lagerwoche fiel der Mittelwert des pH-Wertes auf 5,58 ab.

**Tab. 17:** Mittelwerte und Standardabweichungen des pH-Wertes über 8 Wochen Lagerung

| Lagerwoche | Mittelwert | Standardabweichung |
|---|---|---|
| **0** | 5,6447 | 0,0807 |
| **1** | 5,6530 | 0,1106 |
| **2** | 5,6687 | 0,1183 |
| **3** | 5,6690 | 0,1525 |
| **4** | 5,6570 | 0,1902 |
| **5** | 5,6097 | 0,1537 |
| **6** | 5,6143 | 0,1517 |
| **7** | 5,5907 | 0,1998 |
| **8** | 5,5776 | 0,2369 |

#### 4.2.1.3 Veränderung sensorischer Parameter während achtwöchiger Lagerung

Über den Zeitraum der achtwöchigen Lagerung wurde für die 30 Proben jeder Lagerwoche eine sensorische Untersuchung durch ein geschultes Prüferpanel durchgeführt. Dabei wurden die sensorischen Parameter subjektive Anschnitts- und Oberflächenfarbe, Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge und -beschaffenheit sowie Textur beurteilt. Die Codierung und Bewertung der sensorischen Eindrücke erfolgte nach dem in Tab. 37 (Anhang) aufgeführten Schema.

Für die Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe zeigte sich, dass der Anteil an „abweichend“ bewerteten Proben mit zunehmender Lagerungsdauer stieg (Tab. 18). So wurden am Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) 46,7% der Fleischproben als farblich optimal (Soll) beurteilt. Der Anteil an Proben im Soll sank bis zur 6. Lagerwoche auf 3,3% ab und in der 7. und 8. Lagerwoche wurden sämtliche untersuchte Fleischteile als abweichend beurteilt. Der Anteil an Proben mit „geringfügigen Abweichungen“ stieg von 26,7% in Lagerwoche 0 auf 70,0% bis 90,0% in den Lagerwochen 5 bis 8 an. Die Bewertung von Proben als „deutlich abweichend“ schwankte während der Lagerung zwischen 3,3% (Lagerwoche 5) und 30,0% (Lagerwoche 7). Für die „deutlichen Abweichungen“ konnte keine Tendenz der Zunahme mit steigender Lagerdauer festgestellt werden. Insgesamt wurden über den Zeitraum der achtwöchigen Lagerung von 270 untersuchten Proben 19,3% als farblich optimal (Soll), 61,3% als „geringfügig abweichend“ und 19,3% als „deutlich abweichend“ bewertet.

**Tab. 18:** Relative Verteilung der Bewertungen der subjektiven Anschnittsfarbe in den einzelnen Lagerwochen

| Lagerwoche | Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Soll | geringfügige Abweichungen | deutliche Abweichungen | Insgesamt |
| **0** | 46,7% | 26,7% | 26,7% | 100% |
| **1** | 36,7% | 46,7% | 16,7% | 100% |
| **2** | 20,0% | 53,3% | 26,7% | 100% |
| **3** | 23,3% | 53,3% | 23,3% | 100% |
| **4** | 16,7% | 60,0% | 23,3% | 100% |
| **5** | 26,7% | 70,0% | 3,3% | 100% |
| **6** | 3,3% | 90,0% | 6,7% | 100% |
| **7** | 0% | 70,0% | 30,0% | 100% |
| **8** | 0% | 82,8% | 17,2% | 100% |

Die Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe zeigte, dass analog zur subjektiven Anschnittsfarbe der Anteil an „abweichend“ bewerteten Proben mit zunehmender Lagerungsdauer auch für die subjektive Oberflächenfarbe deutlich anstieg (Tab. 19). In Lagerwoche 0 prägten 43,3% der untersuchten Fleischstücke die erwartete Farbe (Soll) an der Oberfläche aus. Dieser Anteil sank bis zur 4. bzw. 5. Lagerwoche auf 3,3% bzw. 10,0%. Ab der 6. Lagerwoche wurde keine der untersuchten Proben mit „Soll“ beurteilt. Der Anteil an Proben mit „geringfügigen Abweichung“ stieg von 16,7% (Lagerwoche 0) auf einen Maximalwert von 56,7% (Lagerwoche 2). Von der 3. bis zur 8. Lagerwoche pendelten die Werte der „geringfügigen Abweichungen“ zwischen 33,3% und 46,7%. Für die subjektive Oberflächenfarbe zeigte sich in Lagerwoche 0 ein Anteil von 40,0% „deutlichen Abweichungen“. Dieser stieg bis zur 7. Lagerwoche auf 66,7% an. In der 8. Lagerwoche wurden 58,6% der Proben als „deutlich abweichend“ bewertet. Über den Zeitraum der achtwöchigen Lagerung befanden sich 12,3% der 270 Proben im „Soll“, 40,1% wiesen „geringfügige Abweichungen“ und 47,6% „deutliche Abweichungen“ der Oberflächenfarbe auf.

**Tab. 19:** Relative Verteilung der Bewertungen der subjektiven Oberflächenfarbe in den einzelnen Lagerwochen

| Lagerwoche | Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Soll** | **geringfügige Abweichungen** | **deutliche Abweichungen** | **Insgesamt** |
| **0** | 43,3% | 16,7% | 40,0% | 100% |
| **1** | 23,3% | 36,7% | 40,0% | 100% |
| **2** | 16,7% | 56,7% | 26,7% | 100% |
| **3** | 13,3% | 46,7% | 40,0% | 100% |
| **4** | 3,3% | 40,0% | 56,7% | 100% |
| **5** | 10,0% | 46,7% | 43,3% | 100% |
| **6** | 0% | 43,3% | 56,7% | 100% |
| **7** | 0% | 33,3% | 66,7% | 100% |
| **8** | 0% | 41,4% | 58,6% | 100% |

Bei der Bewertung des Geruchs wurden vier Kategorien unterschieden (Tab. 20). Bis einschließlich der 3. Lagerwoche befanden sich alle Proben im „Soll“, es konnte kein abweichender Geruch festgestellt werden. Ab der 4. Lagerwoche sank der Anteil an geruchlich einwandfreien Proben ab. Der Anteil an „unerheblich geruchlich abweichenden“ Proben stieg von 23,3% in Lagerwoche 4 auf 43,3% in Lagerwoche 7 und fiel zur Lagerwoche 8 auf 24,1% ab. Proben mit „nicht unerheblichen Abweichungen“ des Geruchs wurden in Lagerwoche 4 und 5 mit 6,7% gefunden. Ihr Anteil erhöhte sich sich auf 26,7% in Lagerwoche 6 und blieb bis Lagerwoche 8 annähernd gleich. „Erhebliche Abweichungen“ des Geruchs zeigten sich erst ab der 5. Lagerwoche (6,7%). Ihr Anteil stieg bis zur 8. Lagerwoche kontinuierlich an (17,2%). Während der achtwöchigen Lagerung lagen 67,3% der Proben im „Soll“, 17,5% zeigten „unerhebliche Abweichungen“, 9,7% „nicht unerhebliche Abweichungen“ und 5,6% „erhebliche Abweichungen“ des Geruchs.

**Tab. 20:** Relative Verteilung der Bewertungen des Geruchs in den einzelnen Lagerwochen

| Lagerwoche | Bewertung des Geruchs | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Soll** | **Unerhebliche Abweich-ungen** | **Nicht unerhebliche Abweich-ungen** | **Erhebliche Abweich-ungen** | **Insgesamt** |
| **0** | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| **1** | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| **2** | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| **3** | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| **4** | 70,0% | 23,3% | 6,7% | 0% | 100% |
| **5** | 60,0% | 26,7% | 6,7% | 6,7% | 100% |
| **6** | 23,3% | 40,0% | 26,7% | 10,0% | 100% |
| **7** | 16,7% | 43,3% | 23,3% | 16,7% | 100% |
| **8** | 34,5% | 24,1% | 24,1% | 17,2% | 100% |

Bei der Beurteilung der Konsistenz sank der Anteil an „fest“ beurteilten Proben von 93,3% in Lagerwoche 0 auf 16,7% in Lagerwoche 2 ab. Ab Lagerwoche 3 wurde keine Probe mehr mit „fest“ beurteilt. Proben mit der Beurteilung „fest-mürbe“ traten nur von der 1. bis zur 4. Lagerwoche auf. Ihr Anteil lag zwischen 3,3% und 10,0%. Der Anteil an „mürben“ Fleischteilen stieg von 33,3% in Lagerwoche 1 auf 83,3% in Lagerwoche 3. Bis Lagerwoche 8 fiel der Prozentsatz der Beurteilung „mürbe“ auf 10,3% ab. Der Anteil der Beurteilung „mürbe, zerfällt“ erhöhte sich von 6,7% in Lagerwoche 0 auf einen Maximalwert von 53,3% in Lagerwoche 5 und fiel anschließend bis Lagerwoche 8 auf 20,7% ab. Als „ mürbe, zerfallend, weich und schleimig“ eingestufte Proben traten ab Lagerwoche 3 (6,7%) auf und stiegen bis Lagerwoche 8 beständig auf 51,7% an. „Autolytische“ Fleischproben ergab die Untersuchung ab der 5. Lagerwoche (3,3%). Ihr Anteil stieg bis Lagerwoche 7 auf 23,3% an (Tab. 21). In Bezug auf den Parameter Konsistenz wurden während der achtwöchigen Lagerung von 270 Proben 19,0% als „fest“, 2,6% als „fest-mürbe“, 35,3% als „mürbe“, 23,4% als „mürbe, zerfallend“, 14,5% als „mürbe, zerfallend, weich, schleimig“ und 5,2% als „autolytisch“ beurteilt.

**Tab. 21:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Konsistenz in den einzelnen Lagerwochen

| Lager-woche | Beurteilungen der Konsistenz | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **fest** | **fest-mürbe** | **mürbe** | **mürbe, zerfällt** | **mürbe, zerfällt, weich, schleimig** | **auto-lytisch** | **Insge-samt** |
| **0** | 93,3% | 0% | 0% | 6,7% | 0% | 0% | 100% |
| **1** | 60,0% | 3,3% | 33,3% | 3,3% | 0% | 0% | 100% |
| **2** | 16,7% | 6,7% | 63,3% | 13,3% | 0% | 0% | 100% |
| **3** | 0% | 10,0% | 83,3% | 6,7% | 0% | 0% | 100% |
| **4** | 0% | 3,3% | 46,7% | 43,3% | 6,7% | 0% | 100% |
| **5** | 0% | 0% | 26,7% | 53,3% | 16,7% | 3,3% | 100% |
| **6** | 0% | 0% | 43,3% | 33,3% | 20,0% | 3,3% | 100% |
| **7** | 0% | 0% | 10,0% | 30,0% | 36,7% | 23,3% | 100% |
| **8** | 0% | 0% | 10,3% | 20,7% | 51,7% | 17,2% | 100% |

Die Fleischsaftmenge wurde entsprechend der Flüssigkeitsabsonderung der Proben in der Verpackung in ml beurteilt. Am Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) zeigten alle 30 Proben keinen bis minimalen Flüssigkeitsabsatz („0-gering“). Ab der 1. Lagerwoche trat deutlich mehr Fleischaft auf. Die Beurteilungen der Fleischsaftmengen für die einzelnen Lagerwoche sind Tab. 22 zu entnehmen. Über den Zeitraum der achtwöchigen Lagerung wiesen 12,3% der 270 Proben minimalen („0-gering“), 23,4% „geringen“, 43,1% „mäßigen“, 17,1% „deutlichen“ und 4,1% starken („viel“) Flüssigkeitsabsatz auf.

**Tab. 22:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Fleischsaftmenge in den einzelnen Lagerwochen

| Lager-woche | Beurteilungen der Fleischsaftmenge | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0 - gering** | **gering (< 1 ml)** | **mäßig (1 - 2 ml)** | **deutlich (3 - 4 ml)** | **viel (> 5 ml)** | **Insgesamt** |
| **0** | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| **1** | 6,7% | 50,0% | 40,0% | 3,3% | 0% | 100% |
| **2** | 0% | 20,0% | 56,7% | 20,0% | 3,3% | 100% |
| **3** | 0% | 26,7% | 43,3% | 20,0% | 10,0% | 100% |
| **4** | 3,3% | 13,3% | 56,7% | 16,7% | 10,0% | 100% |
| **5** | 0% | 26,7% | 50,0% | 20,0% | 3,3% | 100% |
| **6** | 0% | 16,7% | 60,0% | 20,0% | 3,3% | 100% |
| **7** | 0% | 33,3% | 36,7% | 26,7% | 3,3% | 100% |
| **8** | 0% | 24,1% | 44,8% | 27,6% | 3,4% | 100% |

Der Fleischsaft, den die Proben aus dem *M. longissimus dorsi* absetzten, wurde im Hinblick auf Farbe und Beimengungen beurteilt (Tab. 23). Der Anteil an Proben mit „rötlich, klaren“ Fleischsaft fiel von Lagerwoche 0 (100%) bis Lagerwoche 7 (6,7%) bzw. 8 (10,3%) beständig ab. Im Gegensatz dazu stieg der Prozentsatz an Proben mit „rötlich, trüben“ Fleischsaft von 3,3% in Lagerwoche 1 auf 60,0% in Lagerwoche 7. Ab der 2. Lagerwoche traten Fleischstücke mit „rotbraunem, trüben“ Fleischsaft (3,3%) auf. Bis Lagerwoche 8 wiesen 34,5% der Proben einen solchen Fleischsaft auf. Fleischsaft, der als „rötlich-trüb und braun-schleimig“ beurteilt wurde, konnte ab Lagerwoche 4 (3,3%) festgestellt werden. Der Anteil an Proben mit derartigem Fleischsaft stieg bis Lagerwoche 8 auf 17,2% an. Über den achtwöchigen Lagerungszeitraum wiesen von 270 Proben 64,7% „rötlich, klaren“, 19,0% „rötlich, trüben“, 11,2% „rotbraunen, trüben“ und 5,2% „rötlich, trüben sowie braun-schleimigen“ Fleischsaft auf.

**Tab. 23:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Fleischsaftbeschaffenheit in den einzelnen Lagerwochen

| Lagerwoche | Beurteilungen der Fleischsaftbeschaffenheit | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | rötlich-klar | rötlich-trüb | rotbraun-trüb | rötlich-trüb, braun-schleimig | Insgesamt |
| **0** | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| **1** | 96,7% | 3,3% | 0% | 0% | 100% |
| **2** | 96,7% | 0% | 3,3% | 0% | 100% |
| **3** | 96,7% | 0% | 3,3% | 0% | 100% |
| **4** | 70,0% | 20,0% | 6,7% | 3,3% | 100% |
| **5** | 53,3% | 16,7% | 20,0% | 10,0% | 100% |
| **6** | 50,0% | 33,3% | 10,0% | 6,7% | 100% |
| **7** | 6,7% | 60,0% | 23,3% | 10,0% | 100% |
| **8** | 10,3% | 37,9% | 34,5% | 17,2% | 100% |

In Bezug auf den sensorischen Parameter Textur wurden über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum 68,4% der 270 Fleischproben als reines Muskelgewebe („wie gewachsen“), 24,5% als „marmoriert“ und 7,1% als „stark marmoriert“ (deutliche Fett- und Sehneneinlagerungen) eingestuft. Die prozentuale Verteilung der Beurteilungen der Textur ist in Tab. 24 detailliert aufgeführt.

**Tab. 24:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Textur in den einzelnen Lagerwochen

| **Lagerwoche** | **Beurteilungen der Textur** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **wie gewachsen** | **marmoriert** | **stark marmoriert** | **Insgesamt** |
| **0** | 93,3% | 3,3% | 3,3% | 100% |
| **1** | 80,0% | 20,0% | 0% | 100% |
| **2** | 80,0% | 20,0% | 0% | 100% |
| **3** | 70,0% | 20,0% | 10,0% | 100% |
| **4** | 63,3% | 33,3% | 3,3% | 100% |
| **5** | 46,7% | 33,3% | 20,0% | 100% |
| **6** | 53,3% | 33,3% | 13,3% | 100% |
| **7** | 60,0% | 26,7% | 13,3% | 100% |
| **8** | 69,0% | 31,0% | 0% | 100% |

#### 4.2.1.4 Veränderung der mikrobiologischen Kenngrößen während achtwöchiger Lagerung

Um die Entwicklung der mikrobiologischen Kennzahlen (Gesamtkeim-, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl) nachvollziehen zu können, sind die Mittelwerte und Mediane der mikrobiologischen Kriterien in Tab. 25 aufgeführt. Am Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) spielte vor allem die Gesamtkeimzahl eine wichtige Rolle. Die vakuumtypischen Bakterien (Laktobazillen, Milchsäurebakterien) lagen in Woche 0 unterhalb der Nachweisgrenze von 10 koloniebildenden Einheiten pro $cm^2$ und stiegen ab der ersten Lagerwoche beständig an. Die Gesamtkeimzahl stieg im Mittelwert und im Median vom Tag der Zerlegung bis zur 8. Lagerwoche um vier Zehnerpotenzen (von $10^2$ auf $10^6$ KbE/$cm^2$) an. Die Laktobazillen-Zahl und die Milchsäurebakterien-Zahl stiegen im Mittelwert um fünf Zehnerpotenzen (von $10^1$ auf $10^6$ KbE/$cm^2$) und im Median um drei bzw. vier Zehnerpotenzen (von $10^1$ auf $10^4$ bzw. $10^5$ KbE/$cm^2$) an.

**Tab. 25:** Mittelwerte und Mediane der mikrobiologischen Kenngrößen Gesamtkeimzahl (GKZ), Laktobazillen- (LB) und Milchsäurebakterien-Zahl (MSB) für die einzelnen Lagerwochen

| Lagerwoche | mikrobiologische Kennzahl | Mittelwert | Median |
|---|---|---|---|
| 0 | GKZ | $9{,}15 \times 10^2$ | $3{,}75 \times 10^2$ |
| | LB | $3{,}00 \times 10^1$ | $1{,}00 \times 10^1$ |
| | MSB | $1{,}4 \times 10^1$ | $1{,}00 \times 10^1$ |
| 1 | GKZ | $5{,}58 \times 10^3$ | $1{,}06 \times 10^3$ |
| | LB | $1{,}05 \times 10^3$ | $1{,}00 \times 10^1$ |
| | MSB | $2{,}57 \times 10^3$ | $1{,}00 \times 10^1$ |

Fortsetzung **Tab. 25**

| Lagerwoche | mikrobiologische Kennzahl | Mittelwert | Median |
|---|---|---|---|
| 2 | GKZ | $6{,}74 \times 10^4$ | $4{,}00 \times 10^3$ |
| | LB | $2{,}23 \times 10^4$ | $9{,}00 \times 10^1$ |
| | MSB | $1{,}94 \times 10^4$ | $1{,}00 \times 10^1$ |
| 3 | GKZ | $1{,}46 \times 10^5$ | $2{,}70 \times 10^4$ |
| | LB | $8{,}18 \times 10^4$ | $9{,}65 \times 10^2$ |
| | MSB | $6{,}68 \times 10^4$ | $3{,}85 \times 10^2$ |
| 4 | GKZ | $4{,}48 \times 10^5$ | $4{,}70 \times 10^4$ |
| | LB | $2{,}76 \times 10^5$ | $1{,}08 \times 10^4$ |
| | MSB | $1{,}80 \times 10^5$ | $3{,}90 \times 10^3$ |
| 5 | GKZ | $1{,}59 \times 10^6$ | $2{,}80 \times 10^5$ |
| | LB | $1{,}01 \times 10^6$ | $6{,}70 \times 10^4$ |
| | MSB | $5{,}87 \times 10^5$ | $3{,}05 \times 10^4$ |
| 6 | GKZ | $4{,}05 \times 10^6$ | $4{,}00 \times 10^5$ |
| | LB | $8{,}09 \times 10^5$ | $7{,}10 \times 10^4$ |
| | MSB | $8{,}30 \times 10^5$ | $5{,}30 \times 10^4$ |
| 7 | GKZ | $3{,}64 \times 10^6$ | $5{,}85 \times 10^5$ |
| | LB | $1{,}96 \times 10^6$ | $1{,}13 \times 10^5$ |
| | MSB | $1{,}73 \times 10^6$ | $8{,}70 \times 10^4$ |
| 8 | GKZ | $4{,}37 \times 10^6$ | $1{,}15 \times 10^6$ |
| | LB | $1{,}24 \times 10^6$ | $8{,}05 \times 10^4$ |
| | MSB | $1{,}19 \times 10^6$ | $8{,}10 \times 10^4$ |

### 4.2.2 Statistische Auswertung der Ergebnisse des Hauptversuchs

Im Rahmen der Statistik wurden die untersuchten Parameter (objektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe; pH-Wert; Gesamtkeimzahl; Laktobazillen-Zahl; Milchsäurebakterien-Zahl) zunächst auf Normalverteilung überprüft. Im Folgenden wurden die Beziehungen zwischen den Farbwerten L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche sowie die Entwicklung der objektiven Rindfleischfarbe während der achtwöchigen Lagerung untersucht. Anschließend erfolgte die statistische Auswertung des Einflusses der physikalischen, sensorischen und mikrobiologischen Parameter auf die objektive Fleischfarbe L*a*b*. Die für die Ziele der vorliegenden Untersuchung entscheidenden Einflüsse auf die Fleischfarbe L*a*b* sowie die Zusammenhänge zwischen L*a*b* und weiteren Fleischqualitätsparametern sind ausführlich dargestellt.

Bei der statistischen Auswertung wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ angenommen. Die Signifikanzen wurden wie folgt gewichtet: $p < 0,05$ signifikant, $p < 0,01$ hochsignifikant und $p < 0,001$ höchstsignifikant. Die Stärke der Korrelation wurde folgendermaßen unterteilt: < 0,4 schwach; 0,4 bis 0,6 mittel; 0,6 bis 0,8 stark; > 0,8 sehr stark.

#### 4.2.2.1 Prüfung der Untersuchungsparameter auf Normalverteilung

Die im Hauptversuch erfassten Parameter (objektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe, pH-Wert; Gesamtkeimzahl; Laktobazillen-Zahl; Milchsäurebakterien-Zahl) wurden hinsichtlich des Vorliegens einer Normalverteilung überprüft.

Sowohl die objektive Oberflächenfarbe ($L^*_O$; $a^*_O$; $b^*_O$) als auch die objektive Anschnittsfarbe ($L^*_A$; $a^*_A$; $b^*_A$) waren im Q-Q-Diagramm und im trendbereinigten Q-Q-Diagramm normalverteilt (Abb. 35 bis 46, Anhang). Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung der Parameter pH-Wert, Gesamtkeimzahl, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl wurden diese zur Herstellung einer Normalverteilung dekadisch logarithmiert. Die logarithmierten Daten dieser Parameter waren im Q-Q-Diagramm und im trendbereinigten Q-Q-Diagramm ebenfalls normalverteilt (Abb. 47 bis 54, Anhang).

Zur weitergehenden Prüfung auf Normalverteilung wurde für alle oben genannten Untersuchungsparameter der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt (Tab. 26 und 27). Dabei wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ angenommen. Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest fiel für die objektive Oberflächen- und die objektive Anschnittsfarbe nicht signifikant aus. Daher konnte für die Oberflächen- und die Anschnittsfarbe von normalverteilten Variablen ausgegangen werden.

**Tab. 26:** Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für die objektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe

| | **$L^*_O$** | **$a^*_O$** | **$b^*_O$** | **$L^*_A$** | **$a^*_A$** | **$b^*_A$** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Asymptotische Signifikanz (2 seitig)** | 0,285 | 0,607 | 0,671 | 0,670 | 0,489 | 0,420 |

Für den Logarithmus der Gesamtkeimzahl war der Kolmogorov-Smirnov-Test ebenfalls nicht signifkant. Die Variable Gesamtkeimzahl war somit als normalverteilt anzusehen. Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für den Logarithmus von pH-Wert, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl fiel jedoch signifikant aus. Die asymptotische Signifikanz (2 seitig) war kleiner als 0,001. In Rücksprache mit dem betreuenden Institut für Statistik der LMU München wurde für diese drei Parameter in den folgenden statistischen Berechnungen eine Normalverteilung angenommen.

**Tab. 27:** Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für lg pH-Wert, lg Gesamtkeimzahl, lg Laktobazillen-Zahl, lg Milchsäurebakterien-Zahl

| | **lg pH-Wert** | **lg GKZ** | **lg LB** | **lg MSB** |
|---|---|---|---|---|
| **Asymptotische Signifikanz (2 seitig)** | 0,000 | 0,119 | 0,000 | 0,000 |

#### 4.2.2.2 Zusammenhang zwischen objektiver Oberflächen- und objektiver Anschnittsfarbe

Um die in Vorversuch II erhaltenen Ergebnisse in Bezug auf die Messposition (Oberfläche vs. Anschnitt) zu überprüfen, wurde während der achtwöchigen Lagerung des Hauptversuches die objektive Fleischfarbe L*a*b* stets sowohl an der Fleischoberfläche als auch an einem frischen Anschnitt gemessen.

Mit Hilfe des t-Tests wurden für die jeweilige Lagerwoche die Korrelationen der gepaarten Stichproben errechnet und die gepaarten Stichproben der Farbwerte von Anschnitt und Oberfläche auf signifikante Unterschiede überprüft.

**Korrelationen** (Tab. 39, Anhang)

In den Lagerwochen 1, 2, 3, 4, 7 und 8 zeigten sich signifikante bis höchstsignifikante, mittelstarke bis starke Korrelationen (r = 0,435 - 0,784) für die Farbwerte L*a*b* von Oberfläche und Anschnitt. In der Lagerwoche 0 waren Rotwert a* bzw. Gelbwert b* von Oberfläche und Anschnitt höchstsignifikant und mittelgradig bzw. stark miteinander korreliert. Der schwache Zusammenhang der Helligkeiten $L^*_O$ und $L^*_A$ fiel nicht signifikant aus. In Lagerwoche 5 und 6 korrelierten die Helligkeiten von Oberfläche und Anschnitt dagegen höchstsignifikant und stark. Die Rotwerte $a^*_O$ und $a^*_A$ hingen signifikant und mittelstark zusammen. Die nur schwache Korrelation der Gelbwerte $b^*_O$ und $b^*_A$ war zudem nicht signifikant.

**Signifikanzen** (Tab. 39, Anhang)

Für die Lagerwochen 4, 5, 6, 7 und 8 gab es keine signifikanten Unterschiede für die Farbwerte L*a*b* der Oberfläche verglichen mit den Farbwerten L*a*b* eines frischen Anschnitts. In der Lagerwoche 0 waren die Rot- und Gelbwerte der beiden Messpositionen signifikant voneinander verschieden. Es lagen jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Helligkeiten von Oberfläche und Anschnitt vor. In Lagerwoche 1 fielen die Helligkeiten $L^*_O$ und $L^*_A$ sowie die Gelbwerte $b^*_O$ und $b^*_A$ nicht signifikant unterschiedlich aus. Nur für die Rotwerte $a^*_O$ und $a^*_A$ zeigten sich signifikante Differenzen. In Lagerwoche 2 und 3 bestanden signifikante Unterschiede

zwischen den Helligkeiten $L^*_O$ und $L^*_A$. Der Test war jedoch für die Rot- und Gelbwerte von Oberfläche und Anschnitt nicht signifikant.

Zwischen den Mittelwerten von Oberflächen- bzw. Anschnittsfarbe ließen sich innerhalb der einzelnen Lagerwochen keine eindeutigen Unterschiede feststellen (Tab. 15 und 16). In Abb. 18 sind die Farbwerte L*a*b* von Oberfläche bzw. Anschnitt für die einzelnen Lagerwochen in Form von Boxplots aufgetragen. Die Boxen, welche vom ersten und dritten Quartil (25 bzw. 75 Perzentil) begrenzt werden, liegen dicht zusammen. Die Streuung der kleinsten bzw. größten Werte ist für die Oberflächen- und Anschnittsfarbe relativ homogen. Die Mediane der Farbwerte L*a*b* für Oberfläche und Anschnitt befinden sich mit wenigen Ausnahmen in einer Ebene.

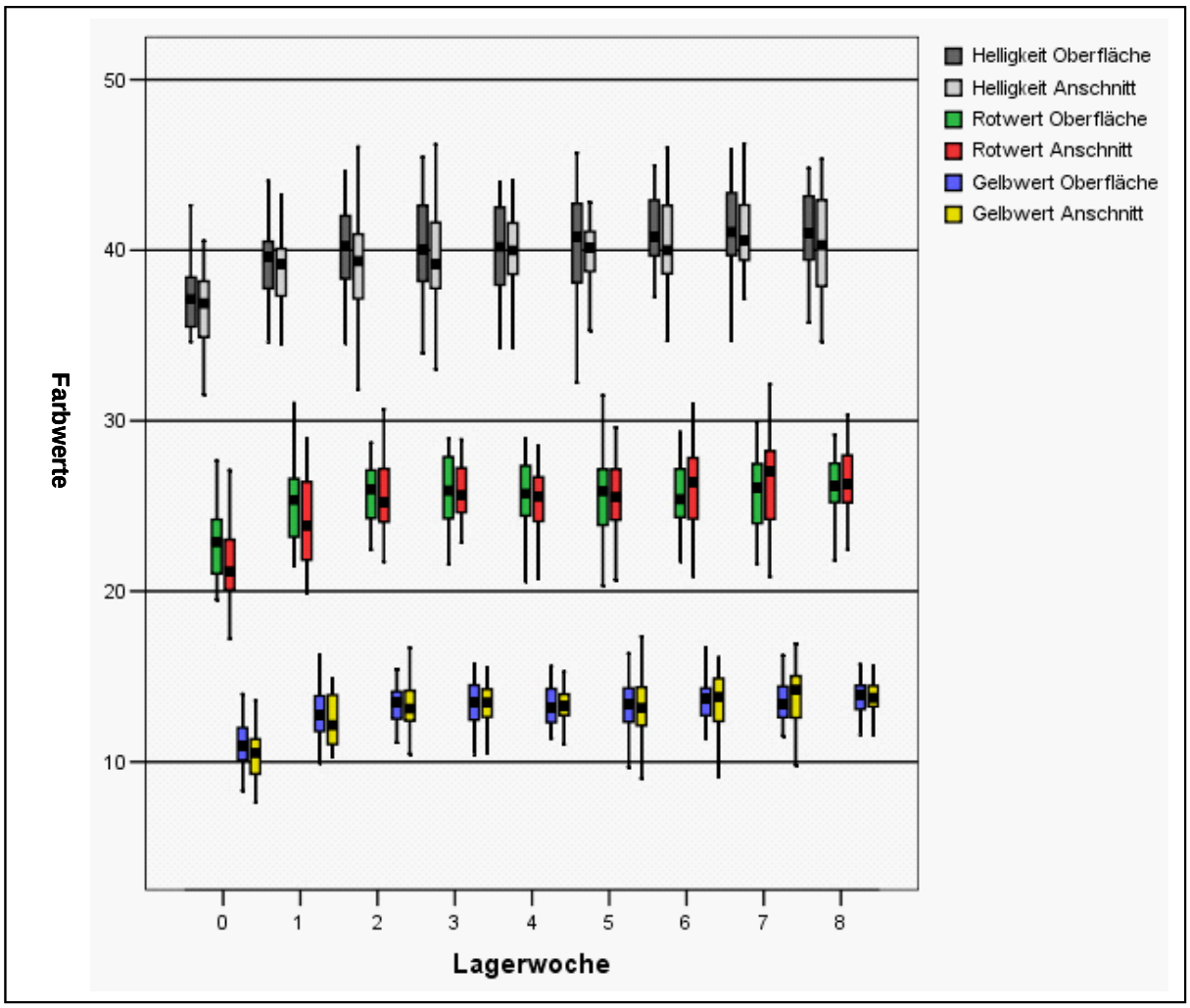


**Abb. 18:** Boxplots der Farbwerte L*a*b* für Anschnitt und Oberfläche bei 8 Wochen Lagerung

#### 4.2.2.3 Entwicklung der objektiven Farbe L*a*b* von Rindfleisch während achtwöchiger Lagerung

Über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung unter Vakuumverpackung wurde die Veränderung der objektiven Farbe von Rindfleisch beobachtet. Zu diesem Zweck wurde in jeder Lagerwoche an einer Fleischprobe für jedes der 30 in den Hauptversuch eingehenden Roastbeefs eine Farbmessung sowohl an einem frischen Anschnitt als auch an der bestehenden Fleischoberfläche vorgenommen. In Abb. 19 ist der Verlauf der Farbwerte L*a*b* für Oberfläche und Anschnitt vergleichend dargestellt.

Vom Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) ausgehend stiegen Helligkeit, Rotwert und Gelbwert von Oberfläche und Anschnitt bis zur Lagerwoche 1 steil an. Das Fleisch wurde heller und erschien in kräftigerem Rot und Gelb. Dabei ist zu beachten, dass die Farbwerte L*a*b* der Oberfläche auf einem geringfügig höheren Niveau lagen als die des Anschnitts. Bis Lagerwoche 2 erfolgte für die Helligkeit $L^*_O$, den Rotwert $a^*_O$ und den Gelbwert $b^*_O$ ein weiterer, aber deutlich flacherer Anstieg. Danach bewegten sich die Farbwerte der Oberfläche bis zur 5. Lagerwoche auf einem relativ konstanten Plateau. Im Gegensatz dazu stieg die Helligkeit des Anschnitts von der 1. bis zur 5. Lagerwoche langsam und sehr flach an. $L^*_A$ befand sich in der 5. Lagerwoche aber immer noch geringgradig unterhalb des Niveaus von $L^*_O$. Der Rot- und der Gelbwert des Anschnitts stiegen von der 1. zur 2. Lagerwoche auf das Niveau der Oberflächenwerte an. Der Gelbwert $b^*_A$ verhielt sich dann im weiteren Verlauf wie $b^*_O$. Der Rotwert des Anschnitts begann ab der 4. Lagerwoche wieder mit einem langsamen, flachen Anstieg, wobei $a^*_A$ nun zahlenmäßig geringfügig höher lag als $a^*_O$. Ab Lagerwoche 5 stiegen die übrigen Farbwerte ($L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$; $L^*_A$ $b^*_A$) ebenfalls leicht an, wobei sich das Niveau der Farbwerte von Oberfläche und Anschnitt anglich.

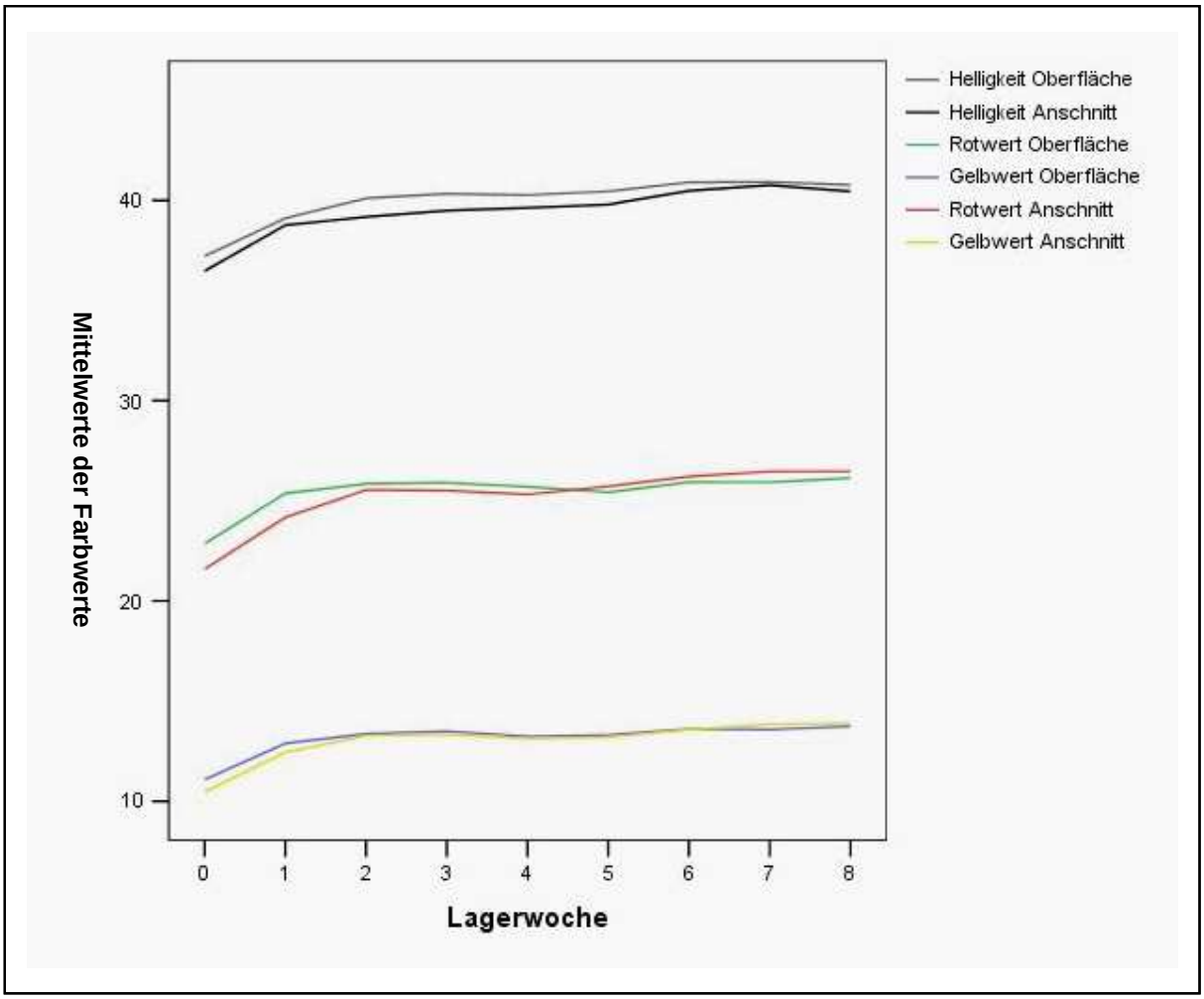


**Abb. 19:** Farbentwicklung über 8 Wochen (Oberfläche und Anschnitt vergleichend)

Um ausschließlich die Veränderung der Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche im Verlauf der Lagerung zu betrachten, sind die Differenzen der Mittelwerte der jeweiligen Lagerwoche zu den Mittelwerten der Lagerwoche 0 errechnet worden (Tab. 40, Anhang). Die Farbwerte der Lagerwoche 0 ($L^*_A$ 36,47; $a^*_A$ 21,6; $b^*_A$ 10,47; $L^*_O$ 37,22; $a^*_O$ 22,86; $b^*_O$ 11,1) bilden die Nulllinie, gegenüber der die Abweichungen der Farbwerte der einzelnen Lagerwochen in Abb. 20 aufgetragen sind. Die Differenz der Mittelwerte von L*a*b* einer Lagerwoche zu den Mittelwerten von L*a*b* der jeweiligen Vorwoche ist in Tab. 40 im Anhang dargestellt. Aus der Differenz zur jeweiligen Vorwoche wird die Schwankung der Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche zwischen den einzelnen Lagerwochen verdeutlicht.

Alle ermittelten Farbwerte ($L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$; $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$) vollzogen einen deutlichen, steilen Anstieg von der 1. zur 2. Lagerwoche. Zur 3. Lagerwoche hin erfolgte ein weiterer, flacherer Anstieg der Helligkeit von Anschnitt und Oberfläche. Die Helligkeit $L^*_A$ stieg dann äußerst gering und flach bis zur 5. Lagerwoche weiter an. Von der 5. zur 6. Lagerwoche erfolgte ein deutlicher, steiler Anstieg der Anschnittshelligkeit. Daran anschließend stieg $L^*_A$ bis Lagerwoche 8 geringgradig und flach weiter an. Die Helligkeit der Oberfläche zeigte von der 3. bis zur 5. Lagerwoche eine Plateauphase, in der sie unverändert lag. Von der 5. zur 6. Lagerwoche erfolgte ein Anstieg von $L^*_O$, der jedoch geringer als der von $L^*_A$ ausfiel. Daran anschließend veränderte sich die Oberflächenhelligkeit von Lagerwoche 6 zu 7 nicht und fiel geringgradig zu Lagerwoche 8 hin ab. Der Rotwert des Anschnitts wies von der 2. zur 3. Lagerwoche eine Plateauphase auf. Von der 3. zu 4. Lagerwoche fiel $a^*_A$ leicht ab. Ab der 4. Lagerwoche erfolgte ein kontinuierlicher, deutlicher Anstieg des Rotwerts $a^*_A$ bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes. Der Rotwert der Oberfläche schwankte zwischen den einzelnen Lagerwochen stärker. Von der 2. zur 3. Lagerwoche sank $a^*_O$ geringfügig und stieg von der 3. zur 4. Lagerwoche wieder leicht an. Von der 4. zur 5. Lagerwoche fand ein deutlicherer, steiler Abfall von $a^*_O$ statt. Auf diesen folgte ein deutlicher, steiler Anstieg des Rotwertes der Oberfläche zur 6. Lagerwoche hin. Im weiteren Verlauf blieb der Rotwert $a^*_O$ bis zur 8. Lagerwoche unverändert auf einem Niveau. Der Gelbwert des Anschnitts zeigte analog zum Rotwert des Anschnitts von der 2. zu 3. Lagerwoche eine Plateauphase. Parallel zu $a^*_A$ sank $b^*_A$ von Lagerwoche 3 zu 4 ebenfalls geringgradig ab. Zur 5. Lagerwoche hin stieg $b^*_A$ leicht an und ab der 5. Lagerwoche bis zum Ende der Lagerung war dieser Anstieg deutlicher und steiler. Der Gelbwert der Oberfläche wies von der 2. bis zur 4. Lagerwoche eine Plateauphase auf. Er fiel zur 5. Lagerwoche hin leicht ab und stieg von Lagerwoche 5 zu 6 deutlich an. Daran anschließend zeigte $b^*_O$ bis Lagerwoche 8 eine weitere Plateauphase.

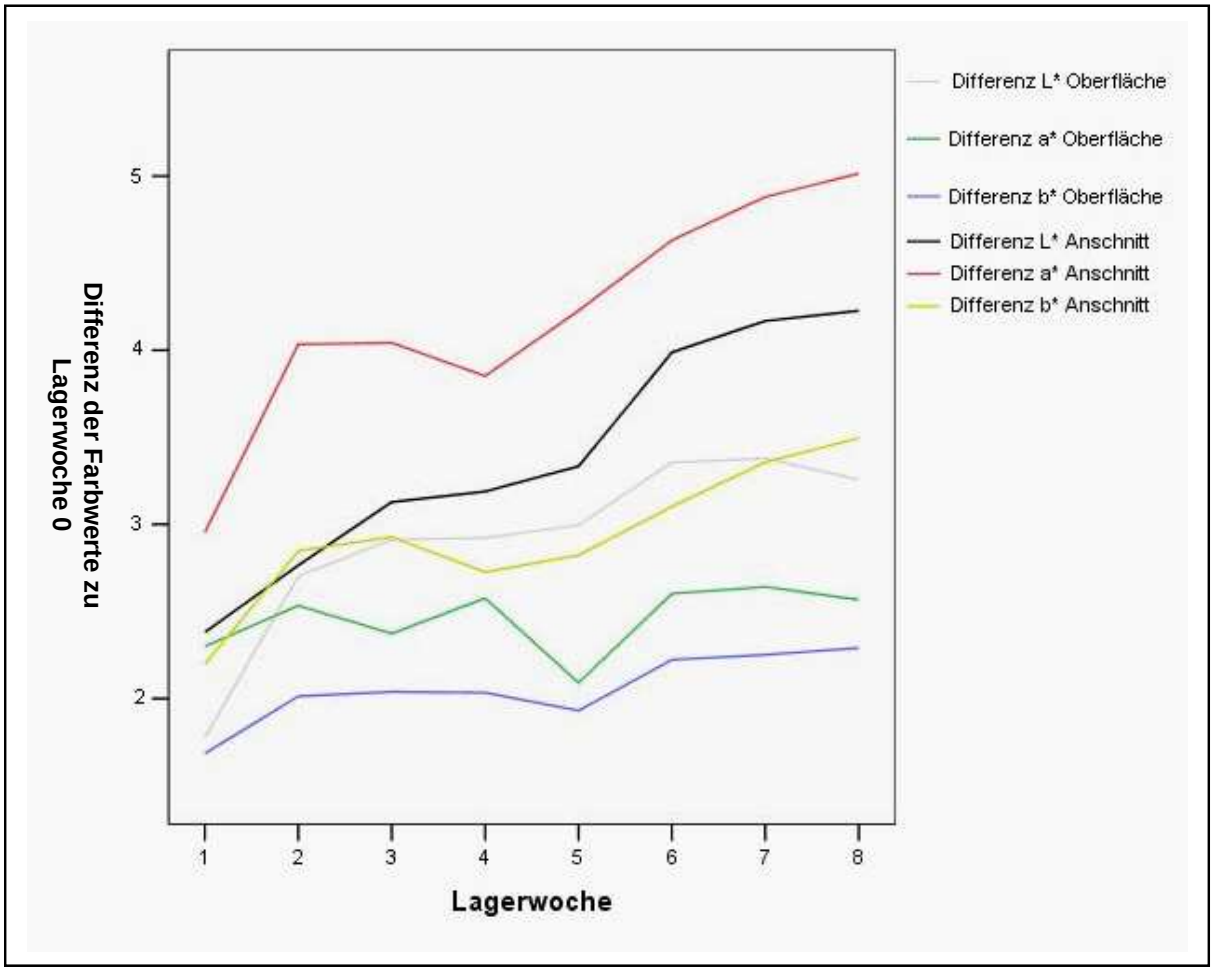


**Abb. 20:** Veränderung der Farbwerte L*a*b* der jeweilige Lagerwoche gegenüber den Ausgangswerten der Lagerwoche 0

#### 4.2.2.4 Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Fleischfarbe L*a*b*

Der Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Fleischfarbe von Anschnitt und Oberfläche wurde zum einem für Lagerwoche 0 (15 - 20 h p. m.) an 30 Fleischproben und zum anderen für den gesamten Untersuchungszeitraum (8 Wochen) an 270 Proben untersucht. Dabei beeinflusste der pH-Wert in Lagerwoche 0 die objektive Anschnittsfarbe signifikant. Für Lagerwoche 0 konnte kein signifikanter Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Oberflächenfarbe nachgewiesen werden. Die Betrachtung der Ergebnisse des achtwöchigen Lagerungszeitraums zeigte einen höchstsignifikanten Einfluss des pH-Wertes sowohl auf die objektive Anschnitts- als auch die objektive Oberflächenfarbe.

**Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Ausgangsfleischfarbe**

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) zeigte der pH-Wert am Ausgangstag (Lagerwoche 0) einen knapp signifikanten Einfluss auf die objektive Anschnittsfarbe $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ des Rindfleisches ($p = 0{,}041$).

Bei Tests der Zwischensubjekteffekte (Tab. 41, Anhang) konnte nur für die Helligkeit $L^*_A$ ein signifikanter Einfluss des pH-Wertes nachgewiesen werden ($p = 0{,}028$). Durch dieses Modell, also durch die Einwirkung des pH-Wertes auf die Helligkeit $L^*_A$, ließen sich 16% der Helligkeitsschwankungen im Ausgangsmaterial erklären (R-Quadrat = 0,162). Gegenüber dem Rotwert $a^*_A$ bzw. dem Gelbwert $b^*_A$ besass der pH-Wert keinen signifikanten Einfluss ($p = 0{,}996$ bzw. 0,430). Auffällig ist der Unterschied zwischen den multivariaten Tests, in denen der pH-Wert signifikant auf die Anschnittsfarbe wirkt, und den Tests der Zwischensubjekteffekte, in denen der pH-Wert nur auf die Helligkeit $L^*_A$ signifikant wirkt. Dieser Unterschied ist mathematisch bedingt. In den multivariaten Tests werden die drei Farbwerte $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ zusammengerechnet und auf eine Beeinflussung durch den pH-Wert überprüft. Wenn nun nur ein Parameter, wie hier die Helligkeit $L^*_A$ durch den pH-Wert signifikant beeinflusst wird, hängt es von der Stärke der Signifikanz ab, ob auch die Anschnittsfarbe, bestehend aus den drei Farbwerten, durch den pH-Wert signifikant beeinflusst wird.

Im Parameterschätzer (Tab. 42, Anhang) ließ sich die Tendenz erkennen, dass bei einem Anstieg des pH-Wertes die Helligkeit $L^*_A$ deutlich abfiel. Wenn der pH-Wert um 1 stieg, sank $L^*_A$ um 11,6 Einheiten ab.

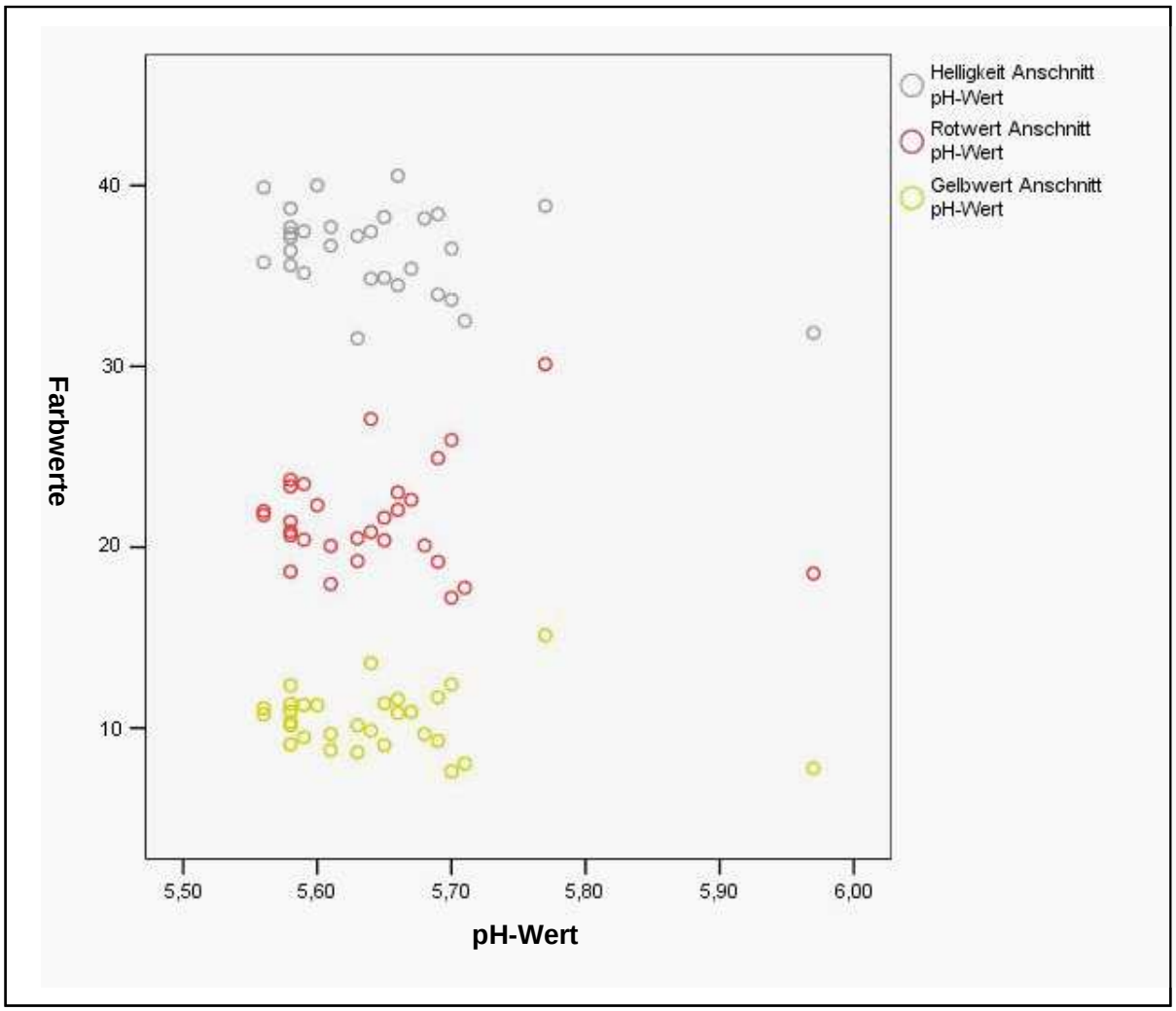


**Abb. 21:** Zusammenhang zwischen der Anschnittsfarbe $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ und dem pH-Wert in der Lagerwoche 0

Der pH-Wert zeigte in multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) keinen signifikanten Einfluss auf die objektive Oberflächenfarbe $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ von Rindfleisch ($p = 0{,}426$). Nach den Tests der Zwischensubjekteffekte (Tab. 43, Anhang) wirkte der pH-Wert ebenfalls nicht signifikant auf die Parameter $L^*_O$, $a^*_O$, $b^*_O$. Im Parameterschätzer (Tab. 44, Anhang) zeigte sich jedoch für die objektive Oberflächenfarbe eine ähnliche Tendenz wie für die objektive Anschnittsfarbe. Wenn der pH-Wert stieg, sank die Helligkeit $L^*_O$ ab.

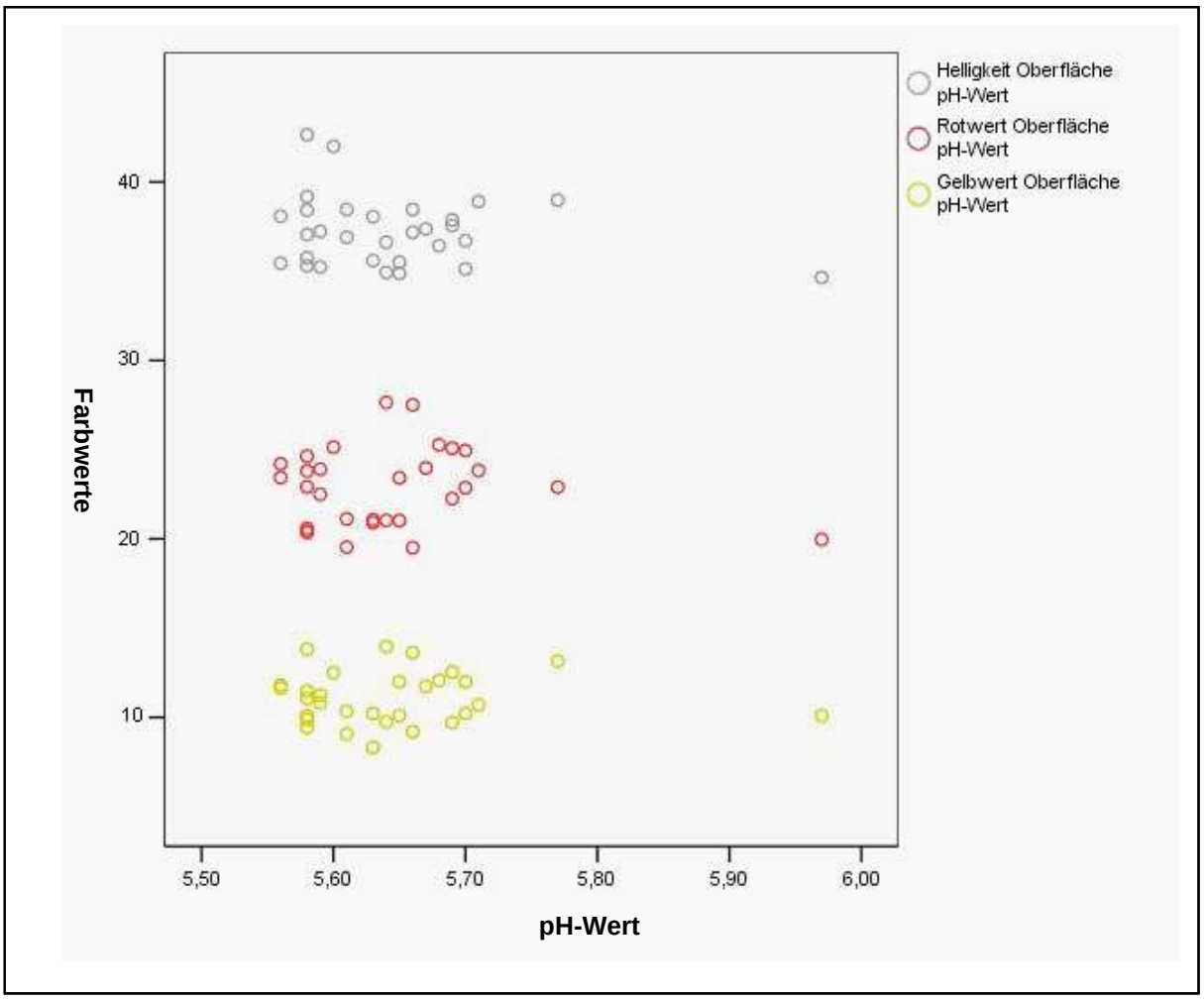


**Abb. 22:** Zusammenhang zwischen der objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* und dem pH-Wert in der Lagerwoche 0

**Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Fleischfarbe L*a*b* über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung**

Alle 270 Wertepaare von pH-Wert und L*a*b* des Anschnitts wurden über den Untersuchungszeitraum (Lagerwoche 0 bis 8) auf einen Zusammenhang hin überprüft (Abb. 23).

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) zeigte der pH-Wert für den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung einen höchstsignifikanten Einfluss auf die objektive Anschnittsfarbe $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ ($p = 0{,}000$ gleichbedeutend mit $p < 0{,}001$). Die Tests der Zwischensubjekteffekte wiesen ebenfalls diesen höchstsignifikanten Einfluss des pH-Wertes für die drei Komponenten $L^*_A$, $a^*_A$ und $b^*_A$ nach (Tab. 28). Das verwendete Signifikanzniveau lag bei $p < 0{,}05$. Im Parameterschätzer bewirkte ein Anstieg des pH-Wertes um eine Einheit einen Abfall der Helligkeit $L^*_A$ um 10,5, des Rotwertes $a^*_A$ um 4,7 und des Gelbwertes $b^*_A$ um 3,9 Einheiten.

**Tab. 28:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen pH-Wert und $L^*_A$, $a^*_A$, $b^*_A$ über die achtwöchige Lagerung

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| pH-Wert | Helligkeit Anschnitt $L^*_A$ | 0,000 |
| | Rotwert $a^*_A$ | 0,000 |
| | Gelbwert $b^*_A$ | 0,000 |

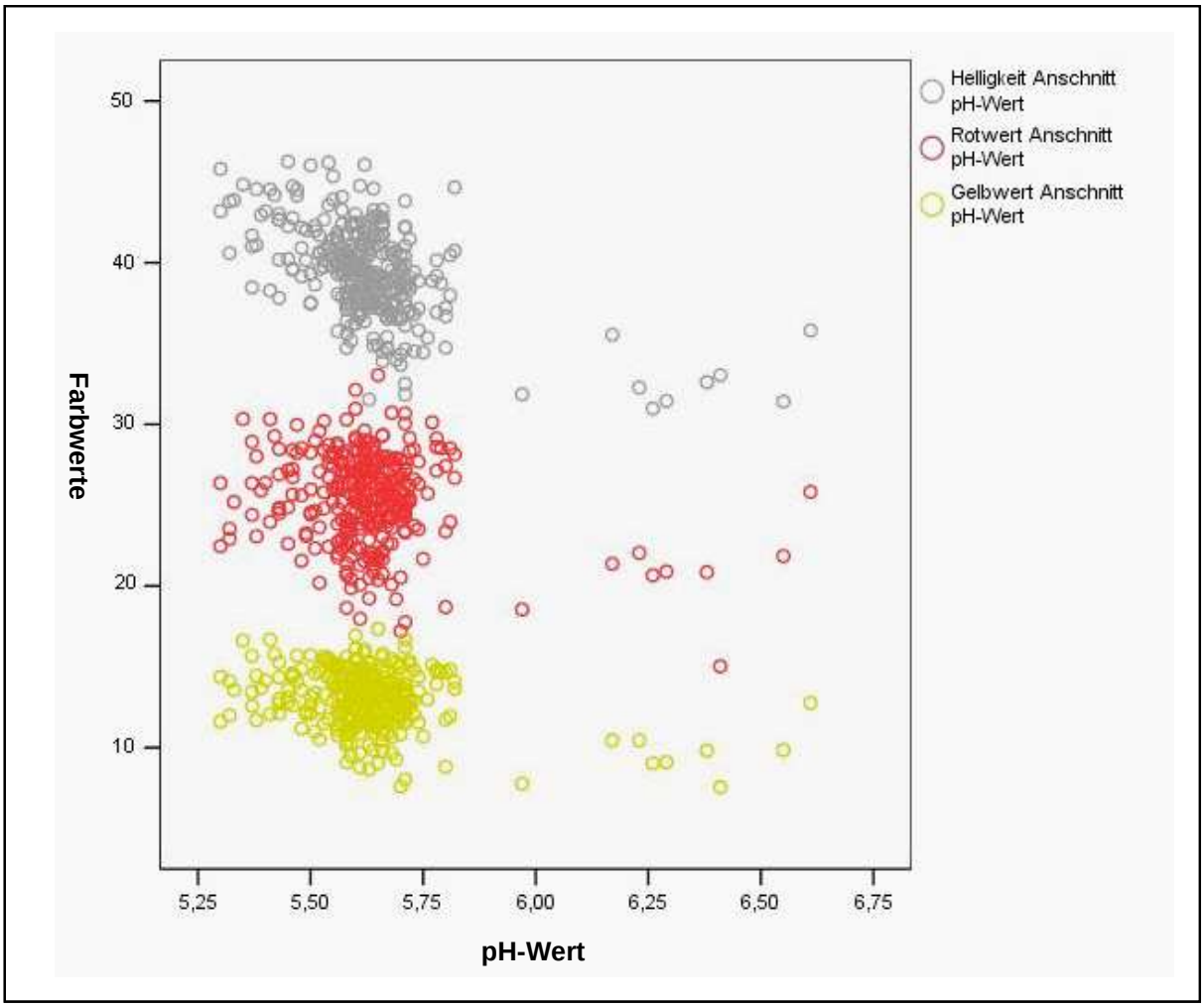


**Abb. 23:** Zusammenhang zwischen der objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* und dem pH-Wert über 8 Wochen

Über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum wurde der Zusammenhang zwischen 270 Wertepaaren von pH-Wert und L*a*b* der Oberfläche (Abb. 24) mittels multivariater Tests und Tests der Zwischensubjekteffekte überprüft.

Für die objektive Oberflächenfarbe $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ konnte über die achtwöchige Lagerdauer in multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) ebenfalls eine höchstsignifikante Beeinflussung durch den pH-Wert aufgezeigt werden ($p = 0{,}000$ gleichbedeutend mit $p < 0{,}001$). In den Tests der Zwischensubjekteffekte besaß der pH-Wert auf die einzelnen Farbwerte $L^*_O$, $a^*_O$, $b^*_O$ einen höchstsignifikanten Einfluss (Tab. 29). Im Parameterschätzer bewirkte ein Anstieg des pH-Wertes um eine Einheit einen Abfall der Helligkeit $L^*_O$ um 9,7, des Rotwertes $a^*_O$ um 2,8 und des Gelbwertes $b^*_O$ um 3,4 Einheiten.

**Tab. 29:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen pH-Wert und $L^*_O$, $a^*_O$, $b^*_O$ über die achtwöchige Lagerung

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| pH-Wert | Helligkeit Anschnitt $L^*_O$ | 0,000 |
| | Rotwert $a^*_O$ | 0,001 |
| | Gelbwert $b^*_O$ | 0,000 |

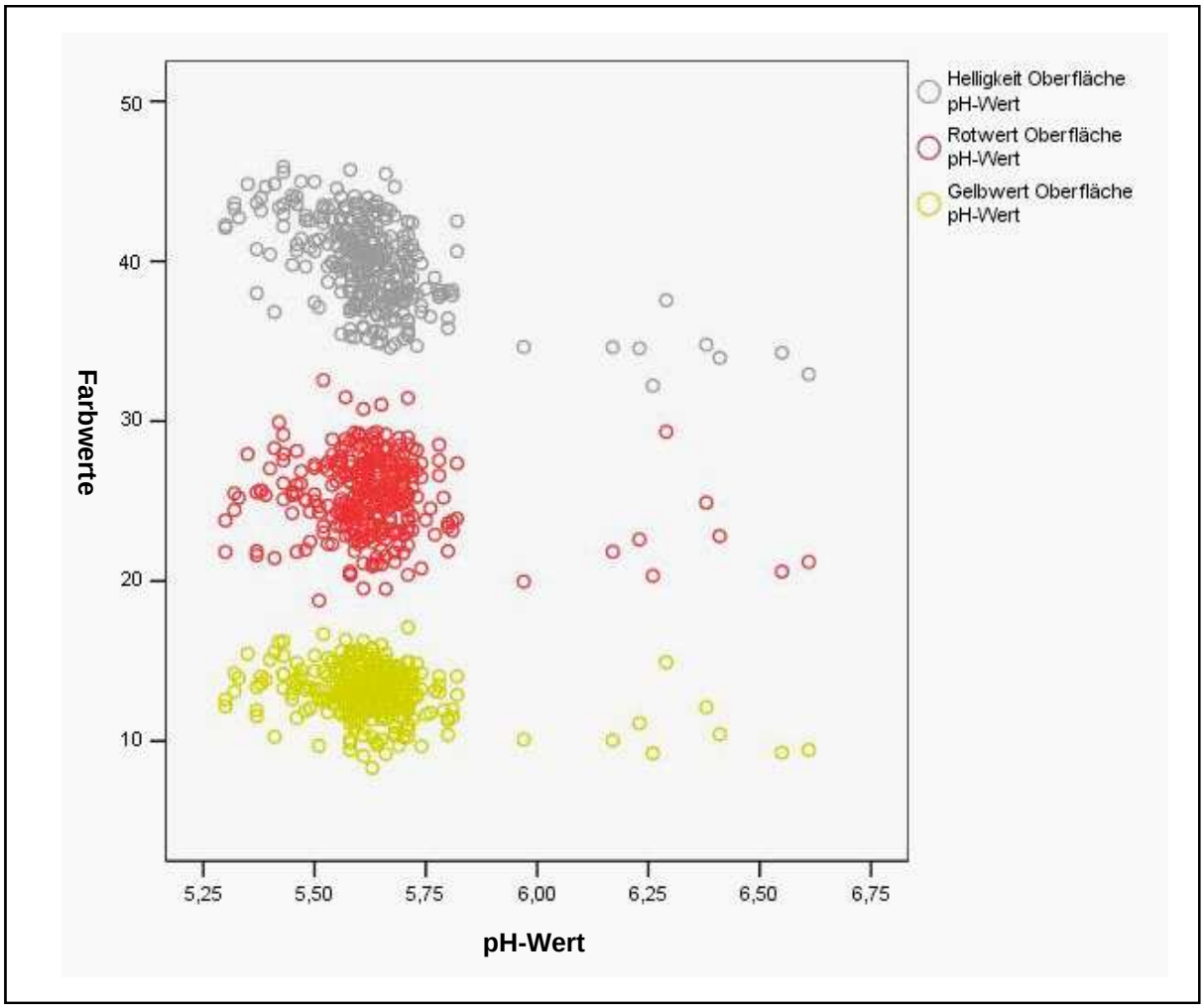


**Abb. 24:** Zusammenhang zwischen der objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* und dem pH-Wert über 8 Wochen

#### 4.2.2.5 Einfluss des pH-Wertes auf die subjektive Ausgangsfleischfarbe

Die Bewertung der subjektiven Ausgangsfleischfarbe von Anschnitt und Oberfläche erfolgte durch Feststellung des Grades der Abweichungen von der erwünschten Farbe (Soll) (s. 3.2.4). Die Bewertungen der subjektiven Fleischfarbe aus Lagerwoche 0 (n = 30) wurden auf Beeinflussung durch den pH-Wert untersucht.

In der deskriptiven Statistik (Tab. 30) sind pH-Wert-Unterschiede zwischen den einzelnen Bewertungen der Anschnittsfarbe festzustellen. In der sensorischen Beurteilung führten pH-Werte um 5,7 zur Bewertung der Anschnittsfarbe als „deutlich abweichend“ (Abb. 25). Mit Hilfe der univariaten Varianzanalyse wurde weitergehend versucht, den pH-Wert durch die Variable „Bewertung der Anschnittsfarbe“ zu erklären. Dabei zeigte sich, dass die pH-Wert-Unterschiede zwischen den drei Bewertungsgruppen (Soll, geringfügige Abweichungen, deutliche Abweichungen) hochsignifikant sind (p = 0,003). Die Streuung der Bewertung der Anschnittsfarbe konnte zu 35% durch dieses Modell, demnach durch den pH-Wert, erklärt werden (R-Quadrat = 0,354).

**Tab. 30:** Deskriptive Statistik für die Lage des pH-Wertes in den einzelnen Bewertungsgruppen der subjektiven Anschnittsfarbe

| Bewertung der Anschnittsfarbe (Rang) | Mittelwert des pH-Wertes | Standardabweichung |
|---|---|---|
| ***Soll (1)*** | 5,6207 | 0,04305 |
| ***geringfügige Abweichungen (2)*** | 5,6088 | 0,04422 |
| ***deutliche Abweichungen (3)*** | 5,7225 | 0,10964 |

Die Tests der Zwischensubjekteffekte zeigten einen hochsignifikanten Einfluss des pH-Wertes auf die sensorischen Bewertung der Anschnittsfarbe (p = 0,003).

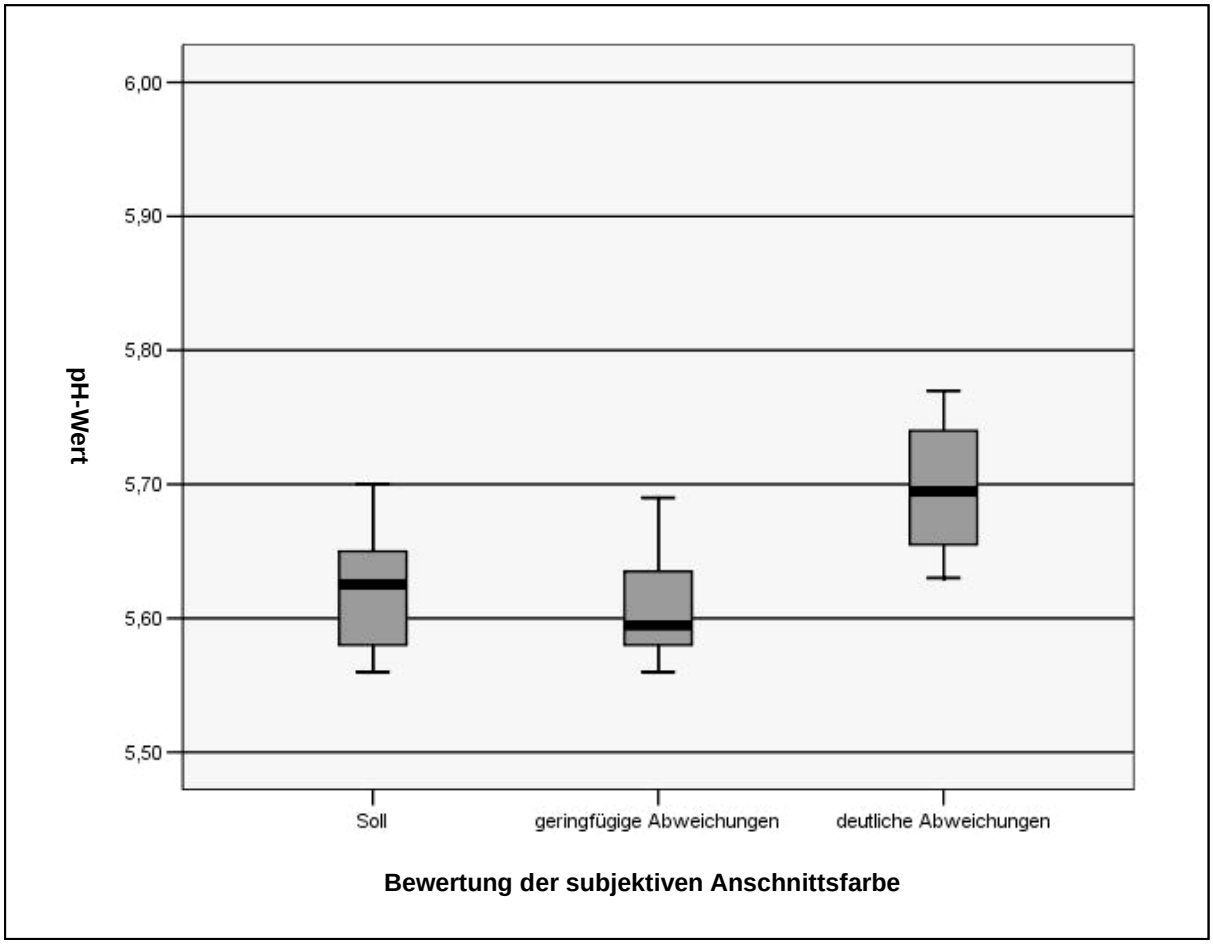


**Abb. 25:** Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe in Abhängigkeit vom pH-Wert in der Lagerwoche 0

Für die Bewertung der Oberflächenfarbe lagen in der deskriptiven Statistik ebenfalls Unterschiede im pH-Wert zwischen den einzelnen Bewertungen vor (Tab. 31). Analog zur Anschnittsfarbe zeigte sich auch für die Oberflächenfarbe, dass pH-Werte um 5,7 mit der Bewertung „deutliche Abweichungen“ verknüpft sind (Abb. 26). In der univariaten Varianzanalyse existierten hochsignifikante pH-Wert-Unterschiede ($p = 0,004$) zwischen den drei Bewertungsgruppen der Oberflächenfarbe (Soll, geringfügige Abweichungen, deutliche Abweichungen). Die Streuung der Bewertung der Oberflächenfarbe konnte zu 34% durch dieses Modell, demnach durch den pH-Wert, erklärt werden (R-Quadrat = 0,339).

**Tab. 31:** Deskriptive Statistik für die Lage des pH-Wertes in den einzelnen Bewertungsgruppen der subjektiven Oberflächenfarbe

| Bewertung der Oberflächenfarbe (Rang) | Mittelwert des pH-Wertes | Standardabweichung |
|---|---|---|
| ***Soll (1)*** | 5,6115 | 0,04120 |
| ***geringfügige Abweichungen (2)*** | 5,5960 | 0,02702 |
| ***deutliche Abweichungen (3)*** | 5,7008 | 0,09605 |

In den Tests der Zwischensubjekteffekte zeigte sich ein hochsignifikanter Einfluss des pH-Wertes auf die sensorische Bewertung der Oberflächenfarbe ($p = 0,004$).

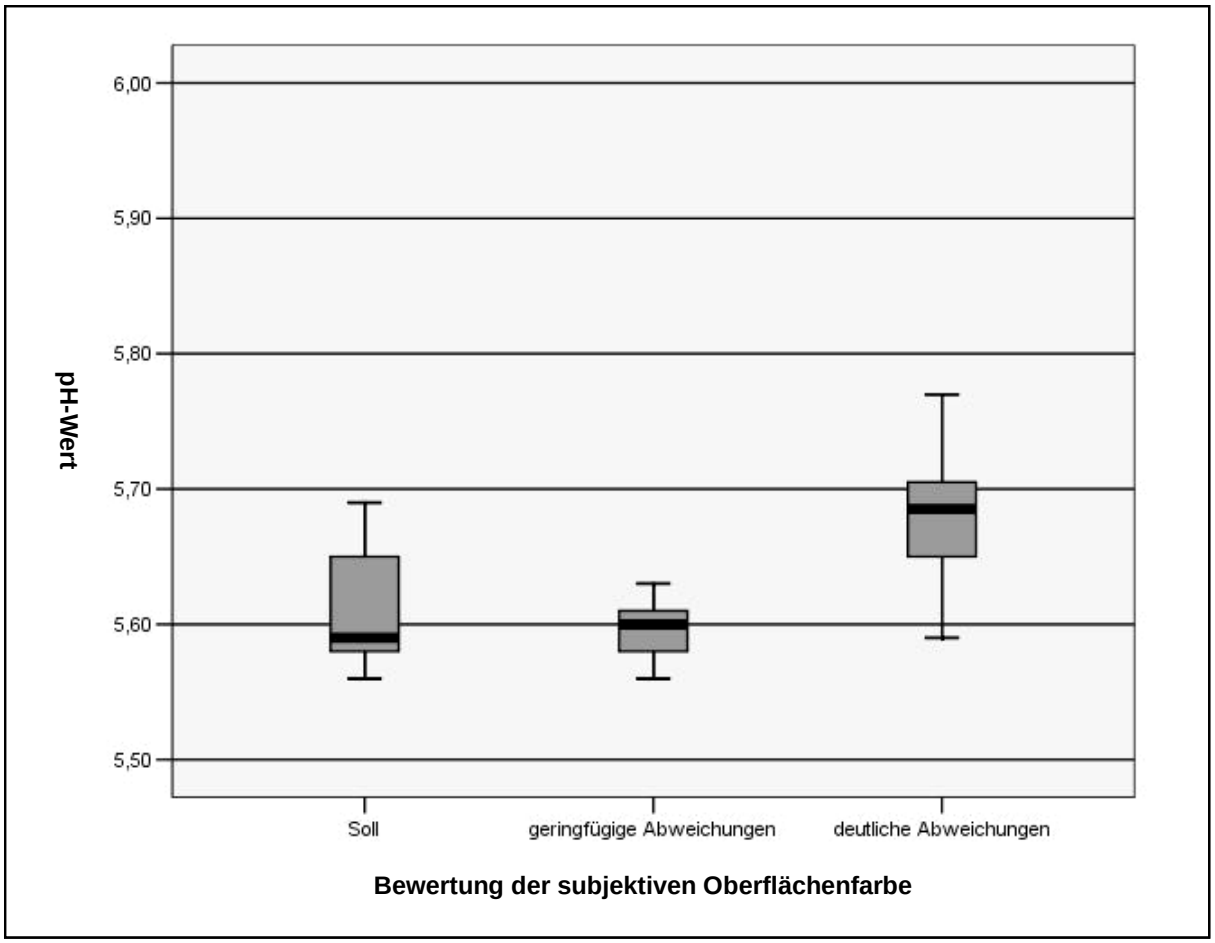


**Abb. 26:** Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe in Abhängigkeit vom pH-Wert in der Lagerwoche 0

#### 4.2.2.6 Zusammenhänge zwischen objektiver Fleischfarbe L*a*b* und sensorischen Parametern

Im vorliegenden Untersuchungszeitraum von 8 Wochen wurden an insgesamt 270 Proben aus dem *M. longissimus dorsi* beschreibende sensorische Untersuchungen durchgeführt. Die Beschreibung und Bewertung der einzelnen sensorischen Parameter ist im Codierungsplan (Tab. 37) aufgeführt. Die sensorischen Parameter werden im Folgenden in Zusammenhang zu den Farbwerten L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche gesetzt.

Abb. 27 verdeutlicht die Unterschiede der Farbwerte $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ zwischen den verschiedenen Bewertungsgruppen der subjektiven Anschnittsfarbe. Die Helligkeit lag bei geringfügigen Abweichungen im Median höher als im Sollbereich. Für die deutlichen Abweichungen zeigte sich vor allem eine größere Streuung der Farbwerte $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$.

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) erwies sich der Einfluss der Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe als höchstsignifikant ($p < 0{,}001$) auf die objektive Anschnittsfarbe L*a*b* (Tab. 47, Anhang). Bei der Prüfung der Zwischensubjekteffekte (Tab. 59, Anhang) war der Zusammenhang der einzelnen Farbparameter L*, a*, b* des Anschnitts mit der Bewertung der Anschnittsfarbe ebenfalls höchstsignifikant.

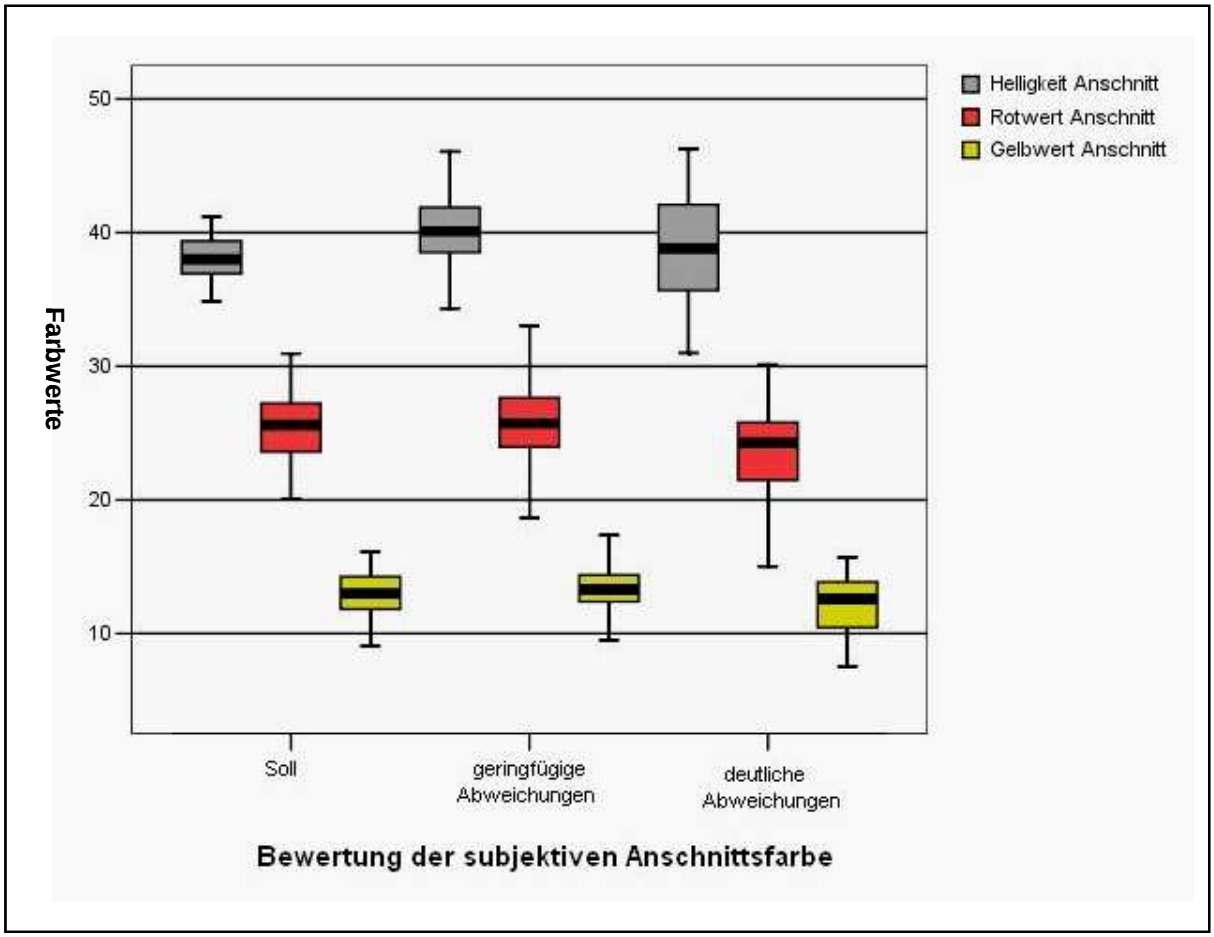


**Abb. 27:** Zusammenhang zwischen L*a*b* Anschnitt und Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe

Für den Zusammenhang zwischen der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe und der gemessenen Oberflächenfarbe zeigt sich in Abb. 28, dass der Median der Helligkeit $L^*_O$ und des Rotwertes $a^*_O$ bei geringfügigen Abweichungen leicht oberhalb des Medianwertes des Sollbereiches lagen. Für die deutlichen Abweichungen in der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe befand sich vor allem der Median der Helligkeit $L^*_O$ über dem des Sollbereiches und die Helligkeit $L^*_O$ streute insgesamt stärker.

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) zeigte sich ein höchstsignifikanter Einfluss der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe auf die objektive Oberflächenfarbe L*a*b* ($p < 0{,}001$) (Tab. 48, Anhang). Die Tests der Zwischensubjekteffekte zeigten für die drei Farbwerte L*, a* und b* der Oberfläche eine höchstsignifikante Beziehung zur Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe (Tab. 59, Anhang).

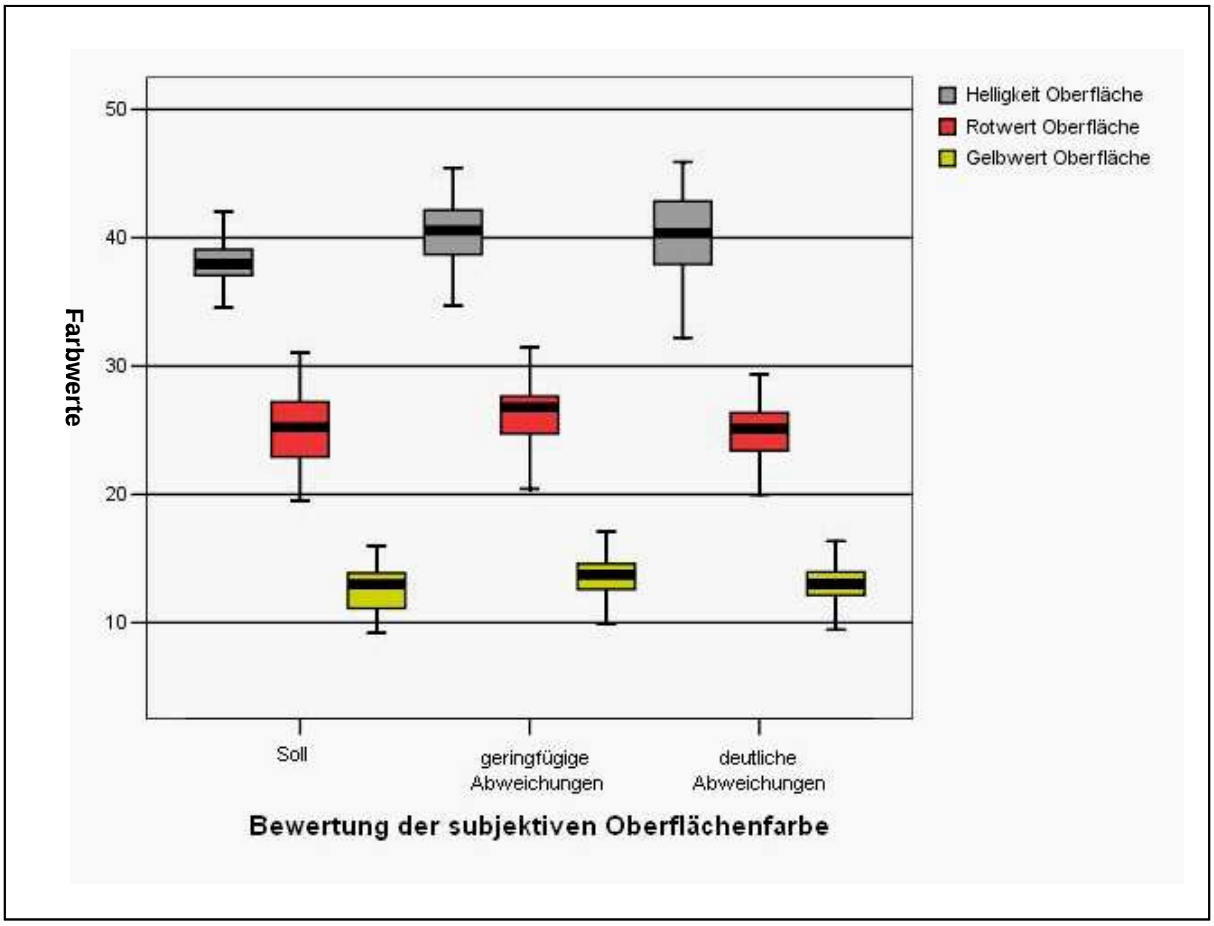


**Abb. 28:** Zusammenhang zwischen L*a*b* Oberfläche und der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe

In Bezug auf die abstufende Bewertung des Geruches ist für die objektive Farbe in Abb. 29 kein eindeutiger Trend feststellbar. Die Mediane der Helligkeit von Anschnitt und Oberfläche lagen für die unerheblichen und nicht unerheblichen Abweichungen leicht über denen des Sollbereiches. Die Mediane der Helligkeiten bei der Bewertung „erhebliche Abweichungen“ lagen jedoch nur minimal über denen des Soll. Die Gelbwerte veränderten sich innerhalb der Bewertungsstufen kaum. Für die Rotwerte von Anschnitt und Oberfläche war ein leichter Anstieg der Mediane vom Soll bis zu den erheblichen Abweichungen auszumachen.

Der Einfluss der Bewertung des Geruches auf die objektive Anschnittsfarbe erwies sich in multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) als höchstsignifikant ($p < 0,001$). Der Einfluss der Bewertung des Geruches auf die objektive Oberflächenfarbe war hochsignifikant ($p = 0,001$) (Tab. 49 und 50, Anhang). Bei Prüfung der Zwischensubjekteffekte hingen Helligkeit und Gelbwert des Anschnitts höchstsignifikant und der Rotwert des Anschnitts hochsignifikant mit der Bewertung des Geruches zusammen. Die Beziehung zwischen Bewertung des Geruches und Helligkeit sowie Gelbwert der Oberfläche war hochsignifikant ($p < 0,01$). Der Rotwert der Oberfläche hing signifikant ($p < 0,05$) mit der Bewertung des Geruches zusammen (Tab. 59, Anhang).

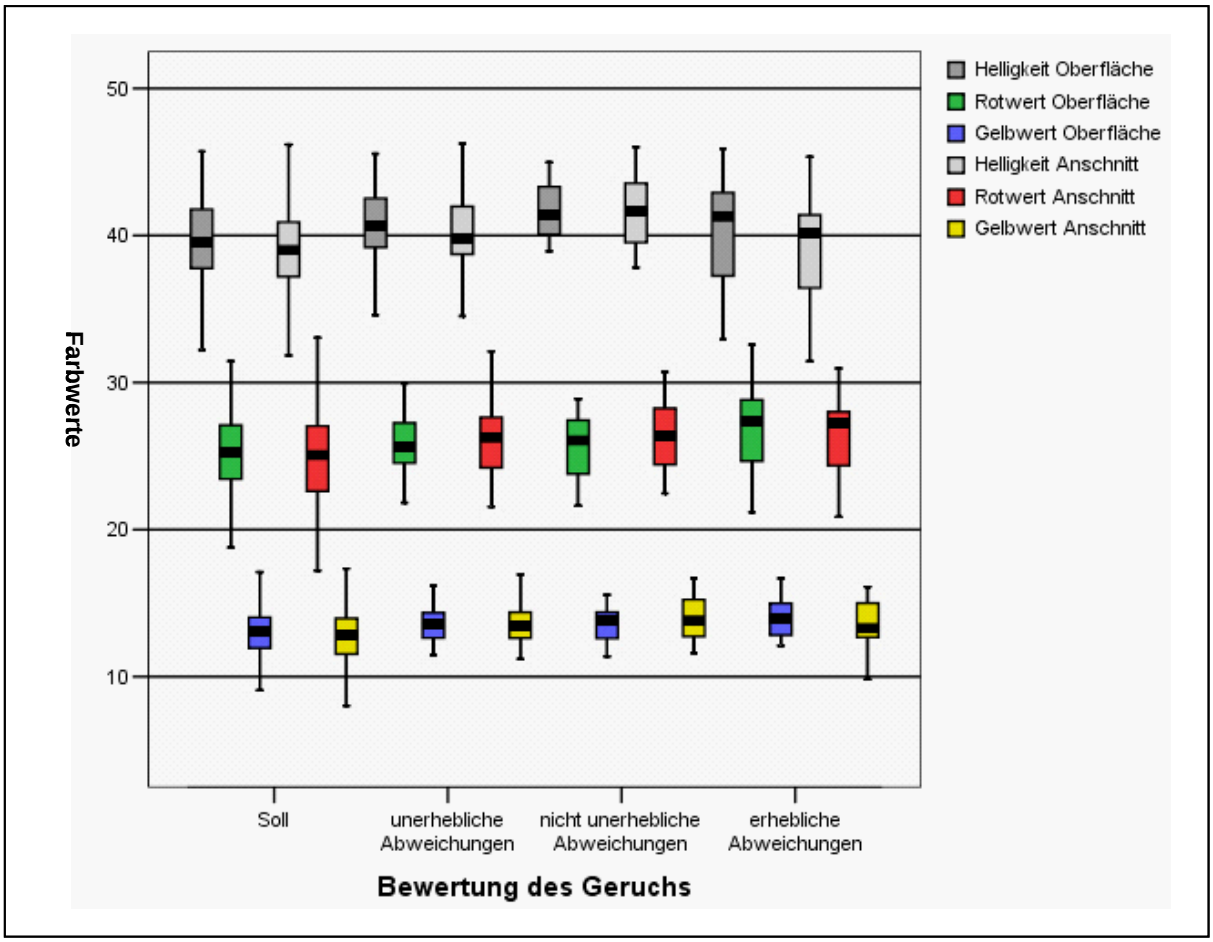


**Abb. 29:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Bewertung des Geruchs

Für die einzelnen Abstufungen der Konsistenz ist in Abb. 30 ein leichter Anstieg der Mediane der Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche von „fest“ nach „autolytisch“ feststellbar. Vor allem in den Helligkeit $L^*_A$ und $L^*_O$ zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Bewertungen „fest“, „fest-mürbe“ und allen Gruppen ab „mürbe“.

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) wirkte die Konsistenz höchstsignifikant ($p < 0,001$) sowohl auf die objektive Oberflächen- als auch auf die objektive Anschnittsfarbe (Tab. 51 und 52, Anhang). Zwischen den Einzelmessungen der Farbwerte L*a*b* für Oberfläche und Anschnitt und der Konsistenz bestanden ebenfalls höchstsignifikante Beziehungen (Tab. 59, Anhang).

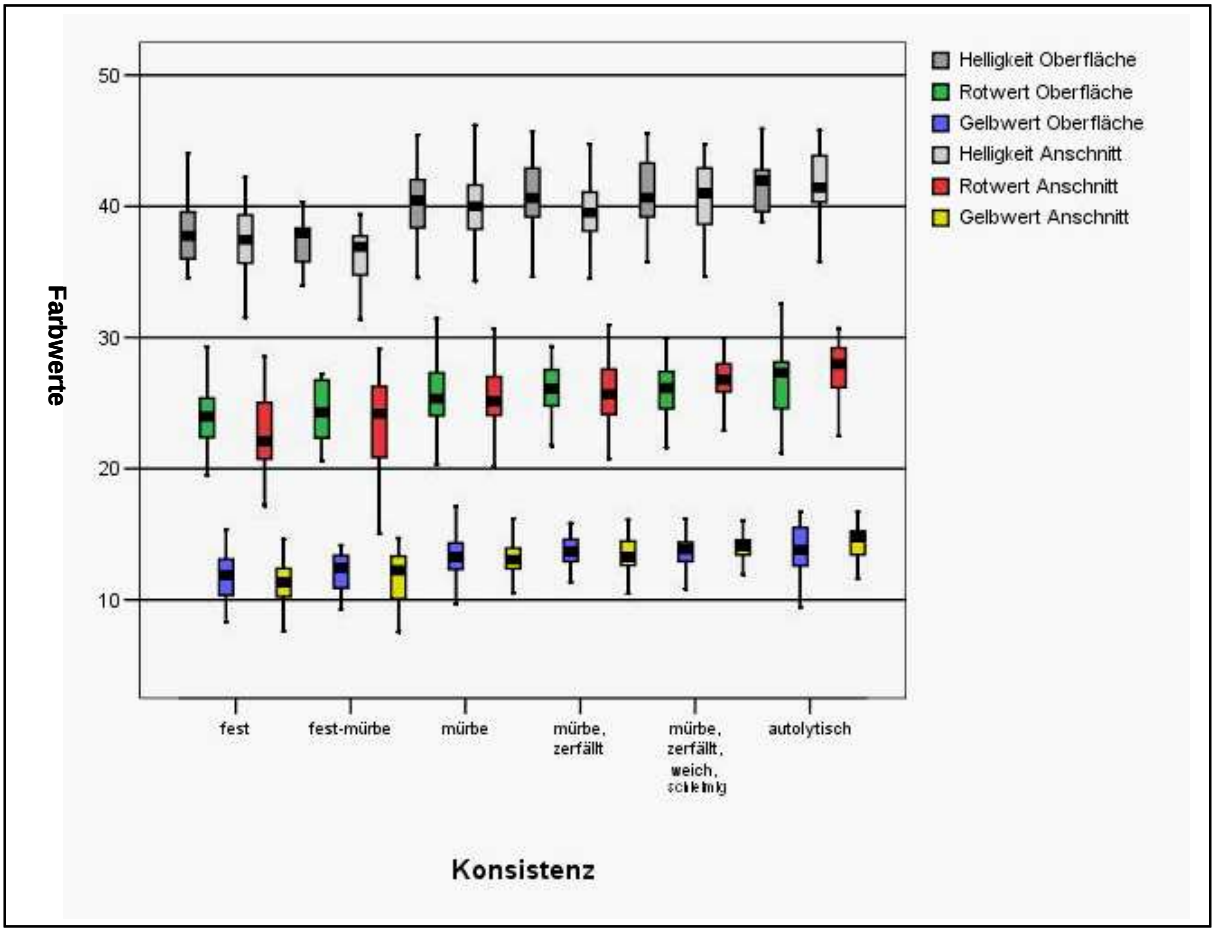


**Abb. 30:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Konsistenz

Bei Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Fleischsaftmenge und objektiver Farbe zeigte sich für Helligkeit, Rot- und Gelbwert von Anschnitt und Oberfläche eine Differenz zwischen der Beurteilung „0-gering“ und den übrigen Beurteilungen, die deutliche höhere Farbwerte aufweisen (Abb. 31). Die Helligkeiten $L^*_A$ und $L^*_O$ stiegen von „gering“ über „mäßig“ zu „deutlich“ hin an, fielen dann aber bei großen Fleischsaftmengen („viel“) wieder ab. Die Rotwerte $a^*_A$ und $a^*_O$ fielen von „gering“ zu „viel“ leicht ab, blieben jedoch über dem Niveau des minimalen Flüssigkeitsabsatzes („0-gering“). Gleiches zeigte sich für die Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche.

Der Wirkung der Fleischsaftmenge auf die objektive Oberflächen- sowie Anschnittsfarbe war in multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) höchstsignifikant (Tab. 53 und 54, Anhang). Auch in den Tests der Zwischensubjekteffekte zeigte sich zwischen Fleischsaftmenge und den Farbwerten L*a*b* für die Oberfläche bzw. den Anschnitt ein höchstsignifikanter Zusammenhang (Tab. 59, Anhang).

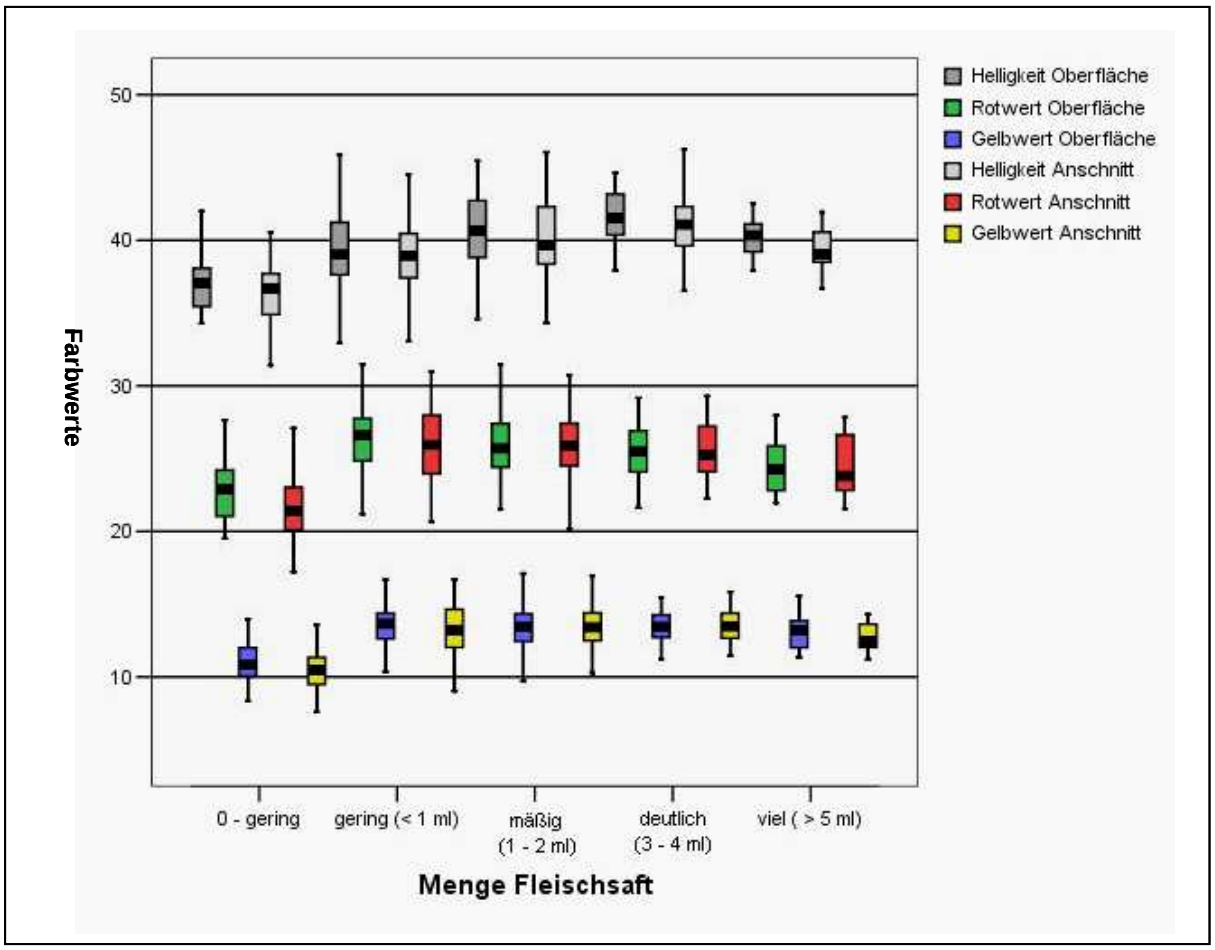


**Abb. 31:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Menge des Fleischsaftes

Für die Rot- und Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche kann aus Abb. 32 kein besonderer Einfluss der vier verschiedenen Beurteilungsgruppen der Fleischsaftbeschaffenheit abgeleitet werden. Die Helligkeit von Anschnitt und Oberfläche lag für klaren Fleischsaft niedriger als für trüben Fleischsaft. Für Fleischsaft mit der Bewertung „rötlich-trüb“, „braun-schleimig“ lagen die Mediane der Helligkeiten nochmals über denen für trüben Fleischsaft.

In multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) war der Einfluss der Fleischsaftbeschaffenheit auf die objektive Oberflächen- und die objektive Anschnittsfarbe höchstsignifikant (Tab. 55 und 56, Anhang). Die Tests der Zwischensubjekteffekte zeigten für die Helligkeit von Oberfläche und Anschnitt eine höchstsignifikante Beziehung zur Fleischsaftbeschaffenheit. Der Rot- und der Gelbwert des Anschnittes sowie der Gelbwert der Oberfläche waren hochsignifikant mit der Fleischsaftbeschaffenheit verknüpft. Zwischen Rotwert der Oberfläche und Fleischsaftbeschaffenheit bestand eine signifikante Beziehung (Tab. 59, Anhang).

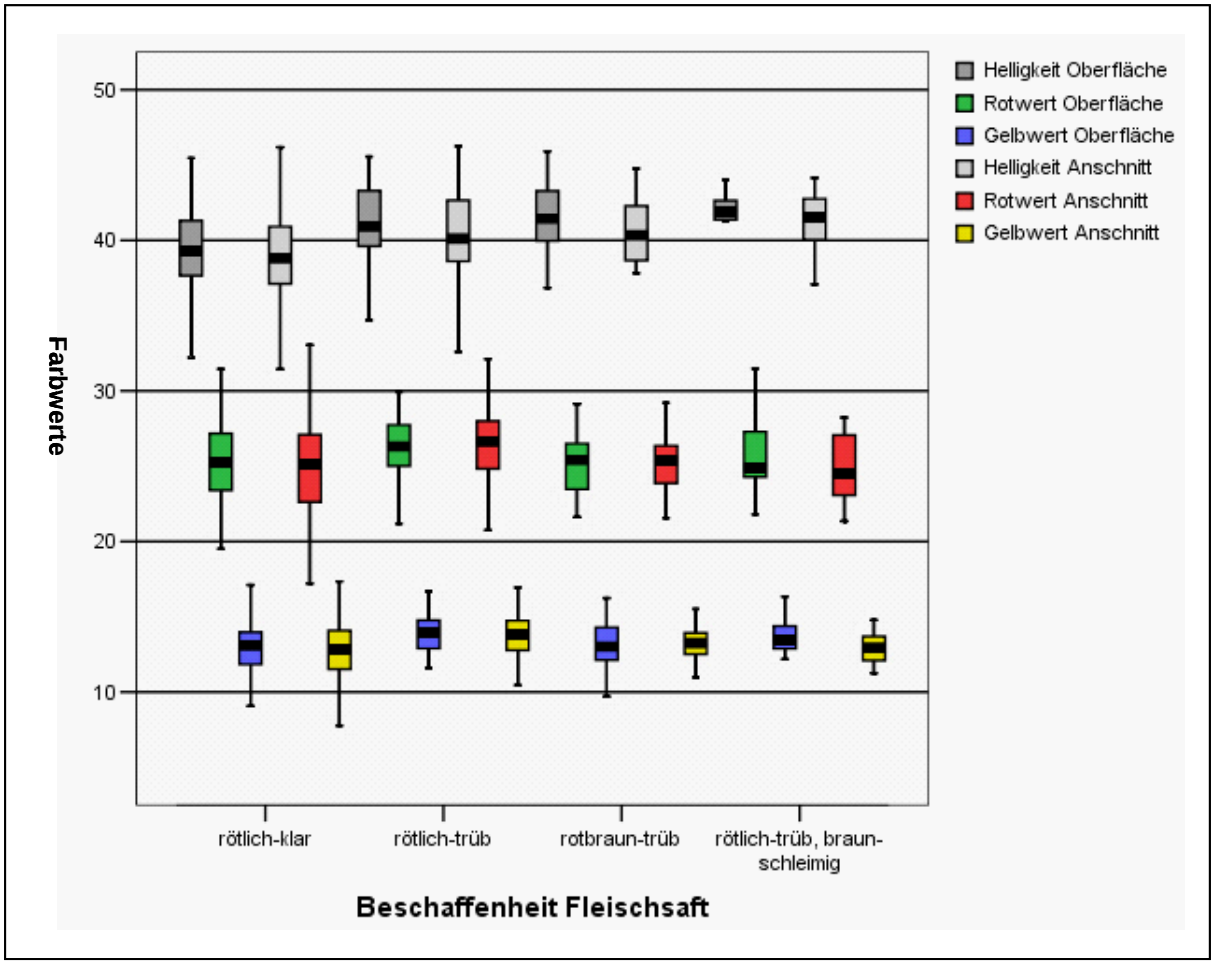


**Abb. 32:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Beschaffenheit des Fleischsaftes

Die Textur des Rindfleisches hat nach Abb. 33 keinen deutlichen Einfluss auf die Helligkeit von Anschnitt und Oberfläche. Die Mediane von Rot- und Gelbwert beider Messlokalisationen lagen für marmorierte und stark marmorierte Fleischproben nur geringfügig über den Medianen von Fleischproben, bei denen ausschließlich Muskelgewebe feststellbar war.

Der Zusammenhang zwischen Textur und objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) erwies sich in multivariaten Tests (Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy) als signifikant (Tab. 57 und 58, Anhang). In den Tests der Zwischensubjekteffekte zeigte sich, dass zwischen der Helligkeit sowohl der Oberfläche als auch des Anschnittes und der Textur kein signifikanter Zusammenhang vorlag ($p = 0,718$ bzw. $p = 0,860$). Die Beziehung zwischen Textur und Rot- sowie Gelbwert des Anschnitts und Gelbwert der Oberfläche war hochsignifikant. Der Rotwert der Oberfläche war signifikant mit der Textur des Rindfleisches verknüpft (Tab. 59, Anhang).

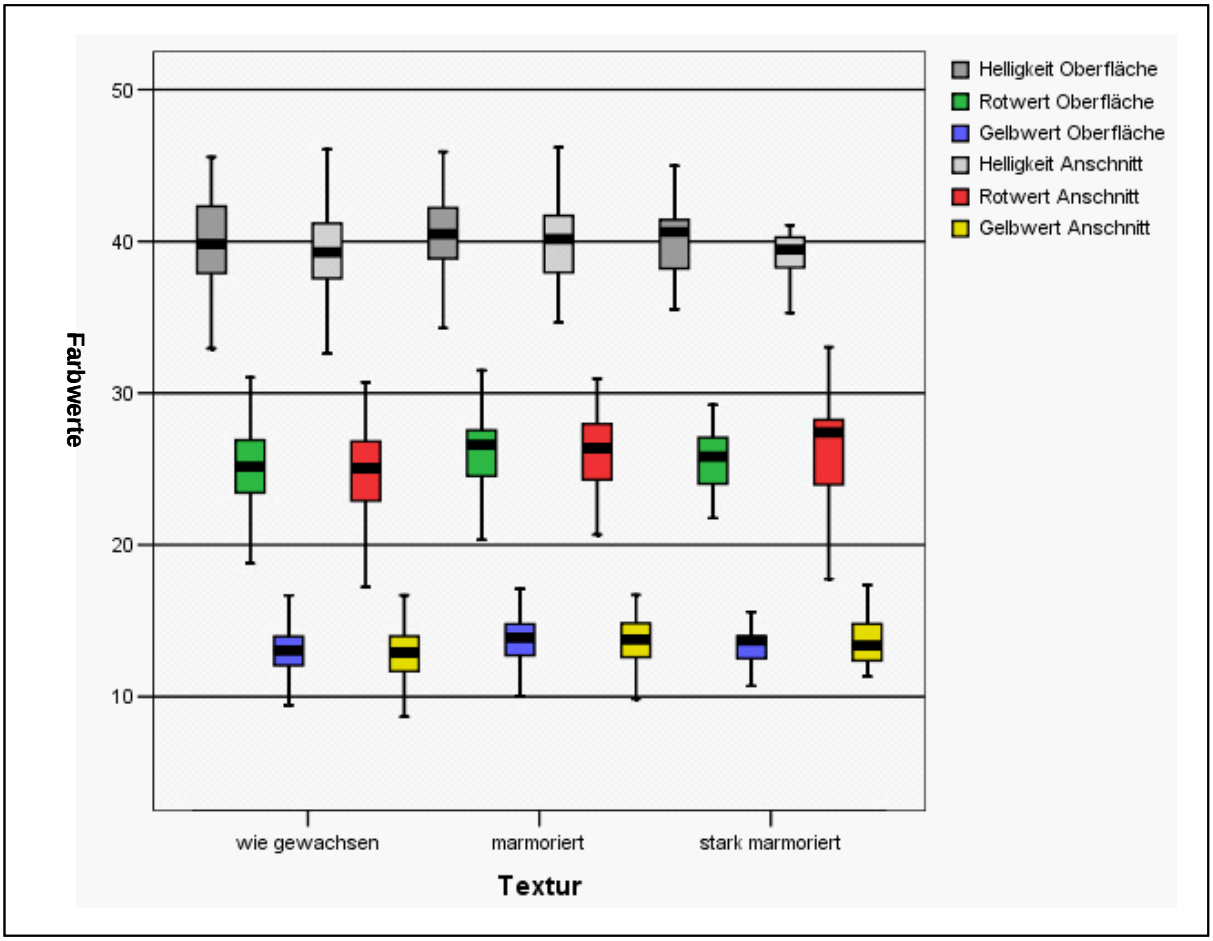


**Abb. 33:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Textur des Fleisches

#### 4.2.2.7 Einfluss des mikrobiologischen Status auf die objektive Fleischfarbe L*a*b*

Der Einfluss des mikrobiologischen Status auf die objektive Fleischfarbe wurde an 270 Rindfleischproben über die Dauer einer achtwöchigen Lagerung überprüft.

Von den mikrobiologischen Kenngrößen zeigte sich ausschließlich für den dekadischen Logarithmus der Laktobazillen-Zahl eine Evidenz für einen Einfluss auf die objektive Anschnittsfarbe (Tab. 32). Die Signifikanz entsprach der Grenze des Signifikanzniveaus von $p < 0,05$. In den Tests der Zwischensubjekteffekte (Tab. 45, Anhang) bestätigte sich diese Evidenz und es konnte ein signifikanter Einfluss des Logarithmus der Laktobazillen-Zahl auf den Rotwert $a^*_A$ und den Gelbwert $b^*_A$ nachgewiesen werden ($p = 0,006$ sowohl für $a^*_A$ als auch für $b^*_A$).

**Tab. 32:** Multivariate Tests für die objektive Anschnittsfarbe in Kombination mit lg GKZ, lg LB, lg MSB

| Effekt | Signifikanz | Multivariate Tests |
|---|---|---|
| lg GKZ | 0,189 nicht signifikant | Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy |
| lg LB | 0,050 knapp signifikant | |
| lg MSB | 0,940 nicht signifikant | |

In Bezug auf die objektive Oberflächenfarbe besass ebenfalls nur der dekadische Logarithmus der Laktobazillen-Zahl einen signifikanten Einfluss (Tab. 33). In den Tests der Zwischensubjekteffekte (Tab. 46, Anhang) zeigte dagegen auch der dekadische Logarithmus der Gesamtkeimzahl einen signifikanten Einfluss auf die Helligkeit der Oberfläche ($p = 0,029$). Der Logarithmus der Laktobazillen-Zahl wies einen signifikanten Einfluss nur auf den Gelbwert der Oberfläche auf ($p = 0,011$). Diese Unterschiede zwischen den multivariaten Tests und den Tests der Zwischensubjekteffekte sind mathematisch zu erklären (s. 4.2.2.4). Wenn nur ein Farbwert signifikant durch einen mikrobiologischen Parameter beeinflusst wird, dann entscheidet die Stärke der Signifikanz darüber, ob dieser Parameter auch signifikant auf die objektive Oberflächenfarbe, bestehend aus den drei Farbwerten $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$, wirkt.

**Tab. 33:** Multivariate Tests für die objektive Oberflächenfarbe in Kombination mit lg GKZ, lg LB, lg MSB

| Effekt | Signifikanz | Multivariate Tests |
|---|---|---|
| lg GKZ | 0,066 nicht signifikant | Pillai-Spur; Wilks-Lambda; Hotelling-Spur; größte charakteristische Wurzel nach Roy |
| lg LB | 0,041 signifikant | |
| lg MSB | 0,256 nicht signifikant | |

Der Zusammenhang zwischen Gesamtkeimzahl, Laktobazillen-Zahl, Milchsäurebakterien-Zahl und objektiver Anschnitts- ($L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$) bzw. Oberflächenfarbe ($L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$) ist graphisch in den Abb. 55 bis 60 im Anhang dargestellt.

#### 4.2.2.8 Entwicklung der mikrobiologischen Kennzahlen über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung

Über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum wurden für 30 Fleischproben pro Lagerwoche die mikrobiologischen Kenngrößen Gesamtkeimzahl, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl bestimmt. Die Veränderung der mikrobiologischen Kriterien im Verlauf der Lagerung ist in Abb. 34 graphisch in Form von Boxplots dargestellt.

Für die Gesamtkeimzahl konnte ein kontinuierlicher Anstieg mit zunehmender Lagerungsdauer beobachtet werden. Dieser Anstieg der GKZ war von Lagerwoche 0 bis 5 sehr deutlich ausgeprägt. Von Lagerwoche 5 bis 8 stieg die GKZ weiter, jedoch geringer an. In den Lagerwochen 0 und 1 lagen die Mediane von Laktobazillen und Milchsäurebakterien im Bereich der Nachweisgrenze (10 KbE/cm$^2$). Ab der 2. Lagerwoche wurde auch für die Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahlen ein kontinuierlicher, deutlicher Anstieg bis zur 5. Lagerwoche gefunden. Von Lagerwoche 5 bis 8 stiegen die Gehalte an LB und MSB geringgradig weiter an.

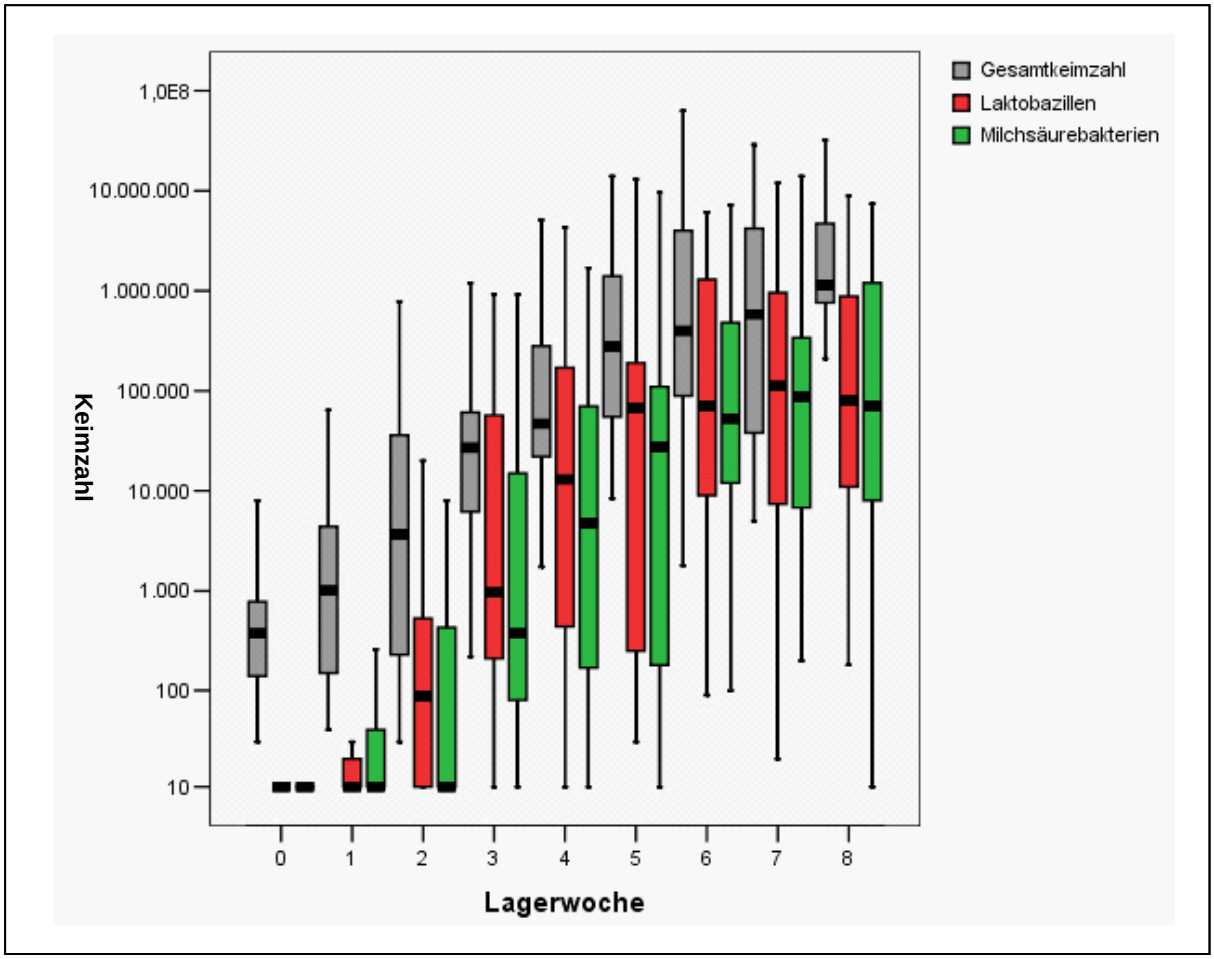


**Abb. 34:** Entwicklung der mikrobiologischen Kennzahlen (GKZ, LB, MSB) über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum

#### 4.2.2.9 Einfluss des mikrobiologischen Status auf die Bewertung der sensorischen Untersuchungsparameter subjektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe sowie Geruch

Die Mittelwerte von Gesamtkeimzahl, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl lagen für das Soll der Bewertung von subjektiver Oberflächen- und Anschnittsfarbe höchstens eine Zehnerpotenz niedriger als für die geringfügigen und deutlichen Abweichungen. Bei der Bewertung des Geruchs befanden sich die Mittelwerte der Gesamtkeimzahl im Sollbereich eine Zehnerpotenz niedriger als die Werte für unerhebliche, nicht unerhebliche und erhebliche Abweichungen. Der Mittelwert der Laktobazillen lag im Bereich der unerheblichen und nicht unerheblichen Abweichungen des Geruchs um eine, im Bereich der erheblichen Abweichungen um zwei Zehnerpotenzen über dem Sollbereich. Bei den Milchsäurebakterien wiesen das Soll und die unerheblichen Abweichungen das gleiche Niveau auf und die nicht unerheblichen sowie erheblichen Abweichungen lagen eine Zehnerpotenz höher (Tab. 34).

**Tab. 34:** Beziehung der mikrobiologischen Kenngrößen zur Bewertung der sensorischen Parameter subjektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe sowie Geruch

| | | **Mittelwertangaben in KbE/cm²** | | |
|---|---|---|---|---|
| Parameter | Bewertung dieser Parameter | **Gesamtkeim-zahl** | **Laktobazillen** | **Milchsäure-bakterien** |
| **Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe** | Soll | $3{,}2 \times 10^5$ | $4{,}3 \times 10^5$ | $3{,}9 \times 10^5$ |
| | geringfügige Abweichungen | $5{,}7 \times 10^5$ | $4{,}1 \times 10^6$ | $7{,}2 \times 10^6$ |
| | deutliche Abweichungen | $4{,}1 \times 10^6$ | $6{,}1 \times 10^6$ | $3{,}9 \times 10^6$ |
| **Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe** | Soll | $6{,}9 \times 10^5$ | $4{,}6 \times 10^5$ | $4{,}2 \times 10^6$ |
| | geringfügige Abweichungen | $2{,}6 \times 10^6$ | $3{,}6 \times 10^5$ | $7{,}2 \times 10^6$ |
| | deutliche Abweichungen | $7{,}0 \times 10^5$ | $6{,}2 \times 10^6$ | $4{,}0 \times 10^6$ |
| **Bewertung des Geruchs** | Soll | $3{,}8 \times 10^5$ | $9{,}6 \times 10^4$ | $5{,}6 \times 10^5$ |
| | unerhebliche Abweichungen | $1{,}5 \times 10^6$ | $1{,}7 \times 10^5$ | $7{,}1 \times 10^5$ |
| | nicht unerhebliche Abweichungen | $9{,}4 \times 10^6$ | $8{,}2 \times 10^5$ | $3{,}2 \times 10^6$ |
| | erhebliche Abweichungen | $5{,}2 \times 10^6$ | $4{,}3 \times 10^6$ | $7{,}2 \times 10^6$ |

#### 4.2.2.10 Korrelationen der mikrobiologischen und sensorischen Untersuchungsparameter

In der vorliegenden Studie wurden die Korrelationen zwischen den mikrobiologischen Kenngrößen, den einzelnen sensorischen Parametern sowie den mikrobiologischen und sensorischen Kriterien untersucht. Die ermittelten Korrelationen sind ausführlich in Tab. 60 im Anhang aufgeführt.

Sehr starke, hochsignifikante Korrelationen existierten innerhalb der mikrobiologischen Untersuchungsparameter (Gesamtkeimzahl, Laktobazillen, Milchsäurebakterien). Zwischen der Bewertung des Geruchs und der Beschaffenheit des Fleischsaftes konnte ein starker, hochsignifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden ($r = 0,621$).

Mittlere, aber hochsignifikante Korrelationen traten zwischen der Bewertung des Geruchs und den mikrobiologischen Kenngrößen (GKZ, LB, MSB) auf. Des Weiteren fanden sich mittelstarke Zusammenhänge zwischen der Konsistenz des Fleisches und den mikrobiologischen Parametern (GKZ, LB, MSB) sowie der Fleischsaftbeschaffenheit und den mikrobiologischen Parametern (GKZ, LB, MSB). Eine mittlere, jedoch hochsignifikante Korrelation bestand auch zwischen der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe und der Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe ($r = 0,484$). Zudem waren mittelstarke Zusammenhänge zwischen der Konsistenz und der Fleischsaftbeschaffenheit bzw. der Bewertung des Geruchs existent.

Schwache, aber hochsignifikante Korrelationen zeigten sich zwischen der Bewertung der Oberflächenfarbe und den Parametern GKZ, LB, MSB, Bewertung von Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge und Fleischsaftbeschaffenheit. Diese schwachen, hochsignifikanten Zusammenhänge waren auch für die Bewertung der Anschnittsfarbe und die Parameter GKZ, Konsistenz, Fleischsaftmenge und Fleischsaftbeschaffenheit nachweisbar. Schwache und signifikante Korrelationen konnten zwischen der Bewertung der Anschnittsfarbe und LB, MSB sowie der Bewertung des Geruchs aufgezeigt werden.

Der Zusammenhang zwischen den sensorischen Parametern und den Keimgehalten (GKZ, LB, MSB) ist in Abb. 61 bis 67 im Anhang dargestellt. Zwischen den Beurteilungsgruppen aller sensorischen Parameter zeigten sich deutliche Unterschiede der mikrobiologischen Kenngrößen (GKZ, LB, MSB). Für die Kriterien Bewertung der subjektiven Anschnitts- bzw. Oberflächenfarbe, Bewertung von Geruch, Konsistenz, Fleischsaftbeschaffenheit und Textur stiegen die Oberflächenkeimgehalte vom Rang „Soll“ bzw. dem Ausgangszustand mit zunehmenden sensorischen Veränderungen und Abweichungen an. Für den Parameter Fleischsaftmenge lagen die Keimzahlen des Ranges „gering“ deutlich über dem Ausgangszustand „0-gering“. Sie fielen jedoch mit zunehmender Fleischsaftmenge bis zur Beurteilung „viel“ wieder ab.

# 5 DISKUSSION

Um den Ansprüchen des Verbraucherschutzes und den Wünschen der Verbraucher gerecht zu werden, müssen fleischerzeugende und -vermarktende Betriebe die Qualität ihres Produktes Rindfleisch ständig überprüfen. Im Rahmen dieser Qualitätsbeurteilung wird die Fleischfarbe meist durch eine sensorische Untersuchung bewertet. Dieses Vorgehen ist jedoch mit Problemen behaftet. Eine sensorische Beurteilung von Rindfleisch ist trotz eines hohen Standardisierungs- und Objektivierungsbemühens abhängig von den durchführenden Personen, insbesondere deren Erfahrung, sowie von äußeren Einflüssen. Grundvoraussetzung für die Qualitätssicherung ist daher die Verfügbarkeit objektiv messbarer Kriterien für die Beurteilung der Fleischgüte. Die vorliegenden Untersuchungen hatten zum Ziel, die Messung der objektiven Rindfleischfarbe nach dem L*a*b*-System praktikabler zu gestalten und Referenzdaten für das Verhalten der Farbe von Rindfleisch exemplarisch am Beispiel Roastbeef während der Lagerung zu erarbeiten.

## 5.1 Voruntersuchungen

### 5.1.1 Farbmessung in der Zerlegung (Vorversuch I)

Die Farbmessung unmittelbar im Anschluss an die Zerlegung wurde im Vorversuch I an 255 Jungbullen-Roastbeefs durchgeführt. Dabei wurden mögliche Einflussfaktoren, wie die Zeitspanne zur Farbaufhellung (10 min bei + 12°C) und die Messposition (frischer Anschnitt), im Untersuchungsmaterial konstant gehalten.

Die Farbmessungen der vorliegenden Studie ergaben ein arithmetisches Mittel von 33,12 für die Helligkeit L*. Die Helligkeit lag damit geringgradig unter dem für Rindfleisch in der Literatur angegebenen Grenzwert von L* > 34 für Rindfleisch mit erwünschten sensorischen Eigenschaften (TEMISAN und AUGUSTINI, 1989; CMA, 1991a; SCHWÄGELE, 1993). Diese niedrige Fleischhelligkeit kann durch die geringe Zeitdauer zwischen der Schaffung des frischen Anschnittes beim Zerlegen und der Farbmessung erklärt werden. Nach HONIKEL (2000) sollte Fleisch vor der Farbmessung eine Stunde lang bei + 3°C die Möglichkeit zur Anreicherung mit

Sauerstoff, zum so genannten „blooming“, erhalten. Aufgrund des unabänderlichen Zerlegeablaufes mit unmittelbar angeschlossener Verpackung konnte diese Zeitspanne unter den vorliegenden Versuchsbedingungen nicht eingehalten werden. Das untersuchte Roastbeef wurde deshalb lediglich über 10 Minuten bei + 12°C Raumtemperatur gelagert. Die kurze Zeitspanne resultierte in niedrigen Fleischhelligkeitswerten, aber auch die Rot-Grün-Werte a* (Mittel: 18,45) und die Gelb-Blau-Werte b* (Mittel: 6,62) lagen niedriger als erwartet. Nach FELDHUSEN (1994) verbessern niedrige Kühltemperaturen die Sauerstofflöslichkeit im Muskelgewebe. Bei tiefen Temperaturen (+ 3°C) wird demnach vermehrt Oxymyoglobin gebildet und die hellrote, erwünschte Fleischfarbe tritt schneller hervor. Tiefe Temperaturen verkürzen die Zeitspanne, die das Fleisch zum „blooming“ benötigt. Die in der vorliegenden Arbeit gegebene höhere Temperatur (+ 12°C) führte zu einer schlechteren Sauerstofflöslichkeit und verzögerte dadurch die Ausprägung der erwünschten Farbe des Rindfleisches.

Für die objektive Rindfleischfarbe L*a*b* unmittelbar nach der Zerlegung sind bisher in der Literatur keine Untersuchungen publiziert. Die Farbmessung nach der Zerlegung fand in den eigenen Untersuchungen zu einem Zeitpunkt von 15 bis 20 Stunden p. m. statt. Die gemessenen Farbwerte sind in Tab. 35 den von HOFFMANN (2003) für den *M. longissimus dorsi* 17 Stunden p. m. ermittelten gegenüber gestellt. Dabei ist zu beachten, dass das Fleisch in der Studie von HOFFMANN (2003) eine Stunde Zeit zum „blooming“ erhielt.

**Tab. 35:** Vergleich der Farbwerte L*a*b* (Zerlegung) aus den eigenen Untersuchungen mit den Farbwerten von HOFFMANN (2003)

| | Farbwerte des Roastbeef in der Zerlegung (15 - 20 h p. m.) | Farbwerte des Roastbeef 17 h p. m. nach HOFFMANN (2003) |
|---|---|---|
| **Helligkeit L*** | 33,12 | 37,59 |
| **Rot-Grün-Wert a*** | 18,45 | 20,60 |
| **Gelb-Blau-Wert b*** | 6,62 | 8,58 |

Die Fleischhelligkeit in der vorliegenden Untersuchung lag deutlich unter der von HOFFMANN (2003) gemessenen. Rot- und Gelbwert unterschritten die Vergleichswerte ebenfalls, jedoch in geringerem Maße. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vorliegende Farbmessung unter Praxis- und Routinebedingungen am Schlachthof unmittelbar nach der Zerlegung nicht ohne weiteres mit einer standardisierten Farbmessung unter Laborbedingungen verglichen werden kann. Sie stellt jedoch das einzig praktikable Verfahren dar, um den wichtigen Qualitätsparameter Fleischfarbe on-line (am Zerlegeband) schnell und ohne Störung des Betriebsablaufes zu prüfen. Die in dieser Untersuchung ermittelten Farbwerte L*a*b* für das wertgebende Teilstück *M. longissimus dorsi* können als Grundlage für die Farbmessung verschiedener Teilstücke in der Zerlegung dienen. Des Weiteren ermöglicht die on-line Farbmessung aufgrund von betriebsübergreifend ähnlich organisierten Zerlegeabläufen einen Vergleich der erzielten Fleischfarbe zwischen verschiedenen Schlachtbetrieben sowie die Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren (Zutrieb, Betäubung, Kühlung), die im Rahmen der Schlachtung und Zerlegung Auswirkungen auf die Farbe von Rindfleisch haben.

### 5.1.2 Farbverteilung im *M. longissimus dorsi* (Vorversuch II)

Zur Festlegung einer geeigneten Messposition für die Farbmessung am Teilstück Roastbeef spielt die Farbverteilung innerhalb des *M. longissimus dorsi* eine wichtige Rolle. Diese Fragestellung wurde in der vorliegenden Untersuchung erstmals bearbeitet. Hinweise lieferte eine Studie an Schweinefleisch, in der die Messposition für die Farbmessung am *M. longissimus dorsi* relativ eng auf den farbkonstanten, für den gesamten Muskel repräsentativen Bereich zwischen den letzten Brustwirbeln und den ersten Lendenwirbeln eingegrenzt werden konnte (MUCK, 2000).

Die Ergebnisse des Vorversuches II ließen darauf schließen, dass die Farbe innerhalb des *M. longissimus dorsi* beim Rind homogen verteilt ist. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Scheiben, die aus dem Roastbeef eines Tieres gewonnen wurden, festgestellt werden. Folglich muss beim Rind für den *M. longissimus dorsi* keine bestimmte anatomische Position zur Farbmessung definiert werden. Diese gleichmäßige Farbverteilung stellte zudem eine wichtige Grundlage für den Hauptversuch dar. Es war davon auszugehen, dass die

10 Scheiben, die aus jedem Roastbeef gewonnen wurden, auch während der achtwöchigen Lagerung eine vergleichbare Farbentwicklung vollziehen.

Neben der Farbverteilung innerhalb des *M. longissimus dorsi* wurde zeitgleich die Farbmessung an der Muskeloberfläche mit der an einem frischen Anschnitt verglichen. Diese Fragestellung ergab sich aus der Empfehlung, immer an einem frischen Anschnitt nach einstündigem „blooming“ bei + 3 °C die Farbwerte L*a*b* zu bestimmen (HONIKEL, 2000). Die Forderung nach dem frischen Anschneiden des Roastbeefs erschwert jedoch die Praktikabilität der Farbmessung, da das Roastbeef ein wichtiges wertgebendes Teilstück des Rinderschlachttierkörpers ist. Ein neuer Anschnitt am *M. longissimus dorsi* geht daher immer mit einem Wertverlust einher, was ein Grund für die seltene Anwendung der Farbmessung in der Praxis ist. In den vorliegenden Untersuchungen zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der objektiven Fleischfarbe zwischen der Messung der Oberflächenfarbe und der Farbmessung an einem frischen Anschnitt des *M. longissimus dorsi*. Die Farbwerte L*a*b* lagen bei der spätpostmortalen Farbmessung nach der Zerlegung (15 bis 20 h p. m.) für die beiden Messpositionen sehr eng zusammen (Tab. 14). Bei der spätpostmortalen Farbmessung hat somit die gewählte Messposition am Roastbeef keinen Einfluss auf die Farbe. Die Messung der objektiven Fleischfarbe kann zu diesem Zeitpunkt an der bestehenden Muskeloberfläche mit der gleichen Sicherheit durchgeführt werden, wie an einem frischen Anschnitt. Für die Farbmessung im Zerlegebetrieb spielt dies eine wichtige Rolle, da die für den Konsumenten wichtige Fleischfarbe ohne Wertverlust am Roastbeef ermittelt werden kann.

Zwischen den sechs untersuchten Roastbeefs, also zwischen den einzelnen Schlachttierkörpern, zeigten sich andererseits signifikante Unterschiede. Die objektive Farbe des *M. longissimus dorsi* ist somit in gewissen Grenzen zwischen den Tieren individuell verschieden.

## 5.2 Lagerversuch

### 5.2.1 Beziehung zwischen objektiver Oberflächen- und Anschnittsfarbe

Eine Beziehung zwischen objektiver Oberflächen- und Anschnittsfarbe ist für die praktische Anwendung der Farbmessung von großer Bedeutung. Die Bestimmung der Fleischfarbe L*a*b* an der Oberfläche weist im Vergleich zur Farbmessung an einem frisch gesetzten Anschnitt die Vorteile von höherer Schnelligkeit, Unversehrtheit des Teilstückes und geringerer mikrobieller Kontamination auf.

In den eigenen Voruntersuchungen ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Oberflächen- und Anschnittsfarbe am Tag der Zerlegung nachweisen. Dies wurde über die achtwöchige Lagerung der Roastbeefs im Hauptversuch verfolgt. Für die einzelnen Lagerwochen wurden die Korrelationen der beiden Messpositionen bestimmt und geprüft, ob gegebenenfalls signifikante Unterschiede zwischen den beiden Lokalisationen aufzuzeigen wären.

Ein Zusammenhang der Farbwerte L*a*b* für die beiden Messlokalisationen war gegeben, aber innerhalb der verschiedenen Lagerwochen unterschiedlich deutlich ausgeprägt. Aus den Korrelationen konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang von Oberflächen- und Anschnittsfarbe für die Lagerwochen 1, 2, 3, 4, 7 und 8 abgeleitet werden. Dieser zeigte sich auch für die Rot- und Gelbwerte in Lagerwoche 0 sowie für die Helligkeiten und Rotwerte der Lagerwochen 5 und 6. Signifikante Unterschiede zwischen Oberflächen- und Anschnittsfarbe konnten nur für die Rot- und Gelbwerte in Lagerwoche 0, die Rotwerte in Lagerwoche 1 sowie die Helligkeiten in Lagerwoche 2 und 3 nachgewiesen werden.

Die schwache Korrelation der Helligkeiten und die signifikanten Unterschiede zwischen den Rot- bzw. Gelbwerten der beiden Messlokalisationen am Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) können durch die Fleischreifungsprozesse im Anschluss an die Schlachtung erklärt werden. Die pH-Wertsenkung läuft bei Rindfleisch langsam ab, so dass der End-pH-Wert sich erst nach 48 h einstellt. Die Fleischfarbe stabilisiert sich ebenfalls erst 24 bis 48 h nach der Schlachtung (SCHWÄGELE, 1993). Die erste Farbmessung wurde jedoch bereits am Tag der Zerlegung, also

15 bis 20 h p. m., vorgenommen. Des Weiteren weist das Fleisch in den ersten Tagen p. m. noch eine hohe Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme auf, daher ist der Sauerstoffpartialdruck unter der Oberfläche niedrig und es wird nur wenig Oxymyoglobin gebildet (FELDHUSEN et al., 1995a). Es können somit Unterschiede zwischen der Fleischoberfläche und der frischen Oberfläche eines Anschnittes in der Ausbildung von Oxymyoglobin bestehen. Dies kann zu Helligkeitsunterschieden zwischen Oberfläche und Anschnitt am Tag der Zerlegung führen. Durch divergierende Oxymyoglobinbildung und damit unterschiedlich starke Farbwirkung sind ebenso die signifikanten Differenzen zwischen Rot- und Gelbwerten der beiden Messpositionen in der Lagerwoche 0 erklärbar.

Da der Rotwert bis Tag 16 der Reifung deutliche Veränderungen erfährt (BOAKYE und MITTAL, 1996), waren signifikante Unterschiede zwischen Oberfläche und Anschnitt im Rotwert a* in der ersten Lagerwoche zu erwarten. Die signifikanten Unterschiede der Helligkeit zwischen den Messlokalisationen in der 2. und 3. Lagerwoche können auf strukturelle Umbauprozesse während der Fleischreifung zurückzuführen sein. Proteolytische Enzyme bewirken eine Muskelfragmentierung, die zur Lockerung des Muskelgewebes und zur Erhöhung des Wasserbindungsvermögens führt (KÜHNE, 2004). Die Veränderung der Struktur wirkt sich auf die Fleischhelligkeit aus (STEINHAUF et al., 1965; FELDHUSEN, 1994), da die myofibrilläre Struktur und das gebundene Wasser entscheidend für die Streuung und Reflexion des Lichtes sind. Die Struktur des Rindfleisches kann sich aufgrund variierender Umbauprozesse an Fleischoberfläche und Anschnitt (also Tiefe) unterscheiden und auf diese Weise die signifikante Differenz zwischen den Helligkeitswerten bedingen.

Einen Widerspruch scheinen die vorhandenen positiven Korrelationen einzelner Farbwerte bei gleichzeitigem Vorliegen von signifikanten Unterschieden zwischen diesen Farbwerten von Anschnitt und Oberfläche darzustellen. So waren die Rot- bzw. Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche in Lagerwoche 0 höchstsignifikant korreliert, trotzdem lagen signifikante Unterschiede zwischen ihren Mittelwerten vor. In der ersten Lagerwoche waren die Mittelwerte der Rotwerte von Anschnitt und Oberfläche signifikant verschieden, gleichzeitig zeigte sich aber eine signifikante Korrelationen der Rotwerte. Für die Helligkeiten von Anschnitt und Oberfläche in

Lagerwoche 2 und 3 zeigte sich eine höchstsignifikante Korrelation, trotzdem bestanden zwischen ihren Mittelwerten signifikante Unterschiede. Die Ursache dieses scheinbaren Widerspruches ist in der statistischen Vorgehensweise zu suchen. Mit einer Korrelation wird das Verhalten von x (z. B. Helligkeit des Anschnitts) ermittelt, wenn sich y (z. B. Helligkeit der Oberfläche) verändert. Aus der starken, positiven Korrelation der Helligkeiten von Anschnitt und Oberfläche in der zweiten Lagerwoche resultiert, dass bei einem Anstieg der Helligkeit der Oberfläche, auch die Helligkeit des Anschnitts in gleichem Maße ansteigt. Trotzdem können zum gleichen Zeitpunkt (z. B. Lagerwoche 2) signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Helligkeiten von Anschnitt und Oberfläche vorliegen. Signifikante Mittelwertunterschiede können schon dadurch erreicht werden, dass z. B. die Helligkeit des Anschnitts durchschnittlich 10% unter der Helligkeit der Oberfläche liegt. Die Helligkeiten von Anschnitt und Oberfläche liegen auf zahlenmäßig unterschiedlich hohen Niveaus, reagieren aber in gleicher Weise auf äußere Einflüsse. Daraus folgt, dass Proben mit hoher Helligkeit der Oberfläche auch eine hohe Helligkeit des Anschnitts aufweisen. Wenn die beiden Messpositionen stark positiv korreliert sind, reicht es daher aus, trotz eventuell bestehender signifikanter Unterschiede im Mittelwert, eine der beiden Messpositionen zu betrachten. Die Farbmessung könnte somit sowohl an einem frischen Anschnitt als auch an der Oberfläche des *M. longissimus dorsi* erfolgen und hätte die gleiche Aussagekraft.

Zur Standardisierung wird die Farbmessung an einem frisch gesetzten Anschnitt empfohlen (HONIKEL, 2000). Die Messung am frischen Anschnitt besitzt den Vorteil, dass in der Tiefe des Fleisches beurteilt wird. Die Tiefe des Fleisches wird weniger stark durch Umweltfaktoren wie Beleuchtung, Oberflächenkeimgehalt, Abtrocknung sowie oxidierende Stoffe beeinflusst und unterliegt damit geringeren Farbschwankungen. Für Modellversuche unter Laborbedingungen mit eng umschriebener Fragestellung sollte auch aus dem Grund der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit bereits vorliegenden Publikationen die Farbmessung an einem frisch gesetzten Anschnitt erfolgen.

Unter praktischen Gesichtspunkten ist dagegen der starke Zusammenhang zwischen objektiver Oberflächen- und Anschnittsfarbe von entscheidender Bedeutung. In der Praxis (Zerlegebetrieb, Kühlhaus, Verarbeitungsbetrieb, Fleischtheke, SB-

Fleischtheke) kann alternativ zur Farbmessung am Anschnitt auch die Farbe der bestehenden Rindfleischoberfläche bestimmt werden. Das Unterlassen eines frischen Anschnittes dient zum einem dem Werterhalt des Teilstückes, zum anderen wird auch die damit unvermeidbar einhergehende mikrobielle Kontamination des Fleisches vermieden. Die Messung der Oberflächenfleischfarbe ist demnach als schnelles, einfaches Verfahren für die Bestimmung des wichtigen Qualitätsparameters Rindfleischfarbe vor Ort geeignet. Die Möglichkeit der sicheren Bestimmung der Fleischfarbe L*a*b* ohne Wertverlust sollte die Akzeptanz und Verbreitung der Farbmessung in der Fleischwirtschaft steigern.

### 5.2.2 Entwicklung der objektiven Rindfleischfarbe L*a*b* über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung

Da in bisherigen Publikationen die Entwicklung der Rindfleischfarbe maximal bis Tag 16 (FELDHUSEN et al., 1995a; BOAKYE und MITTAL, 1996; ÖNENC und KAYA, 2004), also bis zum Abschluss der Rindfleischreifung, verfolgt worden ist, wurde in der vorliegenden Studie die Entwicklung der objektiven Oberflächen- und Anschnittsfleischfarbe über einen Lagerungszeitraum von acht Wochen untersucht. Dieser Praxisbedingungen entsprechende Untersuchungszeitraum dient der Ermittlung von Richtwerten und Daten (Tab. 29) für das Verhalten der Oberflächen- und Anschnittsfarbe des *M. longissimus dorsi*.

Vom Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) zur ersten Lagerwoche war ein steiler Anstieg der Farbwerte von Anschnitt und Oberfläche zu beobachten. Bis zur zweiten Lagerwoche stiegen die Oberflächen- und Anschnittsfarbwerte weiter, jedoch deutlich flacher an. Diese Veränderung der Fleischfarbe während der Reifung von Rindfleisch ist bereits von BOAKYE und MITTAL (1996) beschrieben worden. Ursachen für den Anstieg der Oberflächen- und Anschnittsfarbwerte während der ersten beiden Lagerwochen sind in den Umbauprozessen, die während der Fleischreifung ablaufen, zu suchen. Die Veränderung der Struktur, durch die proteolytischen Abbauprozesse im Fleisch, und die Erhöhung des Wasserbindungsvermögen bewirken eine verstärkte Streuung und Reflexion des auftreffenden Lichts (STEINHAUF et al., 1965; SCHWÄGELE, 1999). Hieraus ergibt sich ein Anstieg der Fleischhelligkeit von Anschnitt und Oberfläche. Der Anstieg von Rot- und Gelbwert wird durch die zunehmende Bildung von Oxymyoglobin erklärt. Im Laufe der

Fleischreifung nimmt die Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme während der ersten Lagerwoche stark ab (FELDHUSEN et al., 1994; FELDHUSEN et al., 1995a). Der Sauerstoff steht vermehrt zur Oxygenierung des Myoglobins zum kirschroten Oxymyoglobin zu Verfügung. Das Absorptionsspektrum von Oxymyoglobin unterscheidet sich von dem des reduzierten Myoglobins, daher werden andere Wellenlängenanteile des Lichtes reflektiert. Parallel zum prozentualen Anteil an Oxymyoglobin steigt bei Rindfleisch der Rotwert a* an (FELDHUSEN et al., 1995a).

In eigenen Untersuchungen zeigte sich, dass die Farbwerte der Oberfläche und der Gelbwert des Anschnitts sich von der zweiten bis zur fünften Lagerwoche auf einem relativ konstanten Plateau bewegten. Für den Rotwert des Anschnitts dauerte diese Plateauphase nur bis zur vierten Lagerwoche. Die Helligkeit des Anschnitts stieg bis zur fünften Lagerwoche sehr flach und langsam an. Diese geringen Veränderungen der Farbwerte im beschriebenen Zeitraum erklären sich daraus, dass die Aufhellung und die Veränderung der Fleischfarbe durch die Reifungsprozesse nach der zweiten bis dritten Lagerwoche abgeschlossen sind (KÜHNE, 2004). Die Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme im Fleisch geht gegen Null (FELDHUSEN et al., 1995a), so dass der vorhandene Sauerstoff ausschließlich zur Oxygenierung des Myoglobins zur Verfügung steht. Weiterhin bleibt aufgrund der Vakuumverpackung die so genannte „Metmyoglobin reduzierende Aktivität“ (MRA) des Rindfleisches lange erhalten (HAMM, 1975; GIDDINGS, 1977). Unter der MRA werden reduzierende Enzymsysteme im Fleisch verstanden, die die Oxidation des Myoglobins zum graubraunen Metmyoglobin verhindern. Damit wirkt die „Metmyoglobin reduzierende Aktivität“ Farbveränderungen entgegen und trägt zur Stabilität der Rindfleischfarbe bei. Bis zur vierten bzw. fünften Lagerwoche liegt weiterhin die bakterielle Belastung unterhalb eines Niveaus, das zu Farbveränderungen durch bakterielle Stoffwechselprodukte und Abbauprozesse führen könnte.

Ab der vierten bzw. fünften Lagerwoche fällt jedoch ein nochmaliger Anstieg der Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche auf. Interessant ist dieser Anstieg der Farbwerte, weil er genau mit dem Ende der Mindesthaltbarkeit zusammenfällt, welche der beteiligte Zerlegebetrieb für das untersuchte Rindfleisch mit 35 Tagen angibt. Die beschriebene Erhöhung der Farbwerte L*a*b* könnte demnach auf Veränderungen in der Güte des Rindfleisches nach Ablauf der Mindesthaltbarkeit

hinweisen. Die Anhäufung bakterieller Stoffwechselprodukte durch die steigende bakterielle Belastung bewirkt ab der fünften Lagerwoche oxidierende Bedingungen im Fleisch. Das Vorliegen oxidierender Bedingungen kann anhand der Veränderung des Redoxpotentials des Fleisches nachvollzogen werden. Unmittelbar nach der Schlachtung liegt im Fleisch ein positives, hohes Redoxpotential vor (FREDRIKSSON-AHOMAA, 2004). Im Verlauf der Lagerung, parallel zum Anstieg des Gehaltes an anaeroben Keimen, sinkt das Redoxpotential von frischem Rindfleisch auf - 250 mV ab (RÖDEL und SCHEUER, 1998) Der Abfall des Redoxpotentials ist bei vakuumverpacktem Rindfleisch besonders deutlich ausgeprägt und hängt mit der Umschichtung der mikrobiellen Flora von aeroben zu anaeroben Bakterienspezies zusammen. Des Weiteren konkurrieren die Bakterien mit dem Fleisch um den zur Verfügung stehenden Sauerstoff. Aufgrund des verminderten Sauerstoffangebotes liegt ein größerer Teil des Myoglobins in der reduzierten Form vor und wird durch die oxidierenden Bedingungen der Umgebung schnell zu Metmyoglobin oxidiert (RENERRE, 1990). Vor allem der Anstieg der Fleischhelligkeit und des Gelbwertes können durch eine prozentuale Zunahme des bräunlichen, wenig farbintensiven Metmyoglobins erklärt werden. Die Farbveränderung nach der vierten bzw. fünften Lagerwoche sollte weitergehend untersucht werden, da dieser Anstieg der Farbwerte sich als wichtig für die Beurteilung der Qualität und Haltbarkeit von gelagertem Rindfleisch erweisen könnte.

### 5.2.3 Einfluss des pH-Wertes auf die objektive und subjektive Fleischfarbe

Der Einfluss des pH-Wertes sowohl auf die objektive Fleischfarbe als auch auf die Bewertung der subjektiven Fleischfarbe wurde für die Lagerwoche 0 untersucht, um die Bedeutung der Einwirkung des pH-Wertes auf den Qualitätsparameter Farbe zu ermitteln. Weiterhin wurde die Beziehung zwischen objektiver Anschnitts- bzw. Oberflächenfarbe und dem pH-Wert über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum hinweg betrachtet.

In der Literatur wird ein starker Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Fleischfarbe L*a*b* beschrieben (HAMM, 1975; FELDHUSEN, 1994; ABRIL et al., 2001; PAGE et al., 2001). Am Tag der Zerlegung konnte in den eigenen Untersuchungen ein signifikanter Einfluss des pH-Wertes nur für die objektive Anschnittsfarbe, genauer die Helligkeit des Anschnittes, nachgewiesen werden. Die objektive Oberflächen-

farbe wird am Tag der Zerlegung (15 bis 20 h p. m.) nicht signifikant durch den pH-Wert beeinflusst. Als Ursache für diesen nur geringen Einfluss des pH-Wertes auf die objektive Fleischfarbe zu diesem spätpostmortalen Zeitpunkt ist der langsame pH-Wert-Abfall bei Rindfleisch anzuführen. Bei Rindfleisch ist die postmortale Glykolyse erst nach 24 bis 48 Stunden abgeschlossen, so dass zu diesem späten Zeitpunkt erst der End-pH-Wert erreicht wird (FISCHER, 1988). Die Fleischfarbe von Rindfleisch stabilisiert sich jedoch erst nach Erreichen des End-pH-Wertes (SCHWÄGELE, 1993). Zum Zeitpunkt der Farbmessung am Tag der Zerlegung war der End-pH-Wert noch nicht eingestellt, so dass die Fleischfarbe sich ebenfalls noch nicht stabilisiert hatte. Die Instabilität der Farbe begründet, weshalb sie an der Oberfläche nicht signifikant durch den pH-Wert beeinflusst wird, an einem frischen Anschnitt jedoch schon.

Bei Betrachtung der Ergebnisse des achtwöchigen Untersuchungszeitraums hatte der pH-Wert in der vorliegenden Studie sowohl auf die objektive Anschnitts- als auch auf die objektive Oberflächenfarbe einen höchstsignifikanten Einfluss. Generell konnte eine Beziehung der Form, dass ein Anstieg des pH-Wertes zu einem starken Abfall der Helligkeit und einem geringeren Absinken von Rot- und Gelbwert führte, abgeleitet werden. Diese Beobachtungen erklären sich dadurch, dass bei erhöhten pH-Werten die Proteine oberhalb ihres isoelektrischen Punktes liegen. Daher besitzen die Proteine viele freie Ladungen und binden vermehrt Gewebswasser (PRICE und SCHWEIGERT, 1971; LAWRIE, 1985). Dieses erhöhte Wasserbindungsvermögen bewirkt eine Quellung der Muskelfasern, die nun sehr dicht zusammenliegen. Die geschlossene Oberfläche absorbiert einen großen Teil des auftreffenden Lichtes (HAMM, 1975; FISCHER, 1988). Die geringe Menge an freiem Gewebswasser reflektiert ebenfalls nur wenig Licht. Dies führt zu dem beschriebenen starken Abfall der Helligkeit von Anschnitt und Oberfläche bei Erhöhung des pH-Wertes. Rot- und Gelbwert von Anschnitt bzw. Oberfläche fielen ebenfalls ab, jedoch in geringerem Maße. Ursächlich dafür sind die gequollenen, dicht gepackten Muskelfasern, welche eine Barriere für die Diffusion von Sauerstoff in tiefere Fleischschichten darstellen (LAWRIE, 1985). Weiterhin ist bei erhöhten pH-Werten die Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme hoch, so dass kaum Sauerstoff für die Oxygenierung des Myoglobins zur Verfügung steht (PAGE et al., 2001). Das purpurrote, reduzierte Myoglobin absorbiert andere Anteile des Lichtes als das

kirschrote Oxymyoglobin, so dass Rot- und Gelbwert von Anschnitt bzw. Oberfläche sinken.

Für die Bewertung der subjektiven Fleischfarbe von Anschnitt und Oberfläche konnte für die Lagerwoche 0 eine hochsignifikante Beeinflussung durch den pH-Wert festgestellt werden. Die drei Bewertungsgruppen der subjektiven Farbe (Soll, geringfügige Abweichungen, deutliche Abweichungen) wiesen hochsignifikante pH-Unterschiede auf. Dies bedeutet, dass ein bestimmter Bereich des pH-Wertes zu einer bestimmten Bewertung der subjektiven Oberflächen- bzw. Anschnittsfarbe führt. Leicht erhöhte pH-Werte, um 5,7, bewirken bereits eine sensorische Bewertung der Anschnitts- und Oberflächenfleischfarbe als „deutlich abweichend“. Dagegen führen pH-Werte, die knapp unter 5,6 liegen, zur Beurteilung der Anschnitts- und Oberflächenfleischfarbe als „geringfügig abweichend“. Als „deutliche Abweichungen“ wurden in der sensorischen Untersuchung vermehrt dunkle, dunkelrote bis braune Farbveränderungen festgestellt. Bei den „geringfügigen Abweichungen“ zeigten sich eher zu helle, rosafarbene Farbtöne. Diese Beobachtungen werden durch den obig beschriebenen Zusammenhang zwischen Wasserbindungsvermögen der Fleisch-eiweiße und dem Reflexionsverhalten des Fleisches verursacht.

Sowohl die objektive als auch die subjektive Fleischfarbe werden laut den vorliegenden Ergebnissen massiv durch den pH-Wert des Fleisches beeinflusst. Daher sollte neben der Farbmessung oder sensorischen Untersuchung zur korrekten Beurteilung und Bewertung der Fleischfarbe auch immer eine Bestimmung des pH-Wertes erfolgen. Weiterhin zeigt sich aus diesen Ergebnissen die Notwendigkeit des schonenden Umgangs mit den Schlachttieren ante mortem sowie die Notwendigkeit einer optimierten Kühlung der Schlachttierkörper, um einen optimalen Ablauf der postmortalen Glykolyse zu erreichen. In der vorliegenden Studie führten bereits geringe Schwankungen des pH-Wertes dazu, dass die erwünschte Rindfleischfarbe nicht ausgeprägt wurde. Diese Abweichungen von der erwünschten Farbe bei geringgradig erhöhten oder erniedrigten pH-Werten führen auch zu einer schlechteren Beurteilung des Rindfleisches durch den Verbraucher.

### 5.2.4 Zusammenhang zwischen sensorischen Parametern und objektiver Fleischfarbe

Die Prüfung eines Zusammenhanges zwischen den Parametern, die sensorisch durch ein Prüferpanel ermittelt wurden, und der gemessenen Fleischfarbe (Anschnitt und Oberfläche) spielt eine Rolle bei der Beurteilung der Aussagekraft, die die objektiven Fleischfarbe über die sensorische Beschaffenheit des Fleisches hat.

Für die Kriterien „Bewertung der Anschnittsfarbe, Bewertung der Oberflächenfarbe, Bewertung von Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge und -beschaffenheit“ konnten zwischen den einzelnen Beurteilungen („Soll“ bzw. „Abweichungen“) Unterschiede in den drei Farbwerte L*a*b* von Anschnitt bzw. Oberfläche festgestellt werden. Für die Beurteilungen des Parameters „Textur“ zeigten sich Differenzen nur in den Farbwerten a* und b*. Die Unterschiede der Farbwerte zwischen den Rängen der sensorischen Kriterien, z. B. zwischen „Soll“ und „geringfügigen“ bzw. „deutlichen Abweichungen“ bei subjektiver Anschnitts- und Oberflächenfarbe, waren jedoch nicht so stark ausgeprägt, dass Grenzbereiche der objektiven Farbe für die einzelnen Ränge ermittelt werden konnten. Die Veränderungen von L*a*b* zwischen den Beurteilungsgruppen stellen eher Tendenzen des Farbverhaltens dar. So streuen die gemessenen Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche in Bezug auf die Bewertung der **subjektiven Fleischfarbe** für den Rang „deutliche Abweichungen“ stärker als für das „Soll“. Die breitere Streuung von L*a*b* entsteht, weil in den Rang „deutliche Abweichungen“ die extremen Abweichungen der subjektiven Farbe in beide Richtungen, z. B. hellrosa oder dunkelrot-grau, aufgenommen wurden.

Für die abstufende Bewertung des **Geruchs** konnte kein eindeutiger Trend des Farbverhaltens gefunden werden. Dies kann bedeuten, dass geruchliche Veränderungen, die meist durch bakterielle Stoffwechselprodukte bedingt sind, nicht mit farbbeeinflussenden Veränderungen im Rindfleisch einhergehen. Aus der Literatur ist jedoch bekannt, dass starkes bakterielles Wachstum, welches zu geruchlichen Abweichungen führt, meist auch eine Instabilität der Fleischfarbe zur Folge hat (SEIDEMAN et al., 1984; RENERRE, 1990). Daher sind die gefundenen sehr geringen Farbunterschiede zwischen den einzelnen Bewertungen des Geruches eher auf das Vorgehen bei der Codierung und Bewertung der sensorischen Beschreibungen des Geruchs zurückzuführen. Bei zukünftigen Versuchen sollte von

Beginn an eine bewertende Beurteilung des Geruchs nach der Stärke der Abweichung erfolgen und nicht zunächst eine Geruchsbeschreibung vorgenommen werden, die in einem zweiten Schritt bewertet wird.

Bei der **Konsistenz** fand sich ein Anstieg der Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche mit zunehmendem Grad der Abweichung von „fest“ nach „autolytisch“. Die Konsistenzveränderungen von Rindfleisch im Verlauf der Reifung und Lagerung sind zum einem durch bakterielle Abbauprozesse und zum anderen durch autolytische Vorgänge bedingt (WEBER, 1996). Die Änderung der Konsistenz geht mit strukturellen Veränderungen im Fleisch einher. So führt eine Lockerung des Gewebes zum einem geänderten Reflexions- und Absorptionsverhalten des Fleisches (HAMM, 1975; AUGUSTINI und FISCHER, 1999; KÜHNE, 2004). Davon ist sowohl die bestehende Fleischoberfläche als auch die Tiefe des Fleisches, der Anschnitt, betroffen. Fleisch mit einer solchen offenen Stuktur, mit großen myofibrillären Abständen, reflektiert einen größeren Teil des auftreffenden Lichtes (FELDHUSEN, 1994). Dies erklärt den Anstieg der Helligkeit. Zudem kommt es durch den bakteriellen und autolytischen Abbau von Proteinen, darunter auch Myoglobin, im Laufe der Lagerung dazu, dass die selektive Absorption des Myoglobins verhindert wird und vermehrt Farbanteile des Lichts reflektiert werden. Daraus resultierte der Anstieg von Rot- und Gelbwert mit zunehmender Konsistenzabweichung.

Das Verhalten der objektiven Anschnitts- und Oberflächenfarbe in Bezug auf die **Fleischsaftmenge** ist widersprüchlich. Die Farbwerte lagen für die erwünschte Ausprägung „0-gering“ deutlich unter denen der stärkeren Flüssigkeitsabsonderungen. Die Helligkeiten von Anschnitt und Oberfläche stiegen bis zu den „deutlichen“ Fleischsaftmengen an, fielen aber zur Bewertung „viel“ hin wieder ab. Die Rot- und Gelbwerte fielen von „gering“ zu „viel“ ab, blieben aber über denen der Bewertung „0-gering“. Der Anstieg der Helligkeit kann mit dem erniedrigten Wasserbindungsvermögen des Rindfleisches erklärt werden, welches zum einem den erhöhten Absatz von Fleischsaft und zum anderen viel freies Wasser im Fleisch bedingt. Das freie Wasser im Gewebe reflektiert das auftreffende Licht verstärkt und erhöht so die Helligkeit (FELDHUSEN, 1994). Bei sehr starken Fleischsaftabsonderungen („viel“) liegt jedoch weniger freies Wasser im Gewebe vor, daher fällt

die Helligkeit wieder ab. Der Anstieg der Rot- und Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche von der Bewertung „0-gering“ zur Bewertung „gering“ kann durch strukturelle Veränderungen am Myoglobin, die ein verändertes Absorptionsverhalten bedingen oder durch verändertes Absorptionsverhalten anderer Proteine, das mit erniedrigtem Wasserbindungsvermögen einhergeht, bedingt sein. Der beobachtete Abfall der Rot- und Gelbwerte von „geringen“ zu hohen Fleischsaftmengen („viel“) spricht für Veränderungen an anderen Fleischproteinen als dem Myoglobin, da eine Denaturierung des Myoglobins zur Erhöhung der reflektierten Rot- und Gelbanteile führt (FELDHUSEN, 1994). Das Absinken der Rot- und Gelbwerte könnte durch eine verstärkte Absorption dieser Lichtanteile durch bestimmte strukturell veränderte Proteine des Rindfleisches bedingt sein.

Die **Fleischsaftbeschaffenheit** zeigte keinen besonderen Einfluss auf die Rot- und Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche. Die Rot- und Gelbwerte lagen für die einzelnen Beurteilungsgruppen der Fleischsaftbeschaffenheit ungefähr auf einem Niveau. Die Helligkeit von Anschnitt bzw. Oberfläche stieg von der Bewertung „rötlich-klar“ bis zur Bewertung „rötlich-trüb, braun-schleimig“ an. Dieser Helligkeitsanstieg kann durch das oben beschriebene veränderte Reflexionsverhalten aufgrund von Änderungen der Rindfleischstruktur erklärt werden.

Zwischen den Bewertungsrängen der **Textur** des Rindfleisches zeigten sich keine eindeutigen Helligkeitsunterschiede von Anschnitt und Oberfläche. Rot- und Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche lagen für marmoriertes und stark marmoriertes Fleisch nur minimal über denen von Fleischproben, bei denen ausschließlich Muskelgewebe feststellbar war. Dieser leichte Unterschied könnte dadurch verursacht sein, dass einzelne Fettgewebsanteile in der Messfläche bei der Farbmessung erfasst wurden und diese bestimmte Farbanteile, vor allem den Gelbanteil, des Lichts verstärkt reflektieren (WINZIG, 2002).

Zwischen den sensorischen Parametern „Bewertung der subjektiven Anschnitts- und Oberflächenfarbe, Bewertung von Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge, Fleischsaftbeschaffenheit“ und der objektiven Anschnitts- bzw. Oberflächenfarbe bestehen größtenteils hoch- bis höchstsignifikante Zusammenhänge. Der Parameter Textur wirkt nur auf die Rot- und Gelbwerte von Anschnitt und Oberfläche signifikant, nicht

jedoch auf die Helligkeiten. Trotz der oben beschriebenen deutlichen Zusammenhänge waren die Unterschiede der Farbwerte L*a*b* zwischen den einzelnen Beurteilungen der sensorischen Kriterien zu gering, um sichere Richtwerte für wünschenswerte Eigenschaften bzw. Verderbserscheinungen zu ermitteln. Im Rahmen einer Qualitätsprüfung an Rindfleisch kann die objektive Fleischfarbe daher als messbarer Qualitätsparameter verwendet werden. Ihre Aussagekraft über den Zustand des Rindfleisches ist jedoch nicht ausreichend, um die sensorische Untersuchung zu ersetzen. Die Farbmessung erbringt zusätzliche Informationen und besitzt gegenüber der Sensorik die Vorteile der größeren Unabhängigkeit (Personal, Umweltfaktoren) und der besseren Bearbeitungs- und Vergleichsmöglichkeiten der Daten.

### 5.2.5 Beziehung zwischen mikrobiologischem Status und objektiver Fleischfarbe

Während des Lagerversuches wurde der mikrobiologische Status der Rindfleischoberfläche anhand der Gesamtkeimzahl sowie der Anzahl an Laktobazillen und Milchsäurebakterien für die einzelnen Lagerwochen untersucht. Das Ziel dieser Untersuchung war es, eine mögliche Beeinflussung der Fleischfarbe L*a*b* durch die oben genannten mikrobiologischen Kenngrößen aufzuzeigen.

Die bakterielle Flora des Fleisches beeinflusst die Ausprägung der Fleischfarbe. Bakterien können das Redoxpotential der Fleischoberfläche verändern, die Muskelproteine denaturieren oder hydrolisieren und über ihre Stoffwechselprodukte zu strukturellen sowie funktionellen Veränderungen des Myoglobins führen (HAMM, 1975; POTTHAST, 1986; RENERRE, 1990).

In der vorliegenden Studie fand sich lediglich für die Anzahl der Laktobazillen eine Evidenz für einen Einfluss auf die objektive Anschnittsfarbe. Die Laktobazillen-Zahl pro $cm^2$ hatte signifikante Auswirkungen auf den Rotwert $a^*_A$ und den Gelbwert $b^*_A$. Auf die objektive Oberflächenfarbe, vor allem auf den Gelbwert $b^*_O$, besitzen die Laktobazillen ebenfalls einen signifikanten Einfluss. Weiterhin konnte ein signifikanter Einfluss der Gesamtkeimzahl auf die Helligkeit $L^*_O$ nachgewiesen werden. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse muss beachtet werden, dass das Roastbeef am Tag der Zerlegung im Schrumpfbeutel vakuumiert wurde und anschließend gereift und

gelagert wurde. Die Reifung und Lagerung in der Vakuumverpackung führt zu einer Änderung der bakteriellen Fleischoberflächenflora. Es erfolgt eine Umschichtung von einer dominant aeroben zu einer mikroaerophilen bis anaeroben, $CO_2$-toleranten Flora (BORCH et al., 1996; MÜLLER und WEBER, 1996; WEBER, 1996). In der vakuumeigenen Fleischoberflächenflora überwiegen quantitativ gram-positive Bakterien, z. B. Laktobazillen und andere Milchsäurebakterien, wie Streptokokken (*Leuconostoc* spp.), Pediokokken und Vertreter des Genus *Carnobacterium*. Daher wirken vor allem die Stoffwechselprodukte der Laktobazillen und anderen Milchsäurebakterien, wie Milchsäure, Essigsäure, Ethanol, aber auch Wasserstoffperoxid, auf das vakuumierte Rindfleisch ein.

Die objektive Fleischfarbe L*a*b* von Rindfleisch korreliert zu einem gewissen Grad mit den Gehalten an Laktobazillen. Ein Anstieg der Laktobazillen führt zu einer Erhöhung von $a^*_A$, $b^*_A$ und $b^*_O$. Der Gelbanteil der Rindfleischfarbe tritt sowohl an der Oberfläche als auch im Anschnitt deutlicher hervor. Diese Farbveränderungen werden wahrscheinlich durch spezifische Stoffwechselprozesse und -produkte der Laktobazillen hervorgerufen, da kein Zusammenhang der objektiven Fleischfarbe mit der Anzahl der Milchsäurebakterien als Gruppe nachweisbar ist. Die vakuumtypische Bakterienflora umfasst viele Spezies von Milchsäurebildnern, die nur über molekularbiologische Methoden eindeutig identifiziert werden können (HERTEL und MEROTH, 2003; KLEIN, 2003). Mit den im vorliegenden Versuch verwendeten mikrobiologischen Standardmethoden war keine Subtypisierung der Laktobazillen und der aeroben Milchsäurebakterien möglich. Daher kann keine Aussage darüber gemacht werden, welche Laktobazillen-Spezies oder -Gruppen für die gefundenen Farbveränderungen verantwortlich sind.

Eine Beziehung zwischen objektiver Fleischfarbe und Gesamtkeimzahl zeigte sich nur für die Helligkeit der Oberfläche. Ein Anstieg der Gesamtkeimzahl führte zu einer geringgradigen Helligkeitszunahme der Oberfläche, die jedoch unterhalb des visuell wahrnehmbaren Bereiches lag. Eine Aufhellung der Fleischoberfläche kann durch einen Anstieg der bakteriellen Belastung zustande kommen, da die oberflächlichen Fleischproteine und das oberflächliche Myoglobin direkt durch die Stoffwechselprodukte der Oberflächenkeime beeinflusst werden. Strukturveränderungen, besonders Abbauprozesse an den Muskeleiweißen, verursachen eine veränderte

Reflexion und Streuung des auftreffenden Lichts, so dass die gemessene Helligkeit der Oberfläche ansteigt. Der Oberflächenkeimgehalt hat konsequenterweise keinen Einfluss auf die Helligkeit eines frisch gesetzten Anschnittes, da auf diesen nur die Stoffwechselprodukte der Tiefenkeimflora einwirken. Die unterschiedlich starke Einwirkung der mikrobiologischen Kenngrößen auf Anschnitts- und Oberflächenfarbe zeigt nochmals, dass die Oberflächenfarbe von Rindfleisch stärker von Umwelteinflüssen abhängig ist als die Anschnittsfarbe. Für Versuche unter Laborbedingungen sollte daher immer die Farbmessung an einem frischen Anschnitt gewählt werden.

Die oben beschriebene geringe Beeinflussung der objektiven Farbe von vakuumiertem Rindfleisch durch den mikrobiologischen Status des Fleisches führt zu dem Schluss, dass die vakuumeigene Fleischoberflächenflora keine negativen Einflüsse auf die Ausbildung einer attraktiven Fleischfarbe hat. Weiterhin wurde von WEBER (1996) und in den eigenen Untersuchungen festgestellt, dass leichte Farbveränderungen des Rindfleisches, unmittelbar nach Entnahme aus der Vakuumverpackung, während des „blooming“ der Farbaufhellung unterliegen und sich eine ansprechende Rindfleischfarbe ausbildet. In eigenen Untersuchungen und in den Untersuchungen von O`KEEFFE und HOOD (1981) sowie von BELL et al. (1996) zeigte sich, dass Reifung und Lagerung in der Vakuumpackung sich positiv auf die Farbhaltung von Rindfleisch auswirken.

Die objektive Fleischfarbe L*a*b* wird nur in geringem Maße durch die untersuchten mikrobiologischen Parameter (Gesamtkeimzahl, Laktobazillen, Milchsäurebakterien) beeinflusst. Im Umkehrschluss ist zu folgern, dass aus der objektiven Fleischfarbe L*a*b* nicht auf den mikrobiologischen Status des Fleisches geschlossen werden kann.

### 5.2.6 Abschließende Bewertung der Farbmessung als objektives Verfahren zur Qualitätskontrolle im Rinderschlachtbetrieb und im Rahmen der AVV

Die derzeit übliche subjektive Beurteilung der Rindfleischfarbe ist mit massiven Problemen behaftet. Die sensorische Bewertung der Fleischfarbe erfordert geschultes Personal mit Erfahrung, um eine gewisse Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Beurteilung zu erreichen. Zudem haben äußere Bedingungen, wie Beleuchtung, Temperatur und Produktionsstufe, einen großen Einfluss auf die subjektive Beschreibung der Fleischfarbe (HONIKEL, 2000). Die subjektive Farbbeurteilung wird weiterhin durch die Spiegelung der Fleischoberfläche erschwert. Von verschiedenen Blickwinkeln aus betrachtet, erscheint die Fleischfarbe unterschiedlich (GRÜNEWALD, 1979).Im Gegensatz dazu sind objektive Verfahren zur Bestimmung der Fleischfarbe bzw. der Fleischhelligkeit unabhängig. Zur Messung der Fleischfarbe an Oberflächen wird in vielen Studien das Chroma-Meter der Firma Minolta herangezogen. Die Fleischhelligkeit kann hingegen auch durch die invasive Reflexionsmessung bestimmt werden (SACK und BRANDSCHEID, 1990; DEISS-HEMMETER, 2005). Das Handling des Farbmessgerätes Minolta Chroma-Meter CR-400 ist leicht erlernbar und die Farbmessung schnell und einfach durchzuführen. Um eine hohe Wiederholbarkeit und damit Vergleichbarkeit zwischen den gewonnenen Farbwerten L*a*b* zu erreichen, muss standardisiert vorgegangen werden. Die Standardisierung (regelmäßige Kalibrierung, Lichtart $D_{65}$, 60 min „blooming“ bei + 3℃, Messposition, Teilstück) und das Vor gehen bei der Farbmessung können im Rahmen eines Qualitätssicherungssystems gut in einer Arbeitsanweisung fixiert werden. Die Bestimmung der objektiven Fleischfarbe ist einfach in ein bestehendes Qualitätssicherungssystem einzubinden. Sie kann beispielsweise zeitgleich mit der Erfassung physikalischer Parameter, wie dem pH-Wert, vorgenommen werden. Die Farbmessung kann auch durch wechselndes Personal durchgeführt werden und ist unabhängig von der Beleuchtung.

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Farbwerte L*a*b* datentechnisch gut erfassbar sind. Das Farbmessgerät errechnet drei Farbwerte und diese können mit Hilfe der zugehörigen Software direkt in den Computer übertragen werden. Die Farbdaten können in diverse Programme, wie z. B. EXCEL, exportiert werden. Damit ist die Aufbereitung der Daten über die objektive Fleischfarbe und die Dokumentation im Rahmen der Qualitätssicherung sehr viel einfacher möglich als bei der mühsamen Codierung der subjektiven Farbbeschreibung. Der Vergleich des Qualitätsparameters Fleischfarbe zwischen einzelnen Produktionstagen, zwischen den Produktionsstufen (Lagerung) und zwischen verschiedenen Schlacht- und Zerlegebetrieben wird ermöglicht. Dabei sollten umfassende Studien zum Vergleich der Fleischfarbe zwischen unterschiedlichen Produktionssystemen, analog zu denen von HAMBRECHT et al. (2003) für Schweinefleisch, auch für die objektive Farbe von Rindfleisch angestrebt werden.

Die bessere Aufbereitung der objektiven Farbwerte und deren bessere Vergleichbarkeit eröffnen neue Perspektiven für die Anwendung der Farbmessung. Unter Bezugnahme auf den beschriebenen Ablauf des Lagerversuches (s. 3.2.1.2) können für weitere Teilstücke und andere Bedingungen (Betäubung, Lagertemperatur, Verpackungsart) Richtwerte für das Verhalten während der Reifung und Lagerung erarbeitet werden. Im Rahmen von Lagerversuchen zur Überprüfung der Mindesthaltbarkeit kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse der Qualitätsfaktor objektive Fleischfarbe erstmals herangezogen werden. Anhand der in Tab. 15 und 16 beschriebenen Grunddaten können Farbwerte, die stichprobenweise während der Lagerung ermittelt wurden, z. B. bei einer Wareneingangskontrolle oder an Verarbeitungsfleisch, in Bezug auf eine normale Ausprägung der Fleischfarbe eingeordnet werden. Damit wird der Einsatz der Farbmessung als objektives und praktikables Verfahren zur Qualitätskontrolle von Rindfleisch für fleischerzeugende und fleischvermarktende Betriebe und im Rahmen der AVV praxisrelevant und praxistauglich.

### 5.2.7 Verhalten der mikrobiologischen Kenngrößen über den Zeitraum einer achtwöchigen Lagerung

Die Entwicklung der mikrobiologischen Kennzahlen (Gesamtkeim-, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl) wurde über die achtwöchige Lagerung verfolgt. Die ermittelten Keimzahlen sollen an dieser Stelle als Grunddaten (Tab. 25) für das Verhalten der mikrobiologischen Flora von vakuumverpacktem Rindfleisch dienen. Dieser Aspekt der Arbeit ergab sich aus dem Fakt, dass für Keimspektrum und -zahl von Frischfleisch keine rechtlich festgesetzten Referenzwerte existieren. Dies stellt vor allem die Zerlege- und Verarbeitungsbetriebe, die ihren Kunden eine gewisse Mindesthaltbarkeit garantieren und zur Absicherung dieser Lagerversuche auf Mindesthaltbarkeit durchführen müssen, immer wieder vor Probleme.

Bei der Betrachtung der Keimzahlen der einzelnen Lagerwochen wird an dieser Stelle vor allem der Median herangezogen, da der Mittelwert zu stark durch einzelne hohe Extremwerte beeinflusst wird. Die am Tag der Zerlegung (Lagerwoche 0) ermittelten Keimgehalte wiesen auf eine niedrige mikrobiologische Ausgangsbelastung hin. Die Gesamtkeimzahl lag bei $10^2$ KbE pro $cm^2$ und die Laktobazillen- sowie Milchsäurebakterien-Zahl lagen unterhalb der Nachweisgrenze von $10^1$ KbE pro $cm^2$. Damit entsprach das Probenmaterial den Angaben von WEBER (1996) und BORCH et al. (1996), nach denen bei Fleisch, das vakuumverpackt wird, der Oberflächenkeimgehalt unter $10^2$ bis $10^4$ KbE/$cm^2$ liegen sollte. Die niedrigen Ausgangskeimgehalte der Roastbeefs wiesen auf gute Hygienestandards in der Zerlegung des beteiligten Betriebs hin.

Die Gesamtkeimzahl blieb im Median über den gesamten Zeitraum der Lagerung unterhalb des von WEBER (1996) genannten Grenzbereiches von $10^6$ KbE/$cm^2$ für den Oberflächenkeimgehalt, ab dem visuelle und sensorische Veränderungen am Fleisch feststellbar sind, die auf Genussuntauglichkeit hinweisen. Erst in der achten Lagerwoche erreichte die Gesamtkeimzahl im Median $10^6$ KbE/$cm^2$. Im Mittelwert befand sich die Gesamtkeimzahl bereits ab der fünften Lagerwoche im Bereich von $10^6$ KbE/$cm^2$. Daran zeigt sich die hohe Beeinflussung des Mittelwertes durch Ausreißer. Der Oberflächenkeimgehalt lag damit ebenfalls unterhalb des von BORCH et al. (1996) beschriebenen maximalen Keimgehaltes von $10^7$ bis

$10^9$ KbE/cm$^2$ für kühlgelagertes Fleisch. In der vorliegenden Studie konnten sensorische Abweichungen ab einer Gesamtkeimzahl von $10^6$ KbE/cm$^2$ festgestellt werden. Eine Gesamtkeimzahl von $10^6$ KbE/cm$^2$ ist nach eigenen Untersuchungen als Grenzwert für die Genusstauglichkeit von frischem, vakuumierten Rindfleisch anzusehen.

Die Gehalte an Laktobazillen bzw. Milchsäurebakterien stiegen über den Lagerungszeitraum hinweg beständig an. Die gegenüber der Gesamtkeimzahl niedrigeren Keimgehalte können durch die langsame Verschiebung der mikrobiologischen Flora in der Vakuumverpackung zu den $CO_2$- und säuretoleranten, sich unter diesen Bedingungen jedoch gering vermehrenden Bakterien, wie Laktobazillen und anderen Milchsäurebildnern, erklärt werden. Die Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahlen lagen im Median bis zur achten Lagerwoche um $10^4$ KbE/cm$^2$. Im Mittelwert dagegen erreichten die Gehalte an Laktobazillen und Milchsäurebakterien ab der siebten Lagerwoche Werte von $10^6$ KbE/cm$^2$. Sensorische Abweichungen, die auf eine Genussuntauglichkeit des beprobten Rindfleisches hinweisen, konnten in eigenen Untersuchungen ab Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahlen von $10^5$ bis $10^6$ KbE/cm$^2$ festgestellt werden.

Die ermittelten Oberflächenkeimzahlen (Tab. 25) können als Grunddaten für das mikrobiologische Verhalten von vakuumiertem Rindfleisch während der Reifung und Lagerung herangezogen werden. Die Grenzwerte, ab denen in der vorliegenden Untersuchung sensorische Abweichungen auftraten, können zukünftig zur Beurteilung von Rindfleisch in Lagerversuchen zur Überprüfung der Mindesthaltbarkeit dienen. Dabei müssen Faktoren wie Spezifikation der Vakuumverpackung (Sauerstoffpermeabilität), Lagertemperatur und hohe Zerlegehygiene, berücksichtigt werden. Die beprobten Roastbeefs wurden praxisüblich zerlegt, verpackt und gelagert, so dass die Ergebnisse repräsentativ für vakuumiertes Rindfleisch sind. Zu beachten ist jedoch, dass hier lediglich der Verlauf der Oberflächenkeimgehalte für die quantitativ dominante, vakuumtypische Flora beschrieben wird.

### 5.2.8 Einfluss des mikrobiologischen Status auf ausgewählte sensorische Parameter

Für die sensorischen Parameter Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe, Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe und Bewertung des Geruchs wurde der Zusammenhang mit den mikrobiologischen Kriterien untersucht. Den Bewertungsrängen der sensorischen Parameter wurden dabei die jeweiligen Mittelwerte der Oberflächenkeimzahlen zugeordnet (Tab. 34).

Für die Bewertung der subjektiven Anschnitts- und Oberflächenfarbe lagen die Keimgehalte der geringfügigen und deutlichen Abweichungen höchstens eine Zehnerpotenz über denen des Sollbereichs. Bei der Bewertung des Geruchs variierten die Mittelwerte von Gesamtkeimzahl, Laktobazillen und Milchsäurebakterien leicht. Die Gesamtkeimzahl bei unverändertem Geruch lag lediglich eine Zehnerpotenz unterhalb den Keimgehalten der abstufenden Bewertungen des abweichenden Geruchs. Die Keimzahlen der Laktobazillen lagen für unerhebliche und nicht unerhebliche geruchliche Abweichungen eine Zehnerpotenz und für erhebliche Abweichungen zwei Zehnerpotenzen über den Keimzahlen des Sollbereiches. Die Laktobazillen-Zahlen zeigten somit markante Unterschiede zu den bei unverändertem Geruch festgestellten Keimzahlen. Der Gehalt an Laktobazillen könnte demnach als Verderbsindikator herangezogen werden. Der Gehalt an Milchsäurebakterien lag für den Sollbereich und die unerheblichen Abweichungen des Geruchs auf einem Niveau und für die nicht unerheblichen und erheblichen Abweichungen eine Zehnerpotenz höher.

Zwischen dem Soll, definiert durch den Codierungsplan (Tab. 37), und den teilweise doch starken Abweichungen ließen sich für die subjektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe und den Geruch nur minimale Unterschiede im Oberflächenkeimgehalt feststellen. Dies weist zum einen auf die Schwierigkeit der Genusstauglichkeitsfeststellung durch die sensorische Prüfung hin und zum anderen auf die Problematik der Festsetzung von Richt- oder Grenzwerten für den Verderb von Frischfleisch. Bei Keimzahlwerten (GKZ, LB, MSB) von $10^4$ bis $10^5$ KbE/cm$^2$ liegen die untersuchten sensorischen Parameter noch im Soll. Eine Zehnerpotenz höher ($10^6$ KbE/cm$^2$) wurden jedoch massive sensorischen Abweichungen gefunden. In den eigenen Untersuchungen konnten sensorische Abweichungen der Parameter

Oberflächen- und Anschnittsfarbe sowie Geruch bereits ab einer Gesamtkeimzahl von $10^6$ KbE/cm$^2$ und Laktobazillen- bzw. Milchsäurebakterien-Zahlen von $10^5$ bis $10^6$ KbE/cm$^2$ festgestellt werden. Im Gegensatz dazu stehen Angaben aus der Literatur, wonach unerwünschte sensorische Eigenschaften erst ab Oberflächenkeimzahlen von $10^7$ KbE/cm$^2$ (BORCH et al., 1996; BAUMGART und BECKER, 2003) bzw. $10^7$ bis $10^8$ KbE/cm$^2$ (FRANK et al., 1994) hervortreten.

BORCH et al. (1996) stellten fest, dass der Zusammenhang zwischen bakterieller Belastung und sensorischem Verderb ungenau ist, so dass aus den Keimzahlen nur eingeschränkt auf den sensorischen Zustand des Fleisches geschlossen werden kann. Diese Aussage wird durch die vorliegenden Untersuchungen bestätigt. Der sensorische Verderb wird durch bestimmte Bakterienspezies bzw. -stämme verursacht, auf die nicht gezielt untersucht wurde. Ausschließlich aus dem Oberflächenkeimgehalt kann nicht auf den sensorischen Zustand des Fleisches geschlossen werden. Die Haltbarkeit von Rindfleisch muss daher immer mit einer Kombination aus sensorischen und mikrobiologischen Untersuchungen überprüft werden.

### 5.2.9 Korrelationen zwischen mikrobiologischen und sensorischen Parametern

Die Beziehungen der mikrobiologischen und sensorischen Parameter wurden untersucht, um die Aussagekraft dieser Faktoren in Bezug auf die Haltbarkeit von Rindfleisch zu überprüfen.

Innerhalb der mikrobiologischen Kenngrößen (Gesamtkeimzahl, Laktobazillen, Milchsäurebakterien) existierten sehr starke Zusammenhänge. Diese sind folgendermaßen zu erklären: in die Gesamtkeimzahl gehen die Gehalte an Laktobazillen und Milchsäurebakterien ein, daher sind zwischen diesen Kriterien enge Beziehungen zu erwarten. Laktobazillen und Milchsäurebakterien gehören zu einer Gruppe von Bakterien, die sich unter den gleichen Umweltbedingungen vermehren und korrelieren daher ebenfalls stark.

Zwischen den Keimzahlen und den Parametern Bewertung von Geruch, Konsistenz und Fleischsaftbeschaffenheit bestanden mittelgradige Korrelationen. Eine hohe

bakterielle Belastung, vor allem mit Laktobazillen und anderen Milchsäurebildnern, bedingt Rindfleisch mit abweichendem, säuerlichen Geruch, Konsistenzveränderungen in Richtung Autolyse und einen trüben bis schleimigen Fleischsaft (WEBER, 1996; BAUMGART und BECKER, 2003). Auch die sensorischen Kriterien Konsistenz und Fleischsaftbeschaffenheit sowie Konsistenz und Bewertung des Geruchs korrelierten mittelgradig. Diese Beziehungen erscheinen ebenso einleuchtend, da proteolytische und lipolytische Abbauprozesse gleichermaßen zu Veränderungen dieser drei sensorischen Parameter führen.

Die Bewertungen der subjektiven Anschnitts- und Oberflächenfarbe korrelierten mittelgradig. Daraus kann geschlossen werden, dass auch auf visuell wahrnehmbarer Ebene keine starken Unterschiede zwischen den beiden Lokalisationen herrschen. Diese Feststellung ist wichtig für die Einordnung der Ergebnisse, dass zwischen subjektiver und objektiver Fleischfarbe ein guter Zusammenhang herrscht (s. 5.2.4) und dass eine Farbmessung sowohl an der Fleischoberfläche als auch an einem frischen Anschnitt vorgenommen werden kann (s. 5.2.1). Eine hohe Übereinstimmung der visuellen Farbe von Anschnitt und Oberfläche spricht auch für die festgestellte Übereinstimmung der Farbwerte L*a*b* der beiden Lokalisationen.

Für die Beziehungen zwischen Bewertung der subjektiven Anschnitts- bzw. Oberflächenfarbe und den Kriterien Gesamtkeimzahl, Laktobazillen- und Milchsäurebakterien-Zahl, Bewertung von Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge und -beschaffenheit wurden schwache Korrelationen gefunden. Der schwache Zusammenhang zwischen der subjektiven Anschnitts- und Oberflächenfarbe, Textur sowie Fleischsaftmenge und den mikrobiologischen Kriterien bestätigt die in Abschnitt 5.2.8 getroffenen Aussagen, dass aus dem mikrobiologischen Status nur unzureichend auf die sensorischen Eigenschaften von rohem Fleisch geschlossen werden kann und umgekehrt. Deshalb sind zur Prüfung der Mindesthaltbarkeit bzw. zur Feststellung des Verderbs von Rindfleisch immer mikrobiologische und sensorische Kriterien zu ermitteln.

# 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Die Farbmessung von rohem Fleisch ist ein vielversprechendes Verfahren zur on-line Bestimmung der objektiven Fleischfarbe in der Zerlegung. Sie ermöglicht trotz geringer Zeitspanne zum „blooming“ bei gleichartigem Zerlegeablauf einen Vergleich der Fleischfarbe sowohl zwischen verschiedenen Produktionsabläufen als auch zwischen Betrieben.

2. Die Farbe des *M. longissimus dorsi* ist bei einem Rind innerhalb des Muskels gleichmäßig verteilt. Daraus folgt, dass eine repräsentative Bestimmung der objektiven Fleischfarbe des *M. longissimus dorsi* an jeder Stelle des Muskels erfolgen kann.

3. Zwischen objektiver Oberflächenfarbe und objektiver Anschnittsfarbe existierte über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum ein starker, statistisch gesicherter Zusammenhang. Je nach Fragestellung ist weiterhin die Farbmessung an einem frisch gesetzten Anschnitt nach ausreichendem „blooming“ zu empfehlen. Mit vergleichbar hoher Sicherheit kann jedoch in der Praxis die Fleischfarbe durch Messung an der bestehenden Fleischoberfläche bestimmt werden.

4. Der pH-Wert beeinflusst die objektive und die subjektive Fleischfarbe massiv. Zur korrekten Beurteilung der gemessenen Farbwerte L*a*b* sowie der visuell ermittelten Farbe muss daher parallel zur Farbmessung bzw. sensorischen Untersuchung immer eine Bestimmung des pH-Wertes erfolgen.

5. Aus der objektiven Fleischfarbe kann nicht auf den mikrobiologischen Status und die sensorischen Eigenschaften des untersuchten Rindfleisches geschlossen werden. Weiterhin ist die Aussagekraft der mikrobiellen Belastung über die sensorischen Eigenschaften gering und umgekehrt. Die Mindesthaltbarkeit und Genusstauglichkeit von Rindfleisch muss folglich immer mit einer Kombination aus sensorischen und mikrobiologischen Untersuchungen überprüft werden.

# 7 ZUSAMMENFASSUNG

Jennifer Wagner

**Messung der Farbe als Qualitätsparameter bei Rindfleisch im Hinblick auf die Festlegung von Richtwerten in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene**

Um die Veränderung und Entwicklung der objektiven Rindfleischfarbe während der Lagerung zu untersuchen, wurden vakuumierte Fleischscheiben aus dem *M. longissimus dorsi* von 30 Rindern über 8 Wochen gelagert. In jeder Lagerwoche wurden die Farbwerte L*a*b* der bestehenden Fleischoberfläche und eines frischen Anschnittes mit dem Minolta Chroma-Meter CR-400 gemessen. Als weitere Qualitätsparameter wurden der mikrobiologische Status (Gesamtkeimzahl, Laktobazillen, Milchsäurebakterien), die sensorischen Eigenschaften und der pH-Wert bestimmt.

Ziel der Untersuchungen war, Referenzwerte für die Entwicklung der Rindfleischfarbe L*a*b* während der Reifung und Lagerung zu erarbeiten. Weiterhin sollte in der vorliegenden Studie die Farbmessung an Praxis- und Routinebedingungen in der Fleischwirtschaft angepasst werden, um ihren Einsatz in der Praxis zu verstärken. Drittens dienten die Versuche dazu, Zusammenhänge und Einflussnahme zwischen der Fleischfarbe L*a*b* und anderen Qualitätsparametern von Rindfleisch aufzuzeigen.

In Voruntersuchungen wurde die Fleischfarbe von 255 Roastbeefs (15 bis 20 h p. m.) unmittelbar nach der Zerlegung ermittelt. Bei einer verkürzten Farbaufhellung (10 min, + 12°C) unter Praxisbedingungen zeigte der *M. longissimus dorsi* folgende, durchschnittliche Farbwerte: L* 33,12; a* 18,45; b* 6,62. Die Farbmessung unmittelbar nach der Zerlegung, on-line, eignet sich für einen Vergleich der Fleischfarbe zwischen verschiedenen Teilstücken und Betrieben. In den Vorversuchen konnte zudem nachgewiesen werden, dass signifikante Unterschiede in der

Farbe des Roastbeefs zwischen den einzelnen Schlachttierkörpern bestehen. Innerhalb des *M. longissimus dorsi* eines Tieres erwies sich die Farbverteilung in der vorliegenden Untersuchung jedoch als gleichmäßig. Eine Farbmessung kann damit an jeder Stelle des Roastbeefs vorgenommen werden und ist repräsentativ für den gesamten Muskel.

Im Hauptversuch wurde die Fleischfarbe L*a*b* über einen achtwöchigen Untersuchungszeitraum sowohl an der bestehenden Fleischoberfläche als auch an einem frischen Anschnitt gemessen. Dabei zeigte sich, dass zwischen der Farbe von Oberfläche und Anschnitt des *M. longissimus dorsi* ein starker, statistisch gesicherter Zusammenhang besteht. Für die Farbmessung unter Laborbedingungen wird dennoch weiterhin die Messung an einem frischen Anschnitt nach einstündigem „blooming“ empfohlen. Mit vergleichbar hoher Sicherheit kann jedoch unter Praxisbedingungen im Betrieb die Fleischfarbe durch Messung an der bestehenden Fleischoberfläche bestimmt werden.

Die Entwicklung der objektiven Rindfleischfarbe über einen Zeitraum von acht Wochen ist erstmals dokumentiert worden. Die gewonnenen Daten dienen als Richt- und Vergleichswerte für zukünftige Lagerversuche. Am Tag der Zerlegung (15 bis 20 h p. m.) zeigten sich für einen frischen Anschnitt folgende Farbwerte: L* 36,5, a* 21,6, b* 10,5. Die Farbwerte der bestehenden Fleischoberfläche lagen geringfügig höher: L* 37,2, a* 22,9, b* 11,1. In der dritten Lagerwoche, nach Abschluss der Rindfleischreifung, wurden für die Anschnittsfarbe folgende Werte gemessen: L* 39,5, a* 25,5, b* 13,3. Dieser Anstieg der Farbwerte während der Reifung ist auch für die Oberflächenfarbe (L* 40,3, a* 25,9, b* 13,5) festgestellt worden. Die Farbwerte L*a*b* zeigten ab der 4. bzw. 5. Lagerwoche einen nochmaligen Anstieg. In der fünften Lagerwoche lagen die Farbwerte von Anschnitt (L* 39,8, a* 25,7, b* 13,2) und Oberfläche (L* 40,4, a* 25,7, b* 13,2) sehr eng zusammen. Der Anstieg fällt mit dem Ende der Mindesthaltbarkeit (35 Tage) zusammen und deutet auf Veränderungen in der Güte der untersuchten Roastbeefs hin.

In den eigenen Untersuchungen zeigte sich eine negative Korrelation der objektiven Fleischfarbe mit dem pH-Wert. Der pH-Wert beeinflusste die Ausprägung der Farbwerte L*a*b* massiv. Er wies ebenfalls einen starken Einfluss auf die sensorische Beurteilung der Fleischfarbe auf. Zur korrekten Beurteilung der gemessenen Farbwerte sowie der visuell ermittelten Farbe muss daher auch immer eine Bestimmung des pH-Wertes erfolgen.

Die gemessenen Farbwerte L*a*b* des Roastbeefs wurden nur geringgradig durch den mikrobiologischen Status, vor allem durch die Anzahl der Laktobazillen, beeinflusst. Aus der objektiven Fleischfarbe kann demnach nicht auf die mikrobielle Belastung des Rindfleisches geschlossen werden. Zwischen der objektiven Farbe und den sensorischen Parametern bestanden hoch- bis höchstsignifikante Zusammenhänge. Die Unterschiede der Farbwerte L*a*b* zwischen einzelnen abstufenden Bewertungen der sensorischen Kriterien waren jedoch zu gering, um sichere Richtwerte für wünschenswerte Eigenschaften bzw. Verderbserscheinungen zu ermitteln. Anhand der gemessenen Farbwerte kann daher keine Aussage über die sensorische Beschaffenheit des Rindfleisches getroffen werden.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde zudem die Entwicklung des mikrobiologischen Status von vakuumiertem Rindfleisch über eine achtwöchige Lagerung nachvollzogen. Erstmals wurden die Gesamtkeimzahl sowie die Anzahl an Laktobazillen und Milchsäurebakterien kontinuierlich in ihrem Verlauf dokumentiert. Die ermittelten Keimzahlen dienen als Referenzwerte für die bakterielle Belastung von hygienisch gewonnenem Rindfleisch im Verlauf der Lagerung. Sie sollen fleischerzeugenden und -vermarktenden Betrieben Vergleichswerte für die Einschätzung des mikrobiologischen Status des eigenen Rindfleisches während der Lagerung an die Hand geben. Sensorische Abweichungen konnten in dieser Studie ab einem Oberflächenkeimgehalt von $10^6$ KbE/$cm^2$ festgestellt werden.

Für rohes Rindfleisch wurde in der vorliegenden Arbeit eine beschreibende Sensorik, bei der Oberflächen- und Anschnittsfarbe, Geruch, Konsistenz, Fleischsaftmenge und -beschaffenheit sowie Textur beurteilt wurden, durchgeführt. Die Korrelationen zwischen den einzelnen sensorischen Parametern wurden für rohes Fleisch erstmals ermittelt. Weiterhin wurden die Korrelationen zwischen mikrobiologischen Kriterien und sensorischen Parametern errechnet. Der Zusammenhang zwischen mikrobiologischen und sensorischen Parametern war jedoch unpräzise, so dass zur Überprüfung von Mindesthaltbarkeit und Genusstauglichkeit von Rindfleisch immer sowohl mikrobiologische als auch sensorische Untersuchungen durchgeführt werden sollten.

Auf Grundlage der vorliegenden Arbeit ergeben sich neue Anwendungsbereiche für die Farbmessung. Die erarbeiteten Referenzwerte für die Fleischfarbe L*a*b* können im Rahmen des Verbraucherschutzes zur Qualitätsprüfung an Rindfleisch eingesetzt werden. Aber auch die fleischerzeugenden und -vermarktenden Betriebe können aufgrund der erarbeiteten Referenzwerte für die Fleischfarbe in der Zerlegung sowie für die Entwicklung der Farbwerte während der Reifung und Lagerung die Farbmessung im Rahmen ihrer Qualitätssicherung und Eigenkontrollen einsetzen. Des Weiteren dienen die Untersuchungen über die Entwicklung des mikrobiologischen Status und über die sensorische Beurteilung von rohem Fleisch der Verbesserung der Qualitätsbeurteilung an Rindfleisch.

# 8 SUMMARY

Jennifer Wagner

**Colour as a beef quality parameter**
**with a view to determinate reference data**
**in the general administrative regulation food hygiene**

Steaks were cut out of the *M. longissimus dorsi* of 30 young bulls. The vacuum-packaged steaks were stored for 8 weeks. In weekly intervals the objective beef colour was determined via the L*a*b*-system, using a Minolta Chroma-Meter CR-400. Beef colour was measured for the meat surface and for a fresh incision of the steaks. The meat samples were also examined for microbiological status, sensory qualities and pH values.

The aim of the study was to determine reference data for the development of beef colour during the process of ageing and the storage. In addition, colour measurements were to be adapted to practical and routine conditions during beef slaughtering and processing in order to improve its application in the meat industry. Furthermore, correlations between beef colour L*a*b* and the other quality parameters were tested and possible influences were examined.

In a preliminary study, the colour of *M. longissimus dorsi* was measured on-line immediately after cutting (15 - 20 h p. m.). The meat colour of *M. longissimus dorsi* after a short blooming period (10 min, + 12°C) showed the following values: L* 33.12; a* 18.45; b* 6.62. These examinations showed significant differences between different beef carcasses. On the other hand, within the *M. longissimus dorsi* the colour was evenly distributed. Beef colour representative for the whole muscle can be measured anywhere on the *M. longissimus dorsi*.

In the main study, during the eight weeks storage beef colour L*a*b* was determined every week for the meat surface and for a fresh incision of the samples after an hour of blooming. A strong link between those two locations was shown. For laboratory

studies it is still recommended to perform colour measurements on a fresh incision. For practical studies for the meat industry and for routine examinations in plants colour measurements can be carried out on the meat surface with a comparable reliability.

Data on the changes in objective beef colour during eight weeks of storage were shown for the first time. The colour data from this study should be used as reference data for future storage trials. Colour measurements on the day of processing (15 - 20 h p. m.) showed the following values for a fresh incision: L* 36.5, a* 21.6, b* 10.5 and for the meat surface: L* 37.2, a* 22.9, b* 11.1. During ageing (third week of storage) colour values increased for both, the fresh incision (L* 39.5, a* 25.5, b* 13.3) and the meat surface (L* 40.3, a* 25.9, b* 13.5). After a storage period of 4 respectively 5 weeks beef colour values L*a*b* increased. In the fifth week of storage colour values of a fresh incision (L* 39.8, a* 25.7, b* 13.2) and of the meat surface (L* 40.4, a* 25.7, b* 13.2) were close together. This increase after 4 respectively 5 weeks needs further examination because it coindicides with the end of the sell-by date (35 days).

In this study the objective beef colour was negatively correlated to pH values. The pH values had a massive influence on beef colour values. The sensory evaluation of beef colour was also influenced by pH. Measurements of pH values are therefore important for the correct interpretation of colour measurements and sensory colour evaluations.

The colour values L*a*b* of *M. longissimus dorsi* are only slightly influenced by the microbiological status, mostly by lactobacillus counts. Thus, the microbiological status of beef cannot be derived from the objective beef colour. There were highly significant correlations between objective meat colour and sensory parameters. The differences of the colour values L*a*b* between the single assessments of the sensory parameters are too small to define reference colour values for good quality or for spoiled meat. Sensory qualities of beef cannot be derived from the objective beef colour.

The changes in the microbiological status of vacuum-packaged beef during eight weeks storage were additionally examined in this study. For the first time, a steady flow of data is shown for total bacterial count, lactobacillus and other lactic acid producing bacteria during ageing and storage. These bacterial counts for the different storage weeks should be used as reference data for the changes in the microbiological status of stored beef. The sensory parameters showed the onset of spoilage at surface bacterial counts of $10^6$ cfu/cm$^2$.

This study established a descriptive sensory evaluation (sensory meat colour of meat surface and fresh incision, smell, consistency, quality and quantity of meat juice, texture) for raw beef. Correlations among sensory parameters of raw beef were calculated for the first time. The correlations between sensory and microbiological parameters were imprecise. Therefore, sell-by date and quality of beef have to be examined in a combination of sensory evaluation and microbiological tests.

The results of this study open new fields for the application of colour measurements on beef in consumer protection and in the meat industry. Reference data for beef colour on-line after cutting and for beef colour development during ageing and storage have been established. Data on the increase of bacterial counts and on the sensory evaluation of raw beef could be used in the quality assurance of beef.

# 9 ANHANG

**Tab. 36:** Randomisierungsplan für die Probennahme (Zuordnung der einzelnen Roastbeef-Scheiben zur jeweiligen Untersuchungswoche)

| ***Roastbeefnr.*** | **Woche 0 (Tag der Zerlegung)** | **Woche 1** | **Woche 2** | **Woche 3** | **Woche 4** | **Woche 5** | **Woche 6** | **Woche 7** | **Woche 8** | **Reserve** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***1, 11, 21*** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ***2, 12, 22*** | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 |
| ***3, 13, 23*** | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 |
| ***4, 14, 24*** | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 |
| ***5, 15, 25*** | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ***6, 16, 26*** | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ***7, 17, 27*** | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ***8, 18, 28*** | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ***9, 19, 29*** | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ***10, 20, 30*** | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

**Tab. 37:** Codierungsplan für die Sensorik

| Label | Bewertung | Codierung |
|---|---|---|
| **Subjektive Farbe (Oberflächen- und Anschnittsfarbe)** | 3 = deutliche Abweichungen | 1 = rosa-grau |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 2 = hellrot, graugrüne Anteile |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 3 = hellrot-rosa |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 4 = hellrot, gräulich |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 5 = hellrot, bräunlich |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 6 = hellrot, blass |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 7 = hellrot, dunklere Anteile |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 8 = hellrot |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 9 = hellrot-mittelrot |
| | 1 = Soll | 10 = hellrot-kirschrot |
| | 1 = Soll | 11 = kirschrot, hellere Anteile |
| | 1 = Soll | 12 = kirschrot |

Fortsetzung **Tab. 37**

| Label | Bewertung | Codierung |
|---|---|---|
| **Subjektive Farbe (Oberflächen- und Anschnittsfarbe)** | 1 = Soll | 13 = kirschrot, dunklere Anteile |
| | 1 = Soll | 14 = mittelrot-kirschrot |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 15 = kirschrot-dunkelrot |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 16 = mittelrot |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 17 = mittelrot, blass |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 18 = mittelrot, rosagraue Anteile |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 19 = mittelrot, dunklere Anteile |
| | 2 = geringfügige Abweichungen | 20 = mittelrot-dunkelrot |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 21 = mittelrot-rotbraun |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 22 = mittelrot, graubraune Anteile |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 23 = dunkelrot |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 24 = dunkelrot, hellere Anteile |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 25 = dunkelrot, braune Anteile |

Fortsetzung **Tab. 37**

| Label | Bewertung | Codierung |
|---|---|---|
| **Subjektive Farbe (Oberflächen- und Anschnittsfarbe)** | 3 = deutliche Abweichungen | 26 = rotbraun |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 27 = dunkelrot-grau |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 28 = rotbraun, graubraune Anteile |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 29 = graubraun |
| | 3 = deutliche Abweichungen | 30 = dunkelrot, graugrüne Anteile |
| **Geruch** | 1 = Soll | 1 = geruchlos, frisch, neutral |
| | 1 = Soll | 2 = leicht Rindfleischaroma, frisch |
| | 1 = Soll | 3 = Rindfleischaroma |
| | 1 = Soll | 4 = intensives Rindfleischaroma |
| | 2 = unerhebliche Abweichungen | 5 = Rindfleischaroma, leicht säuerlich |
| | 2 = unerhebliche Abweichungen | 6 = Rindfleischaroma, dumpf, muffig |
| | 2 = unerhebliche Abweichungen | 7 = Rindfleischaroma, süßlich |
| | 3 = nicht unerhebliche Abweichungen | 8 = sauer |

Fortsetzung **Tab. 37**

| Label | Bewertung | Codierung |
|---|---|---|
| **Geruch** | 3 = nicht unerhebliche Abweichungen | 9 = stickig |
| | 2 = unerhebliche Abweichungen | 10 = kaum/kein Fleisch-aroma |
| | 4 = erhebliche Abwei-chungen | 11 = Schwefelwasserstoff |
| | 4 = erhebliche Abwei-chungen | 12 = Urin-/Fäkalgeruch |
| | 4 = erhebliche Abwei-chungen | 13 = bitter, verdorben |
| **Textur** | | 1 = wie gewachsen (Muskelgewebe) |
| | | 2 = marmoriert (Fett- und Sehneneinlagerungen) |
| | | 3 = deutl. marmoriert (starke Fett- und Sehnenstränge) |
| **Konsistenz** | | 1 = fest |
| | | 2 = fest-mürbe |
| | | 3 = mürbe |
| | | 4 = mürbe, zerfällt |
| | | 5 = mürbe, zerfällt, weich, schleimig (autolytisch?) |
| | | 6 = autolytisch |

Fortsetzung **Tab. 37**

| Label | Bewertung | Codierung |
|---|---|---|
| **Fleischsaftmenge** | | 1 = 0-gering |
| | | 2 = gering (< 1 ml) |
| | | 3 = mäßig (1-2 ml) |
| | | 4 = deutlich (3-4 ml) |
| | | 5 = viel (> 5 ml) |
| **Fleischsaft-beschaffenheit** | | 1 = rötlich-klar |
| | | 2 = rötlich-trüb |
| | | 3 = rotbraun-trüb |
| | | 4 = rötlich-trüb, braun-schleimig |
| **Lagerwoche** | | 0 = Lagerwoche 0 (Tag der Zerlegung) |
| | | 1 = Lagerwoche 1 |
| | | 2 = Lagerwoche 2 |
| | | 3 = Lagerwoche 3 |
| | | 4 = Lagerwoche 4 |
| | | 5 = Lagerwoche 5 |
| | | 6 = Lagerwoche 6 |
| | | 7 = Lagerwoche 7 |
| | | 8 = Lagerwoche 8 |

**Tab. 38:** Multivariate Tests zur Untersuchung des Einflusses von Messposition, Messstelle im Roastbeef und tierindividuellen Unterschieden auf die objektive Fleischfarbe L*a*b*

| untersuchter Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Messposition (Oberfläche vs. Anschnitt) | Pillai-Spur | 0,740 |
| | Wilks-Lambda | 0,740 |
| | Hotelling-Spur | 0,740 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,740 |
| Nummer der Scheibe | Pillai-Spur | 0,745 |
| | Wilks-Lambda | 0,745 |
| | Hotelling-Spur | 0,745 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,113 |
| Nummer des Roastbeef | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

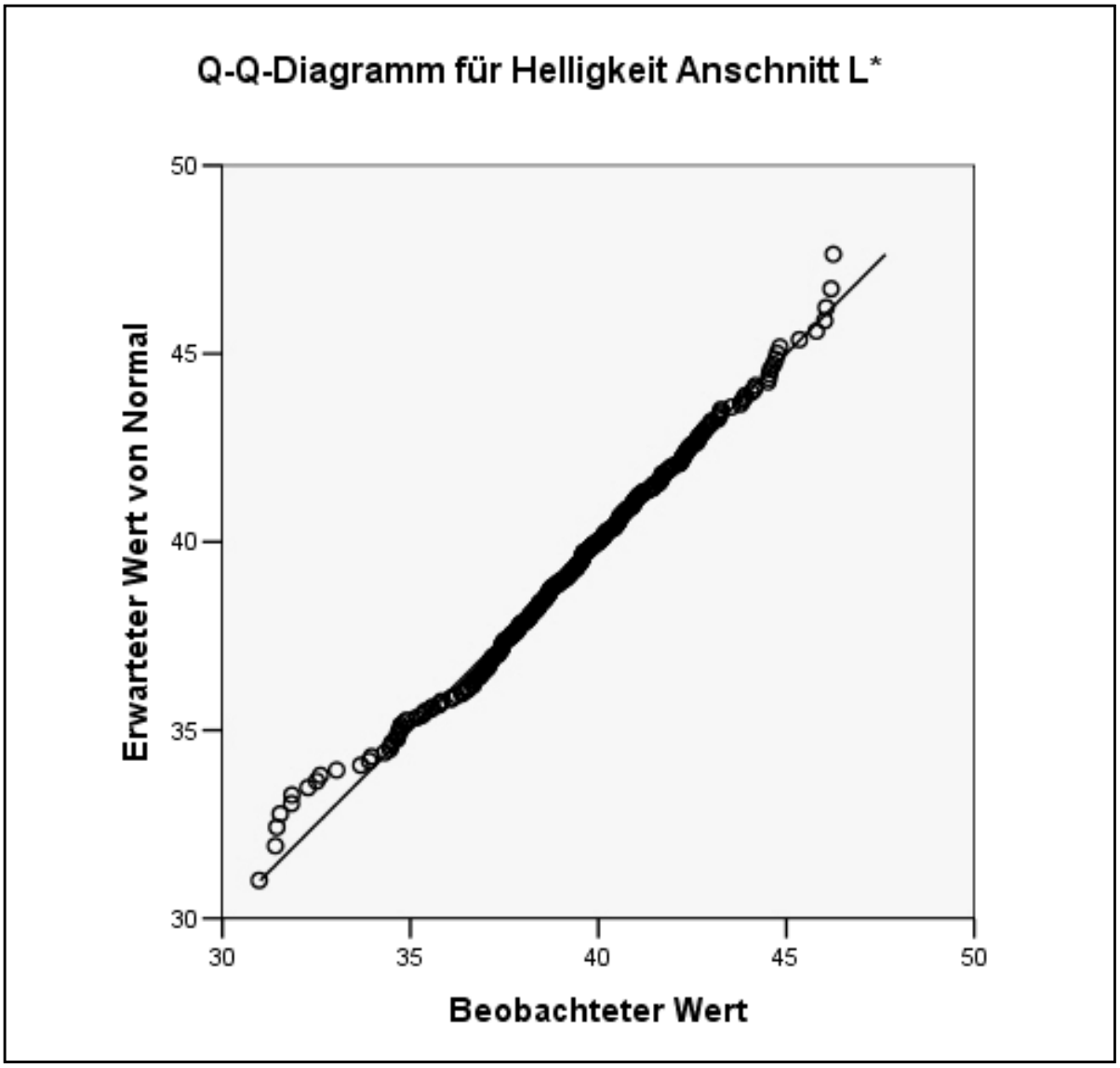


**Abb. 35:** Q-Q-Diagramm für die Helligkeit des Anschnitts

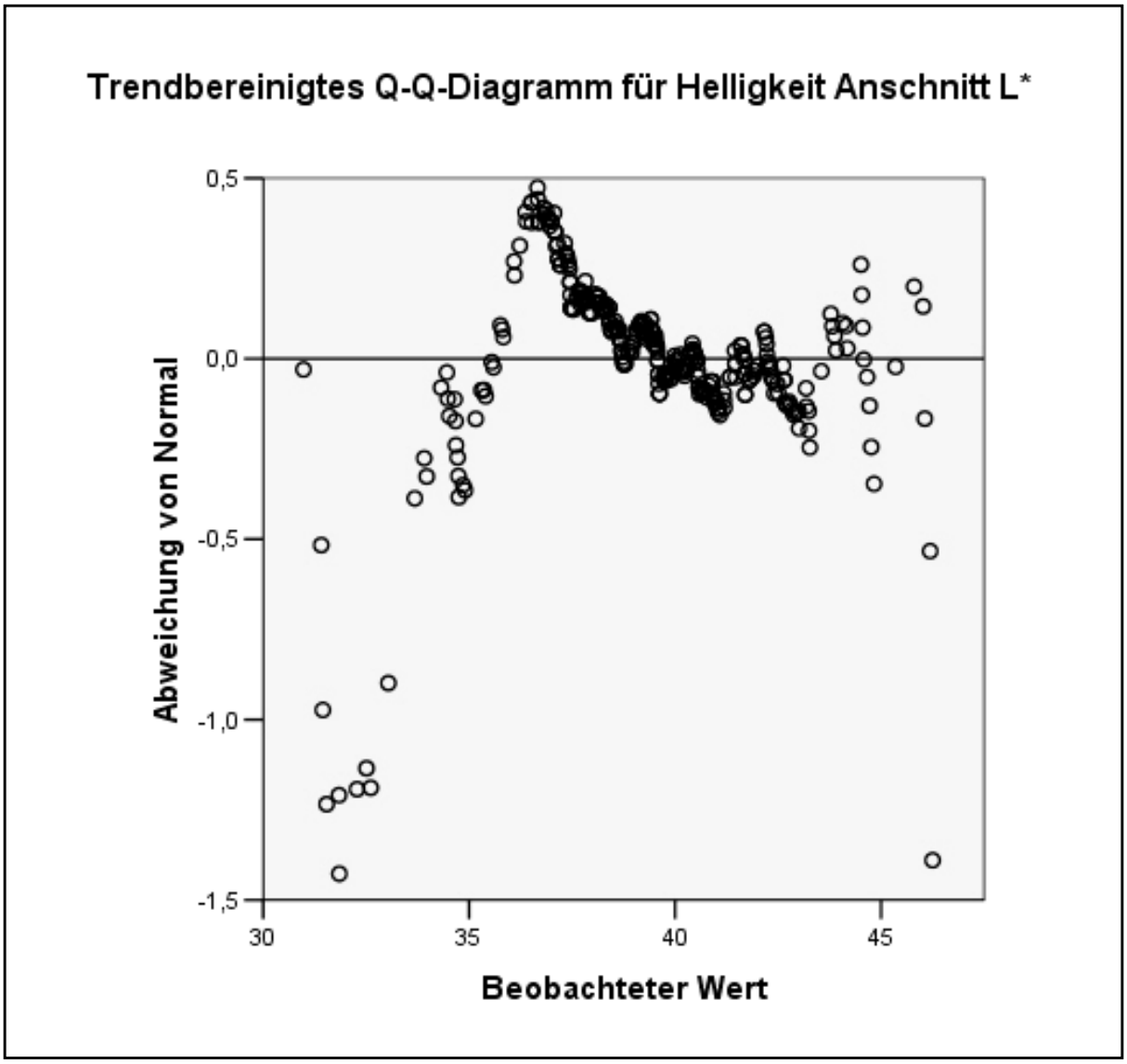


**Abb. 36:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für die Helligkeit des Anschnitts

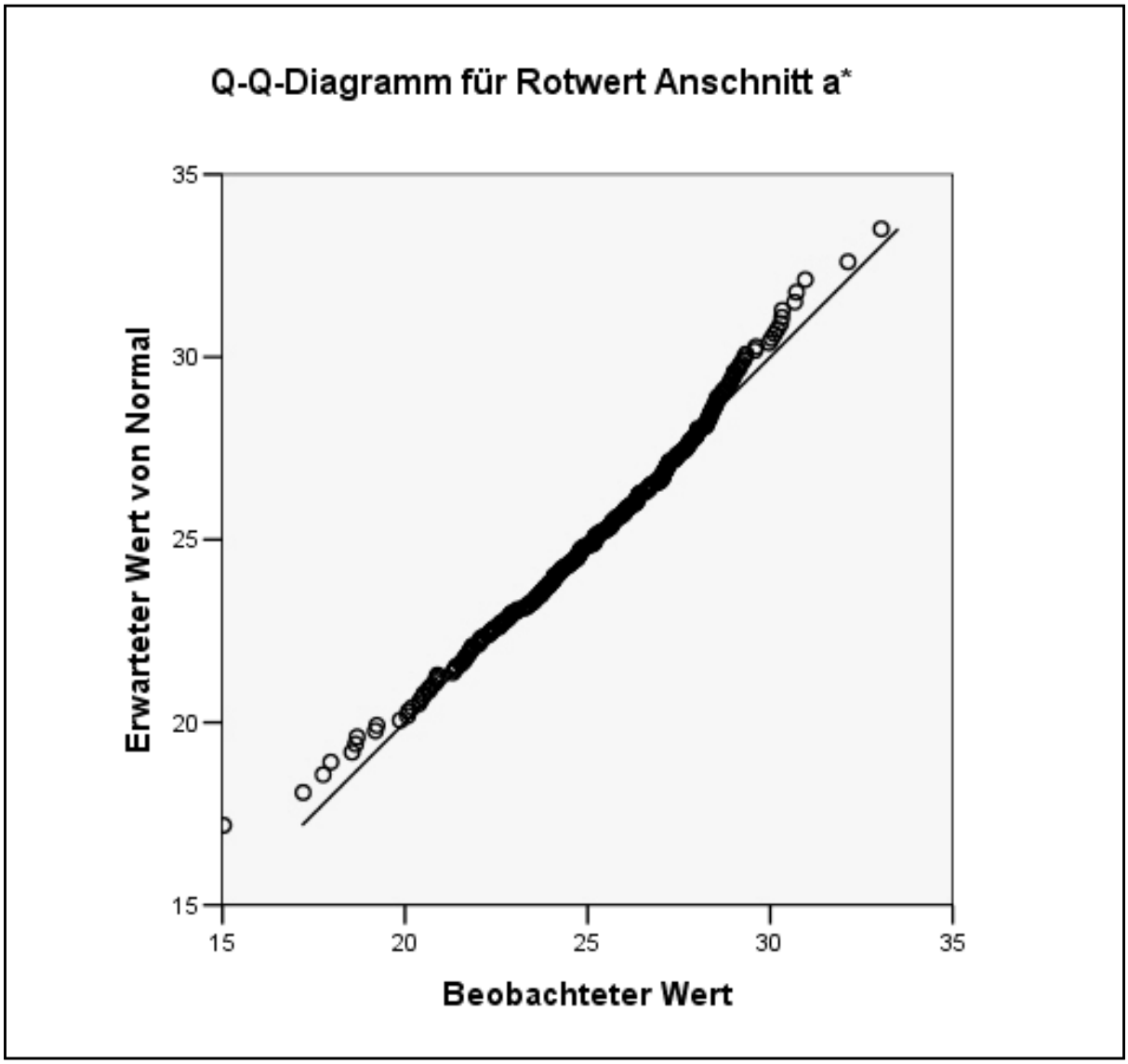


**Abb. 37:** Q-Q-Diagramm für den Rotwert des Anschnitts

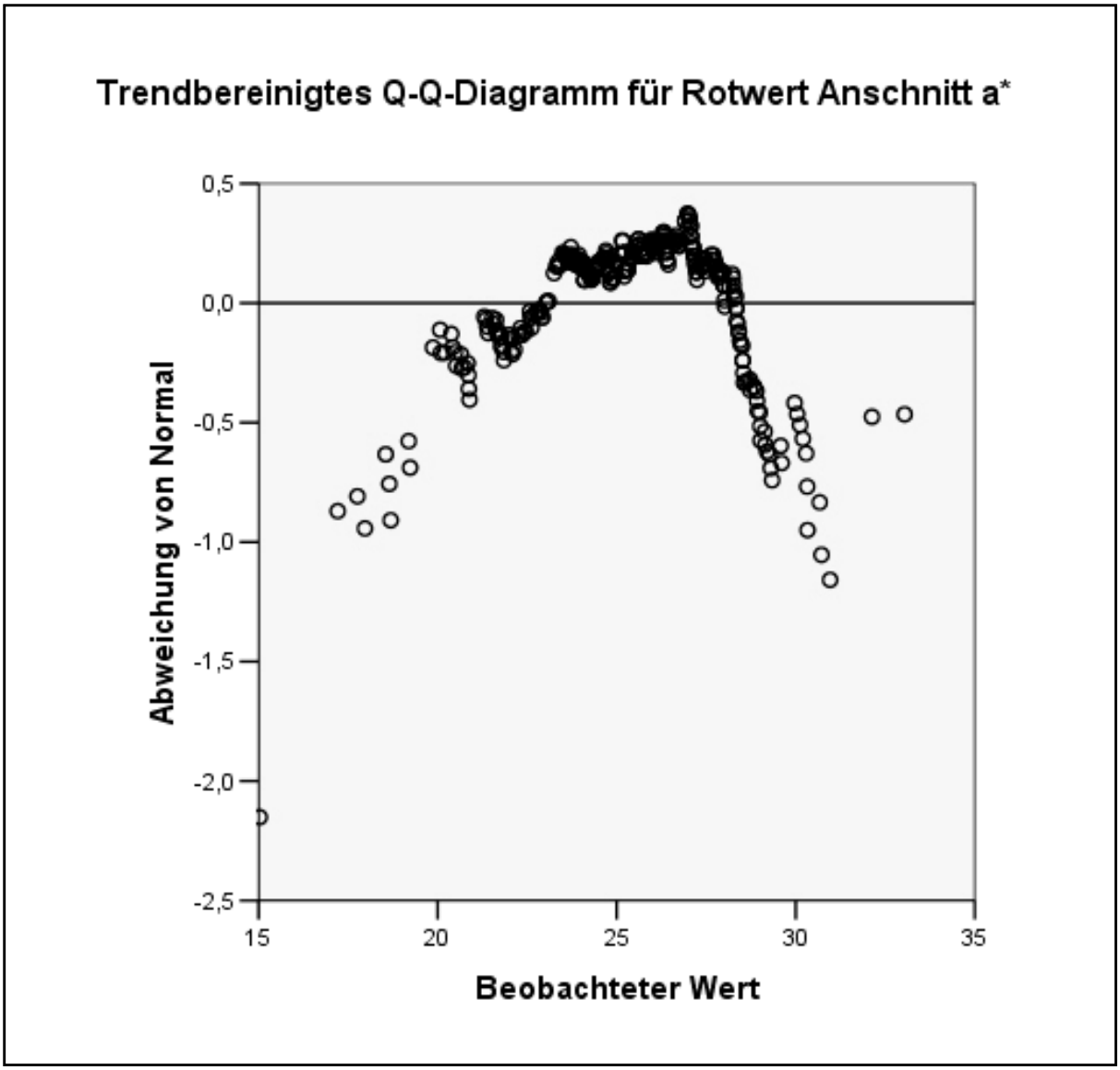


**Abb. 38:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Rotwert des Anschnitts

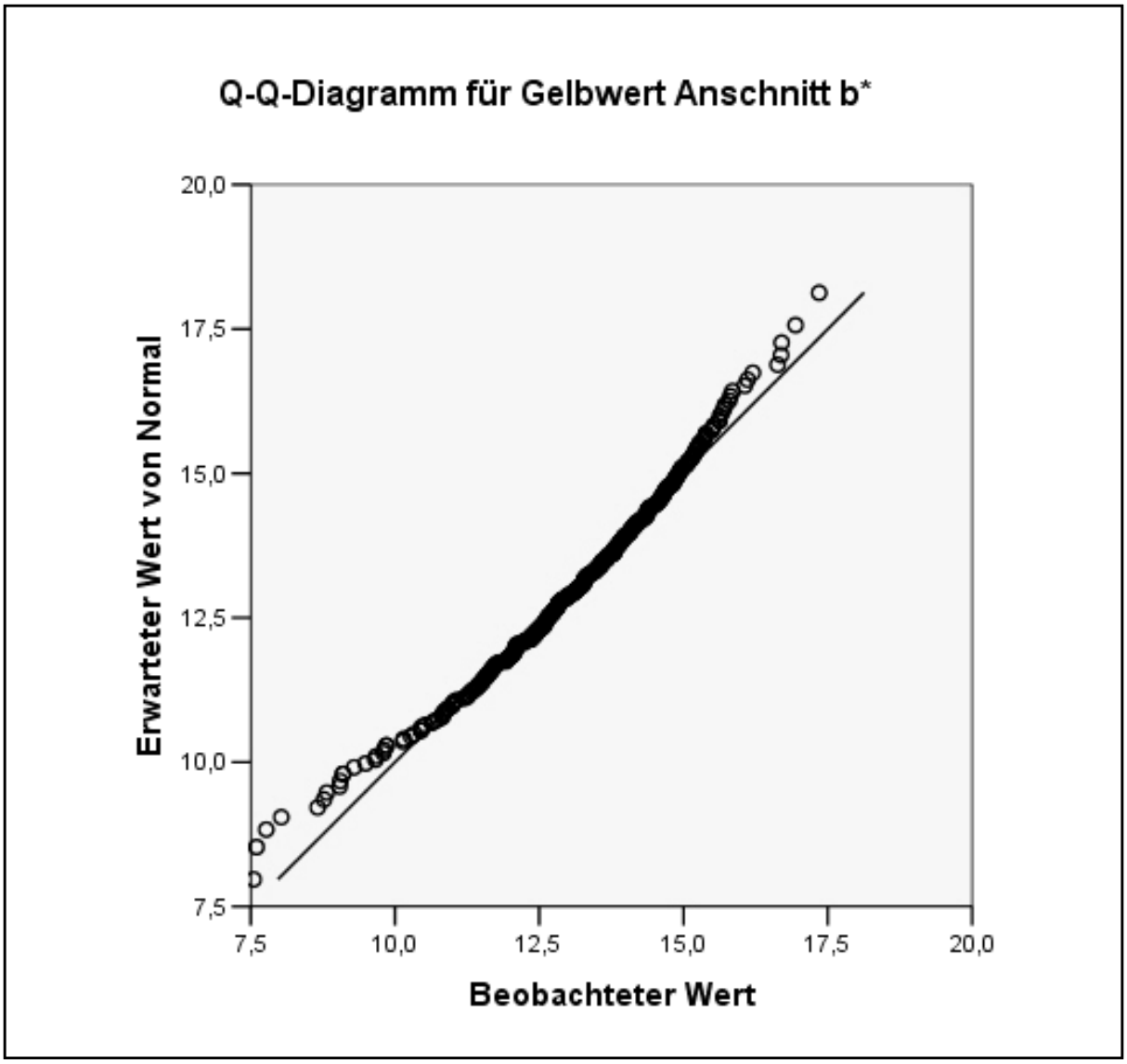


**Abb. 39:** Q-Q-Diagramm für den Gelbwert des Anschnitts

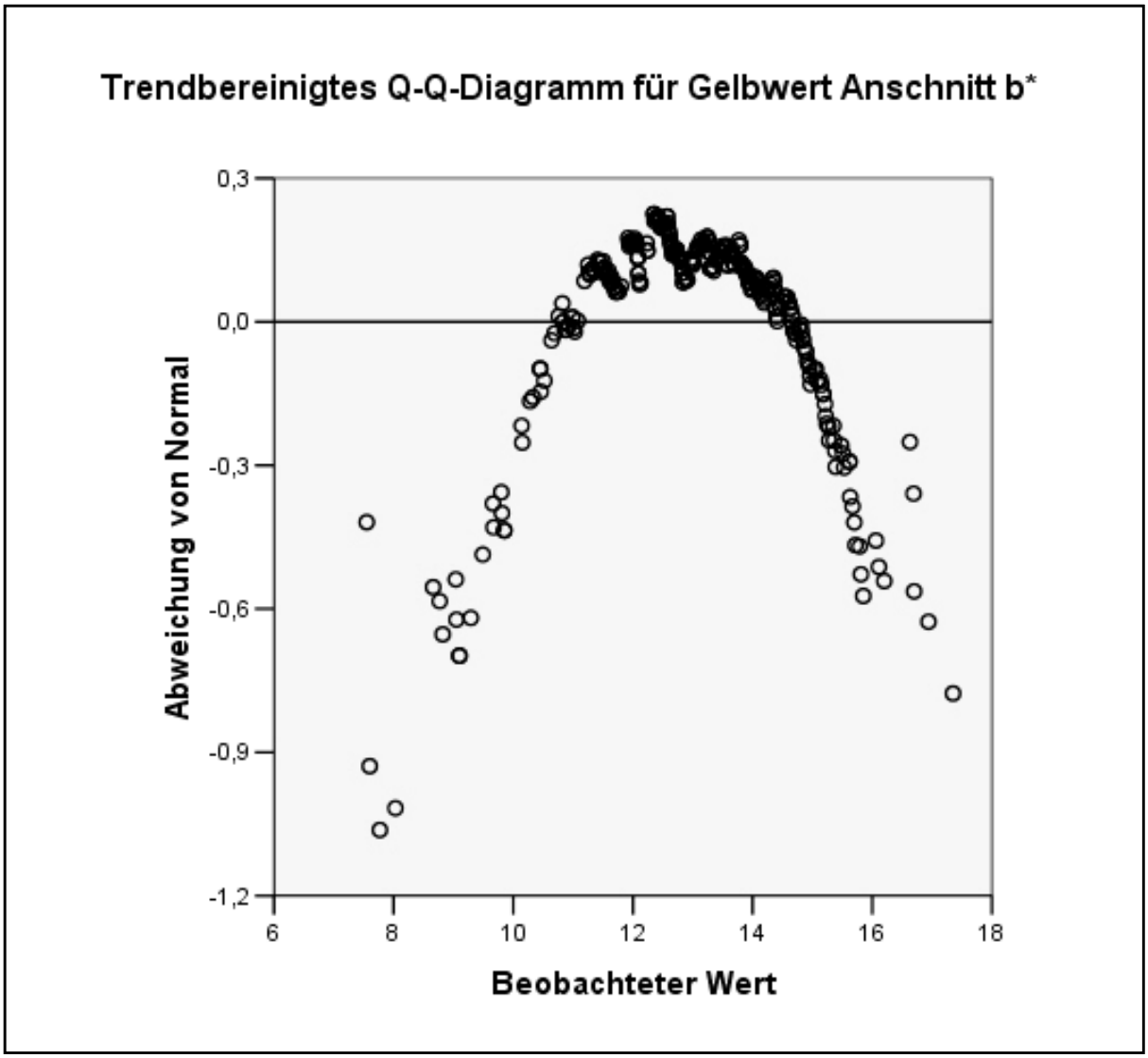


**Abb. 40:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Gelbwert des Anschnitts

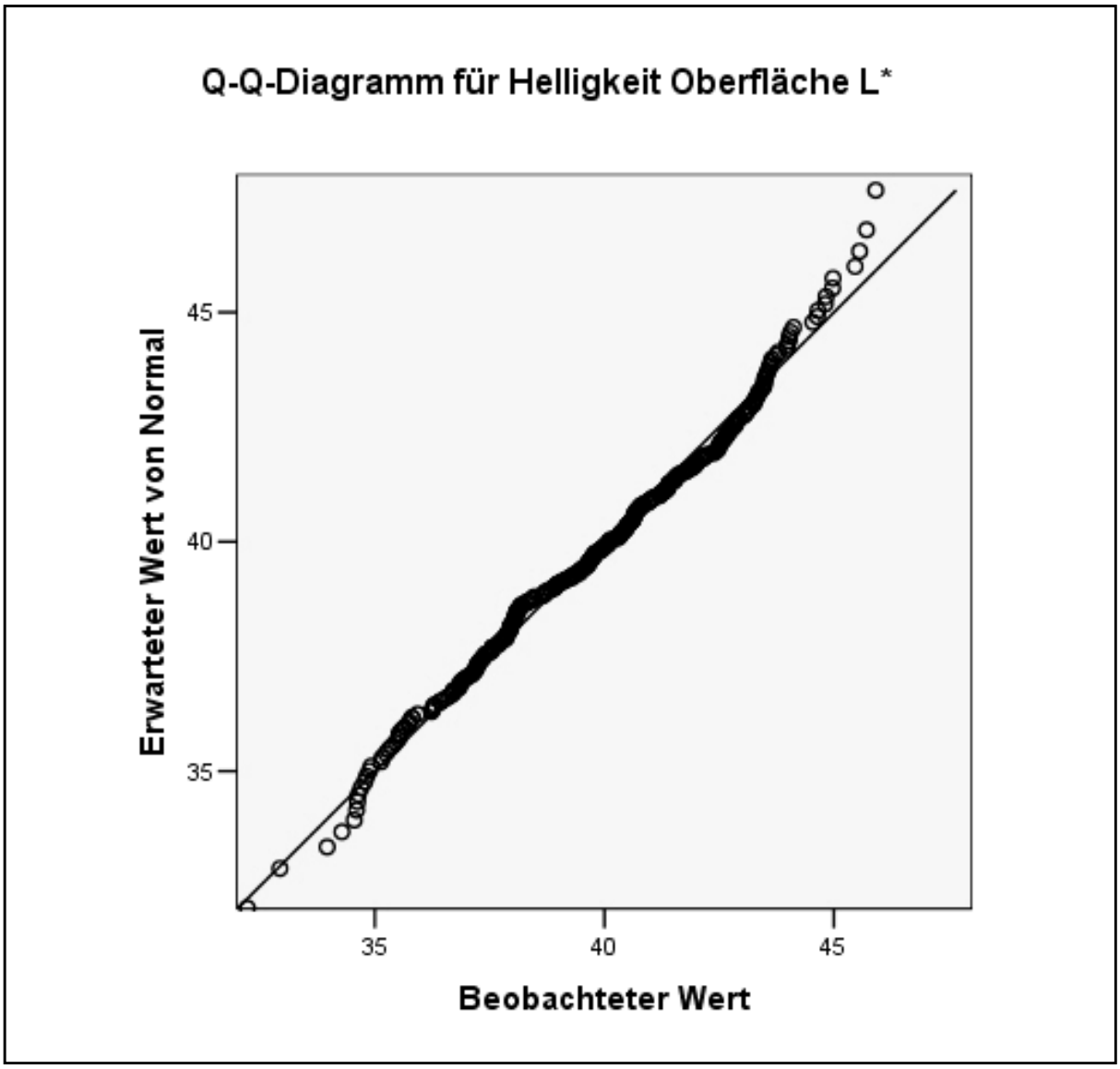


**Abb. 41:** Q-Q-Diagramm für die Helligkeit der Oberfläche

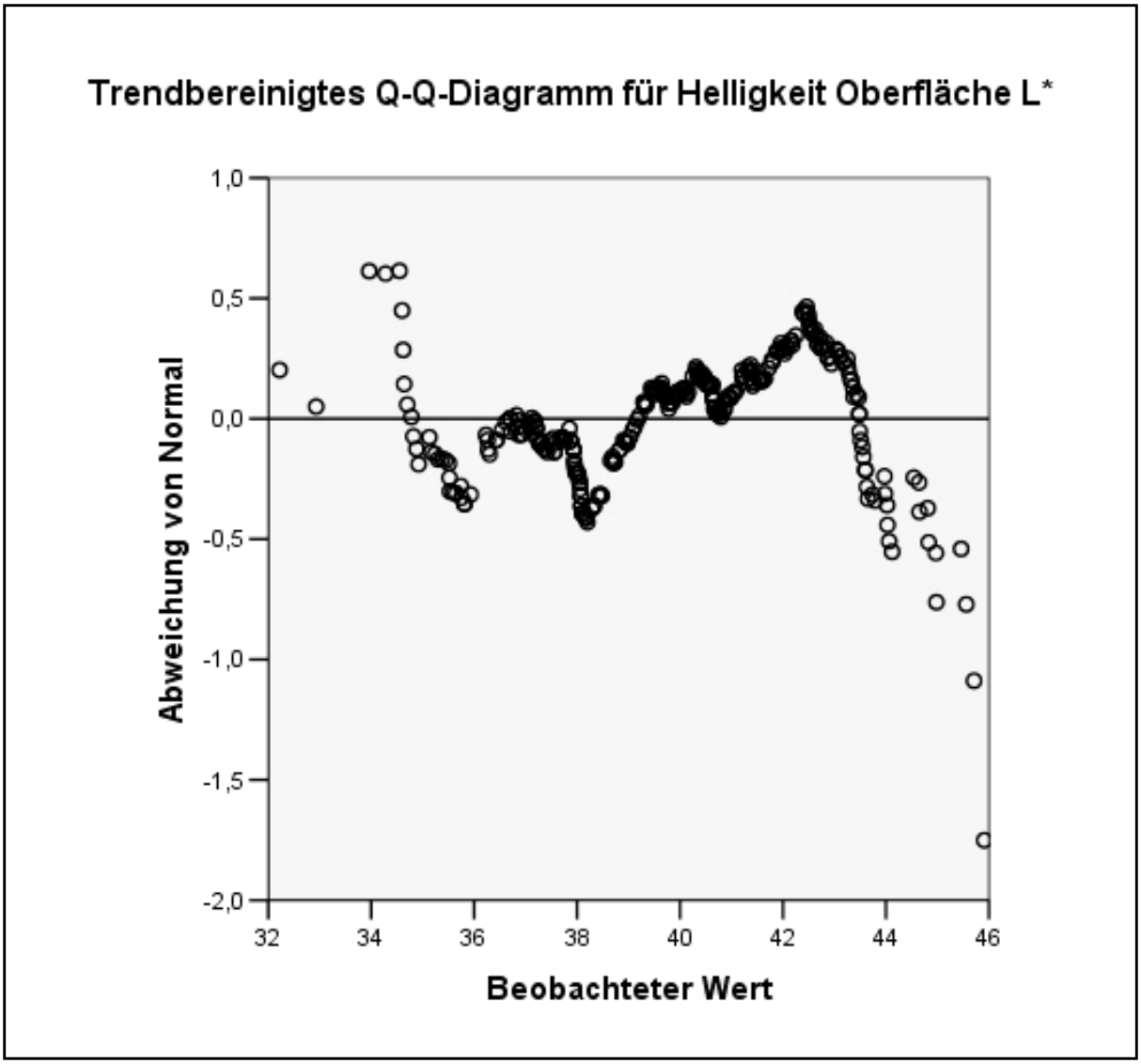


**Abb. 42:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für die Helligkeit der Oberfläche

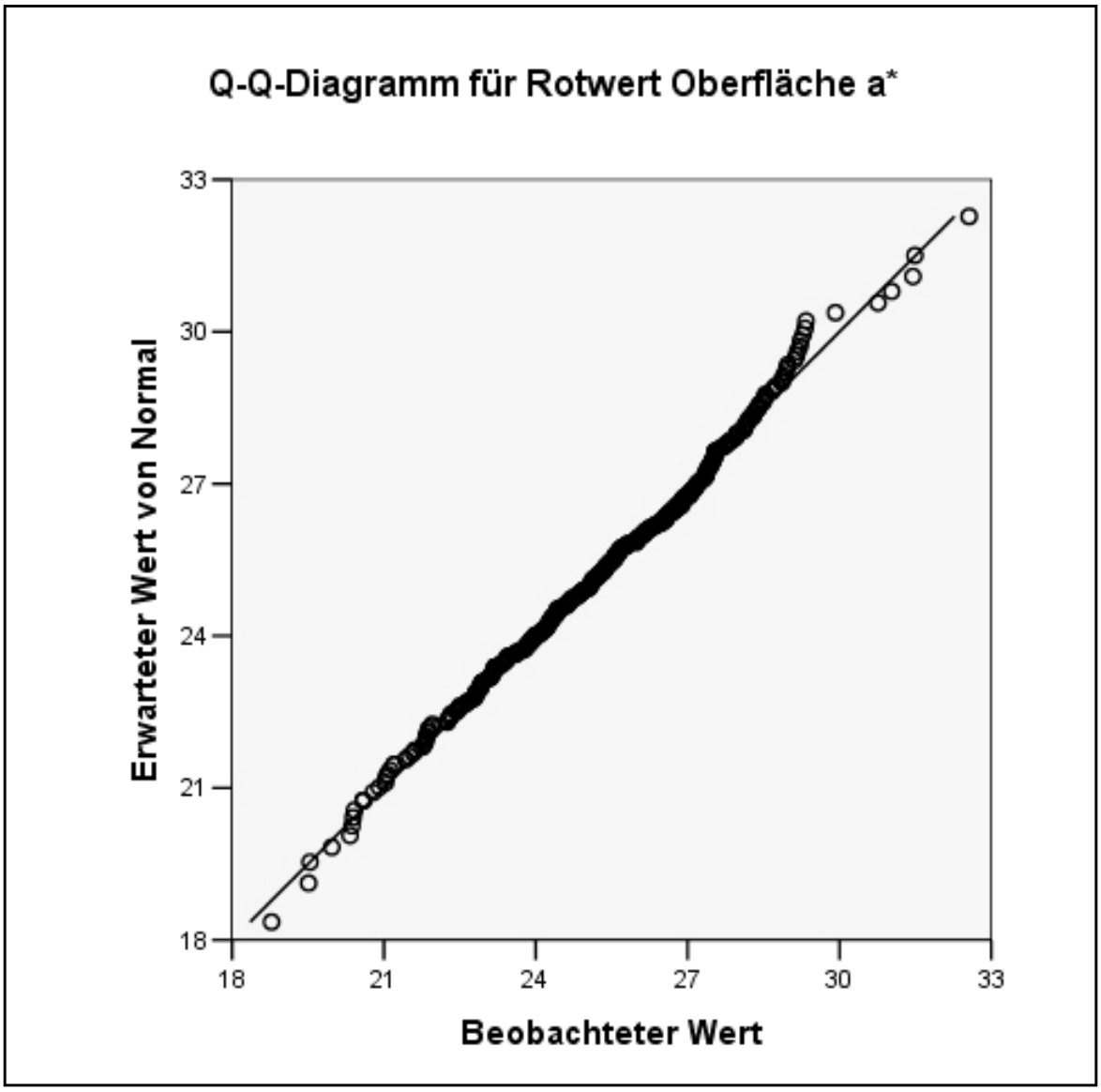


**Abb. 43:** Q-Q-Diagramm für den Rotwert der Oberfläche

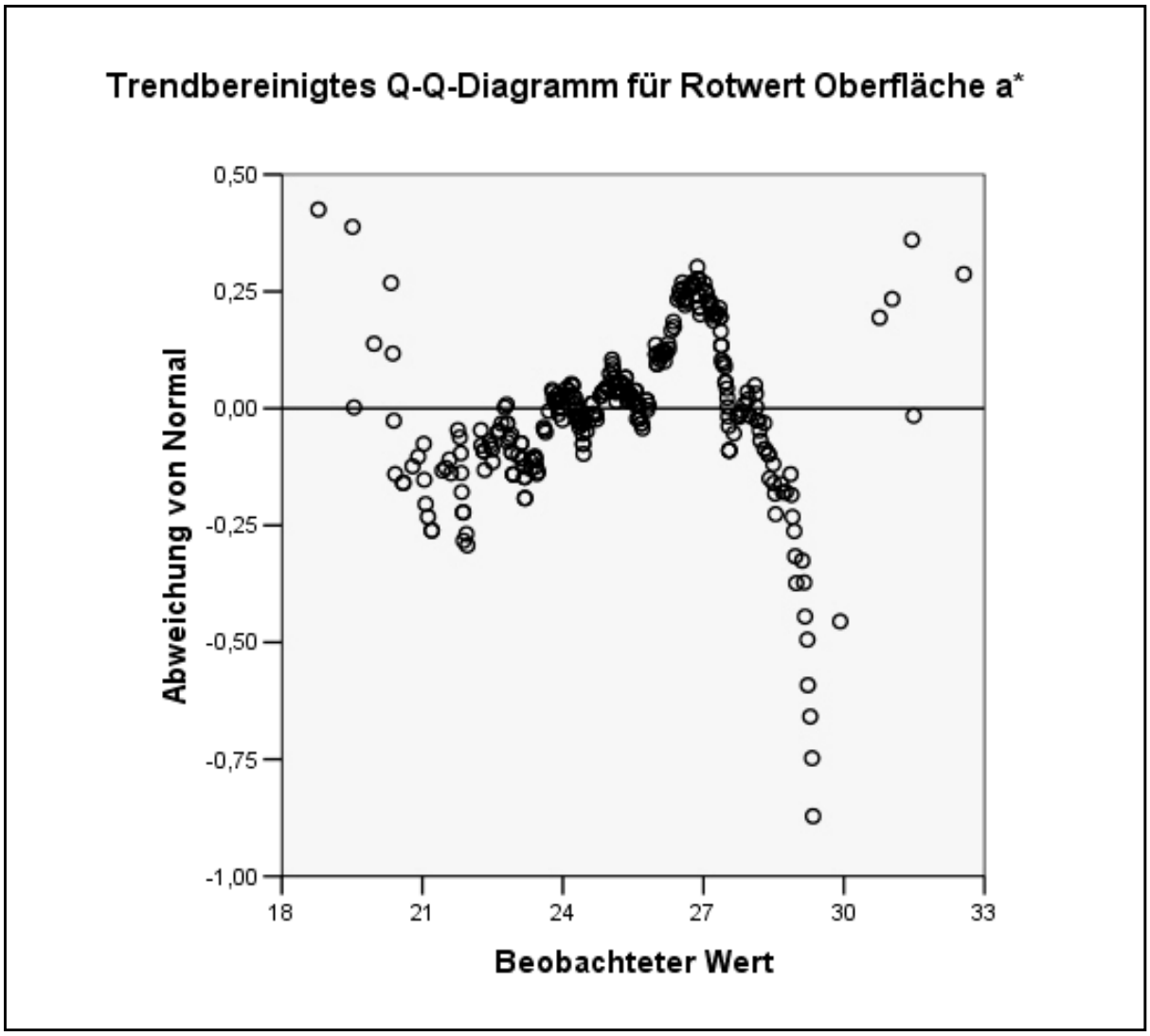


**Abb. 44:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Rotwert der Oberfläche

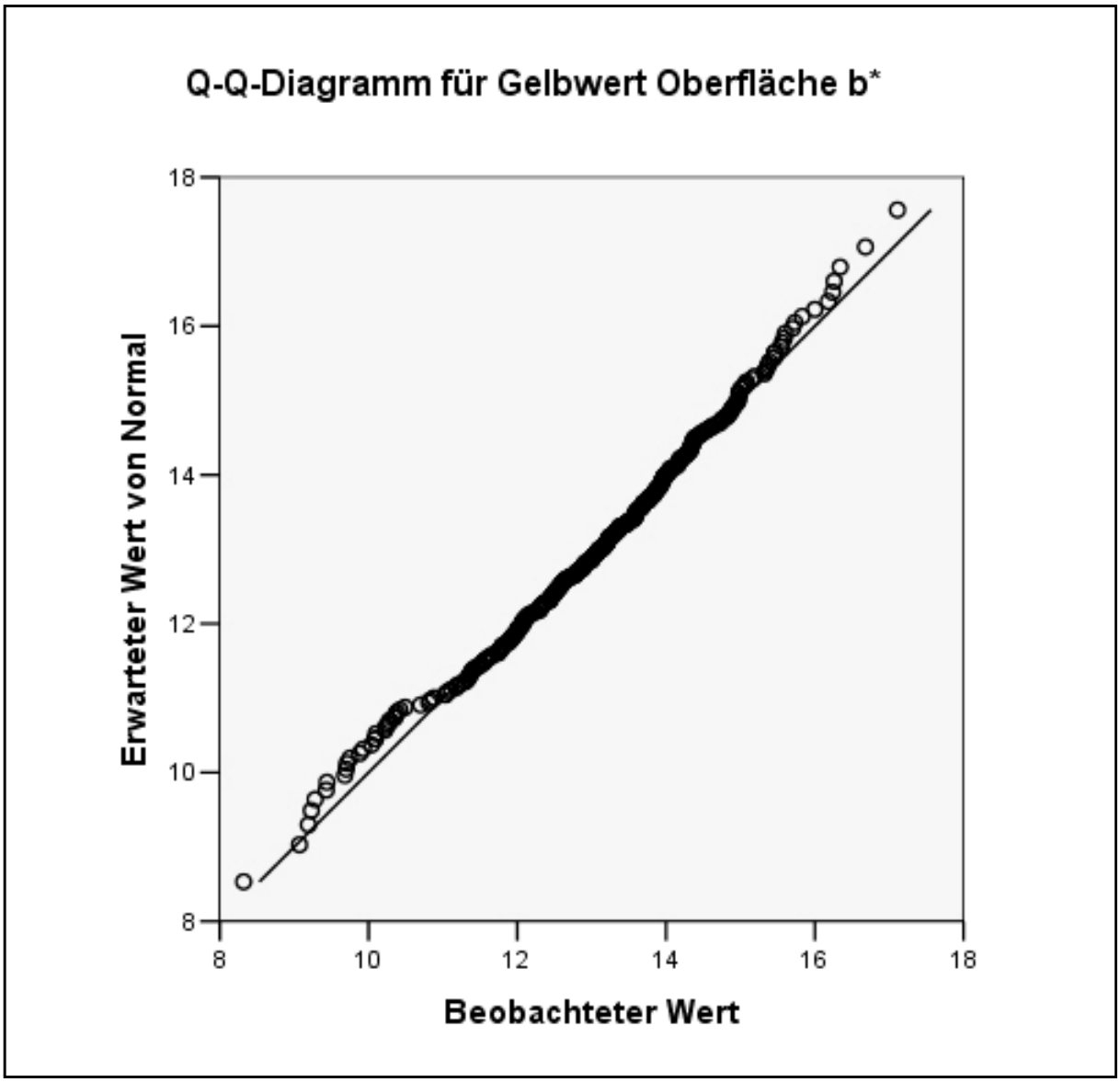


**Abb. 45:** Q-Q-Diagramm für den Gelbwert der Oberfläche

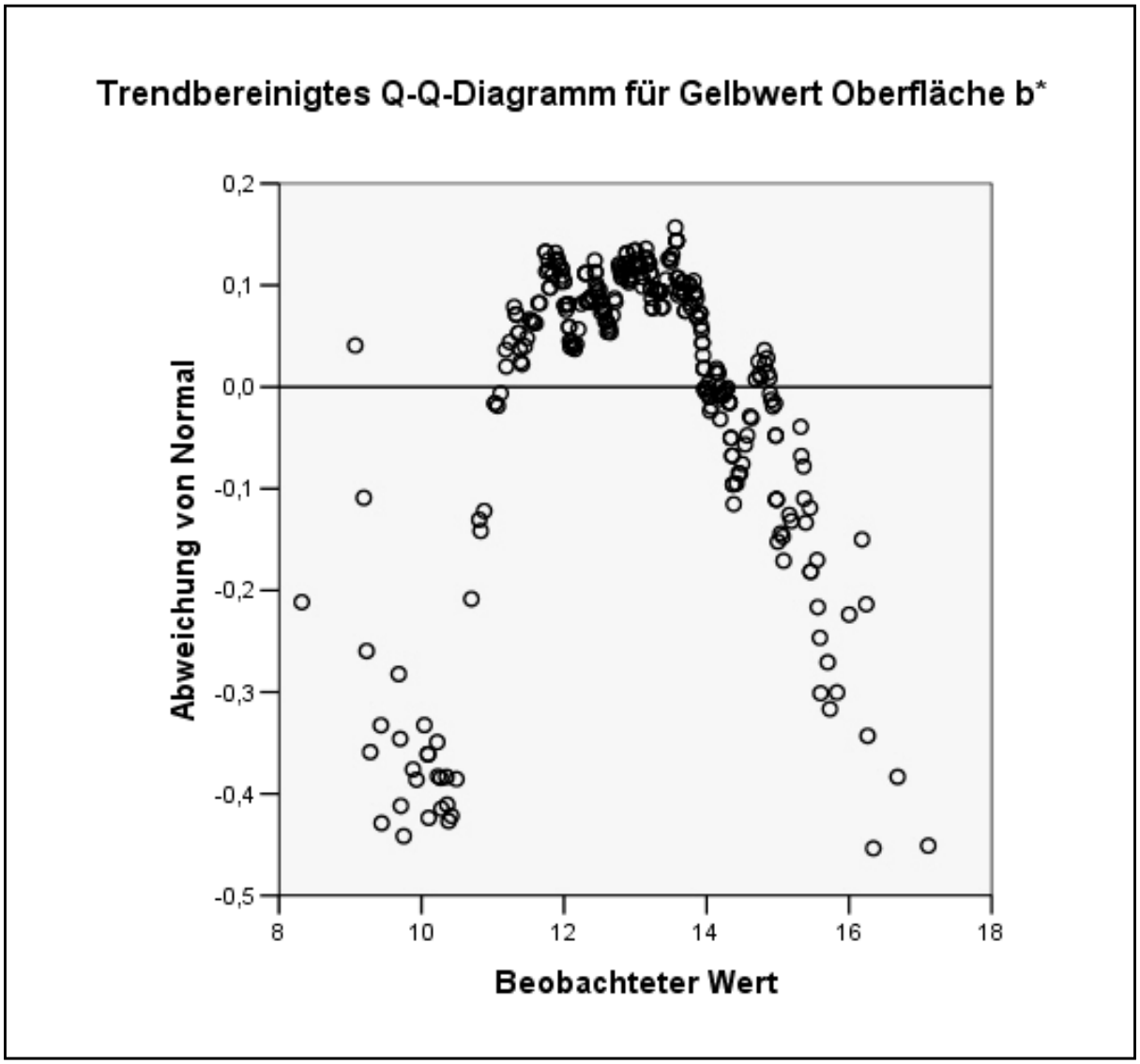


**Abb. 46:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Gelbwert der Oberfläche

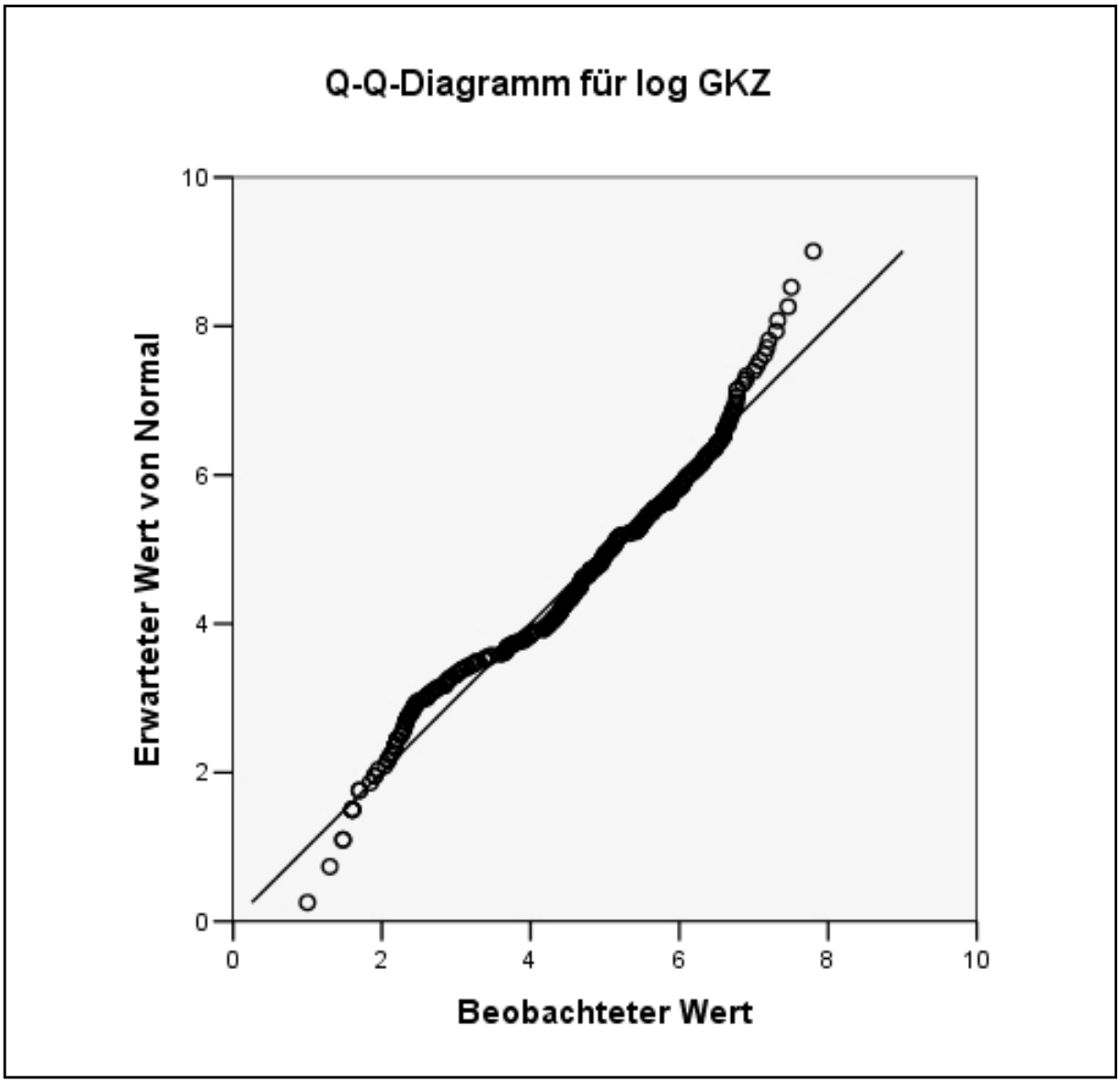


**Abb. 47:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Gesamtkeimzahl

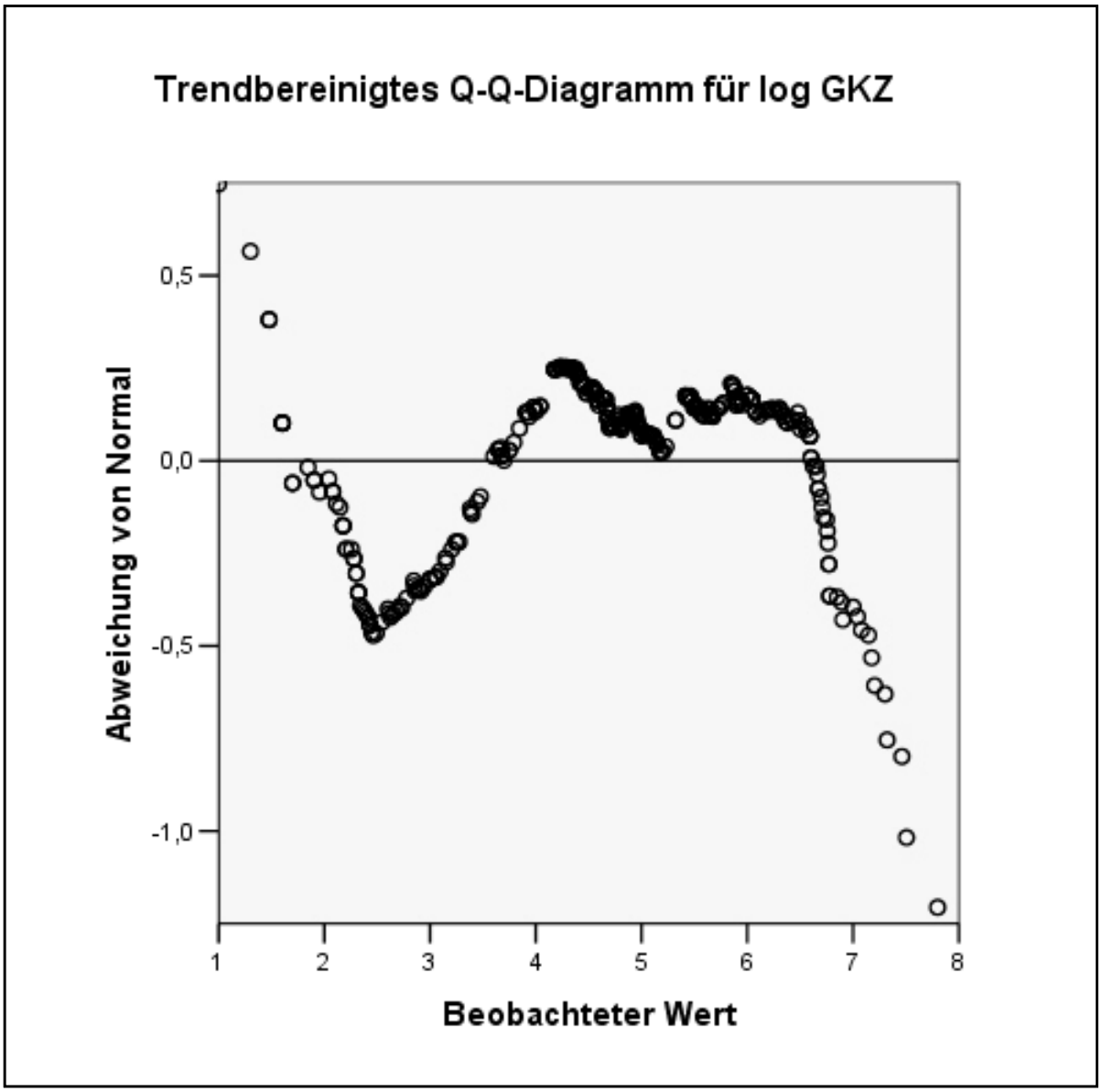


**Abb. 48:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Gesamtkeimzahl

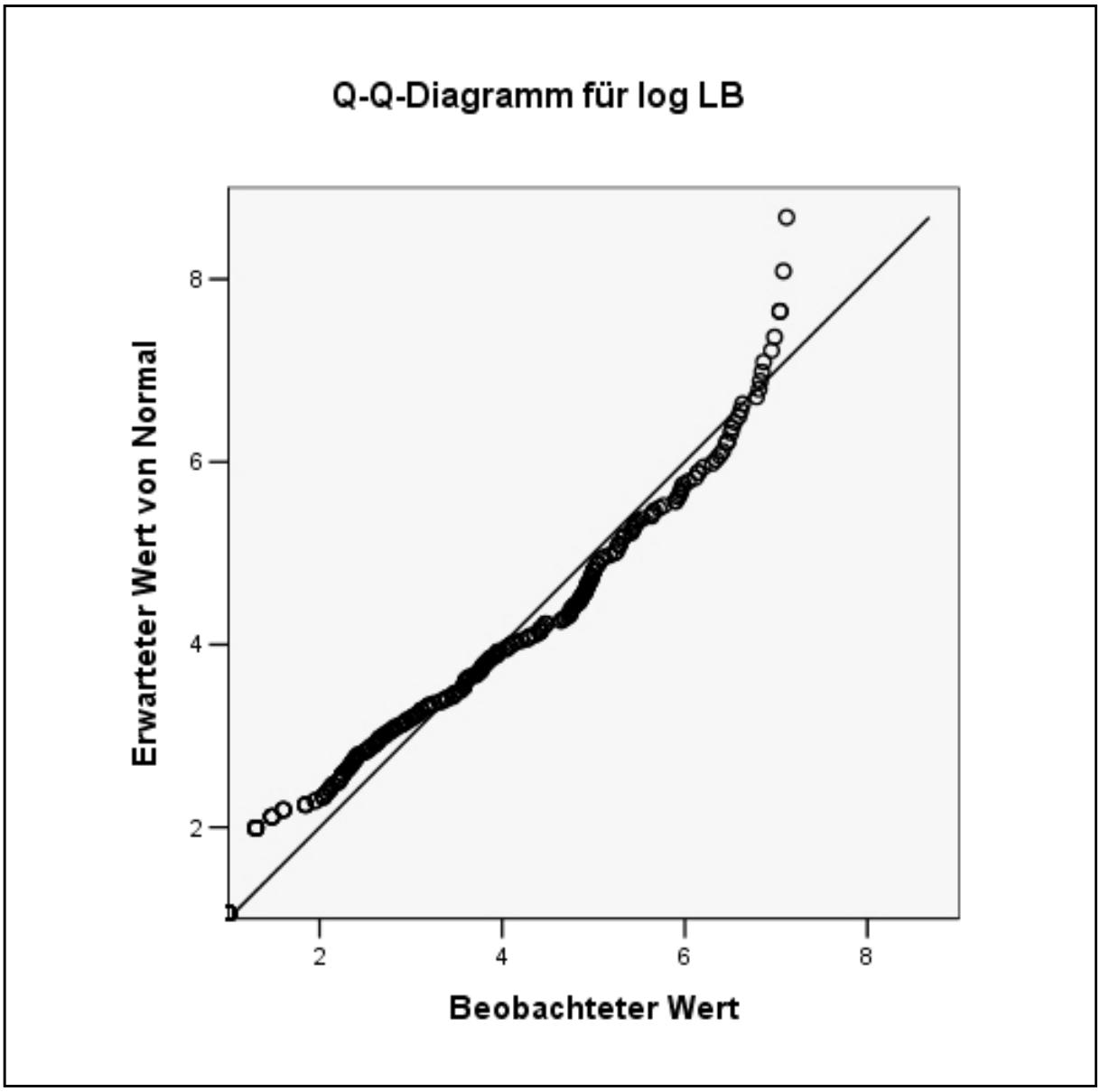


**Abb. 49:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Laktobazillen

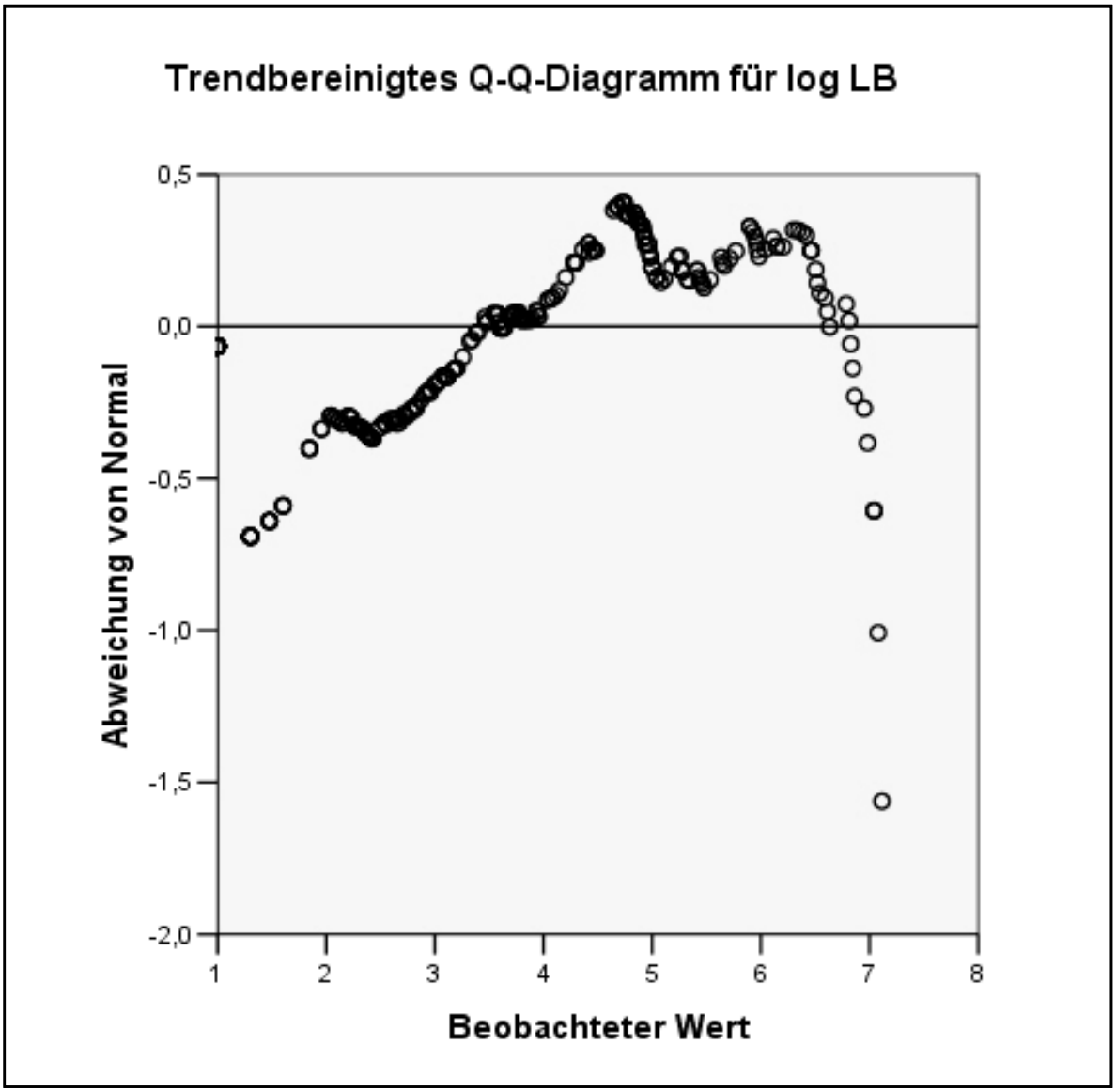


**Abb. 50:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Laktobazillen

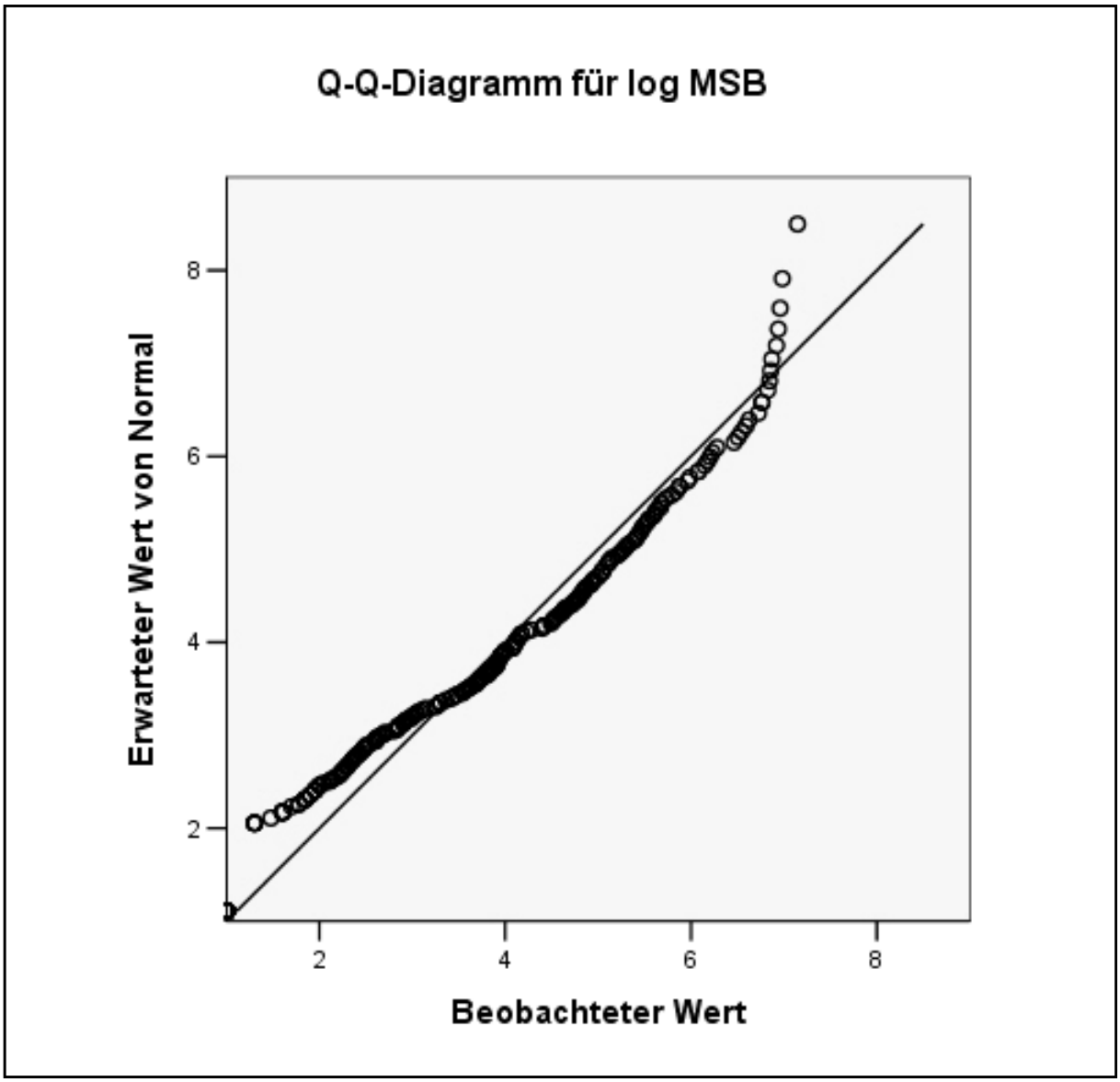


**Abb. 51:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Milchsäurebakterien

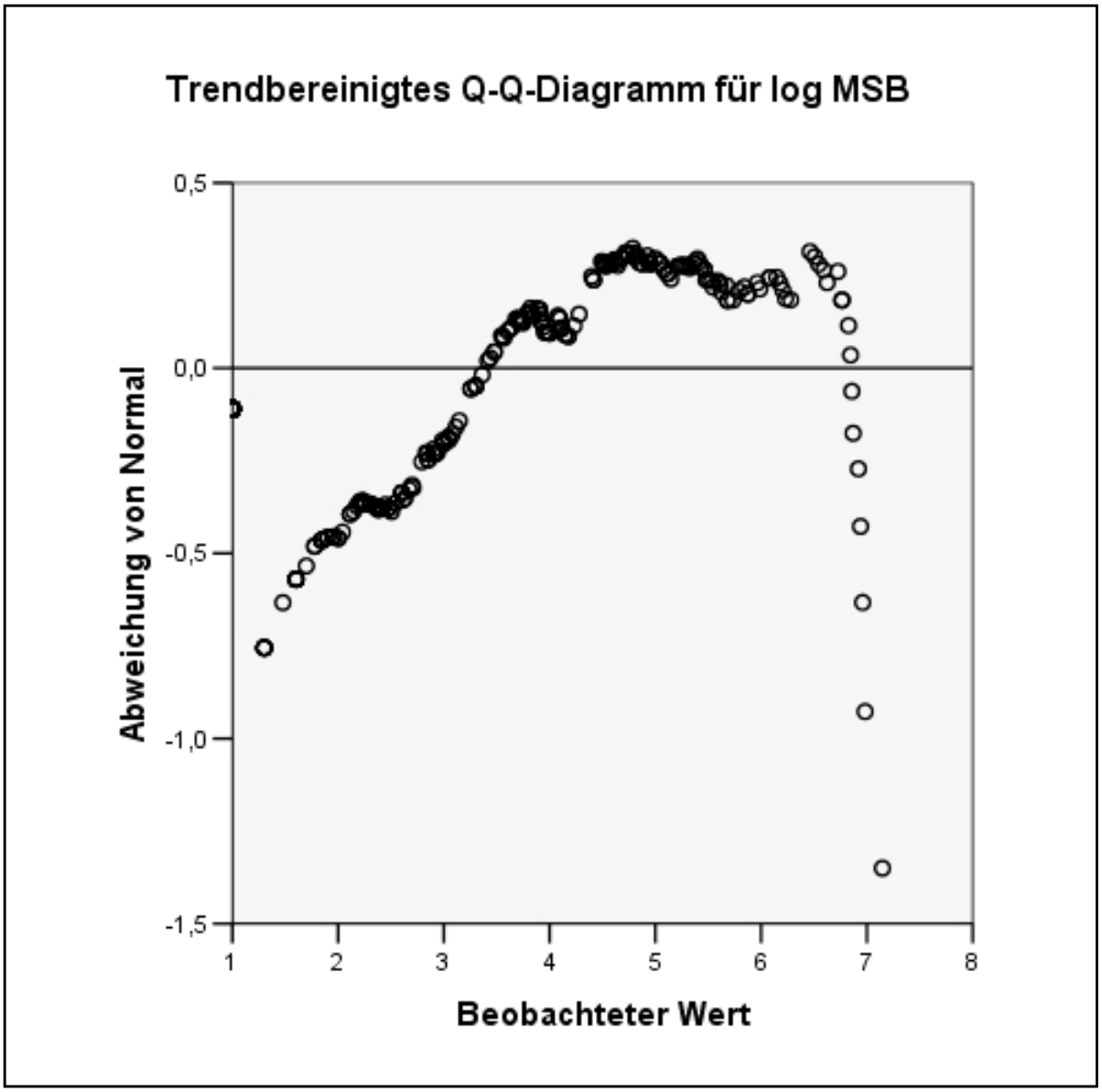


**Abb. 52:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Milchsäurebakterien

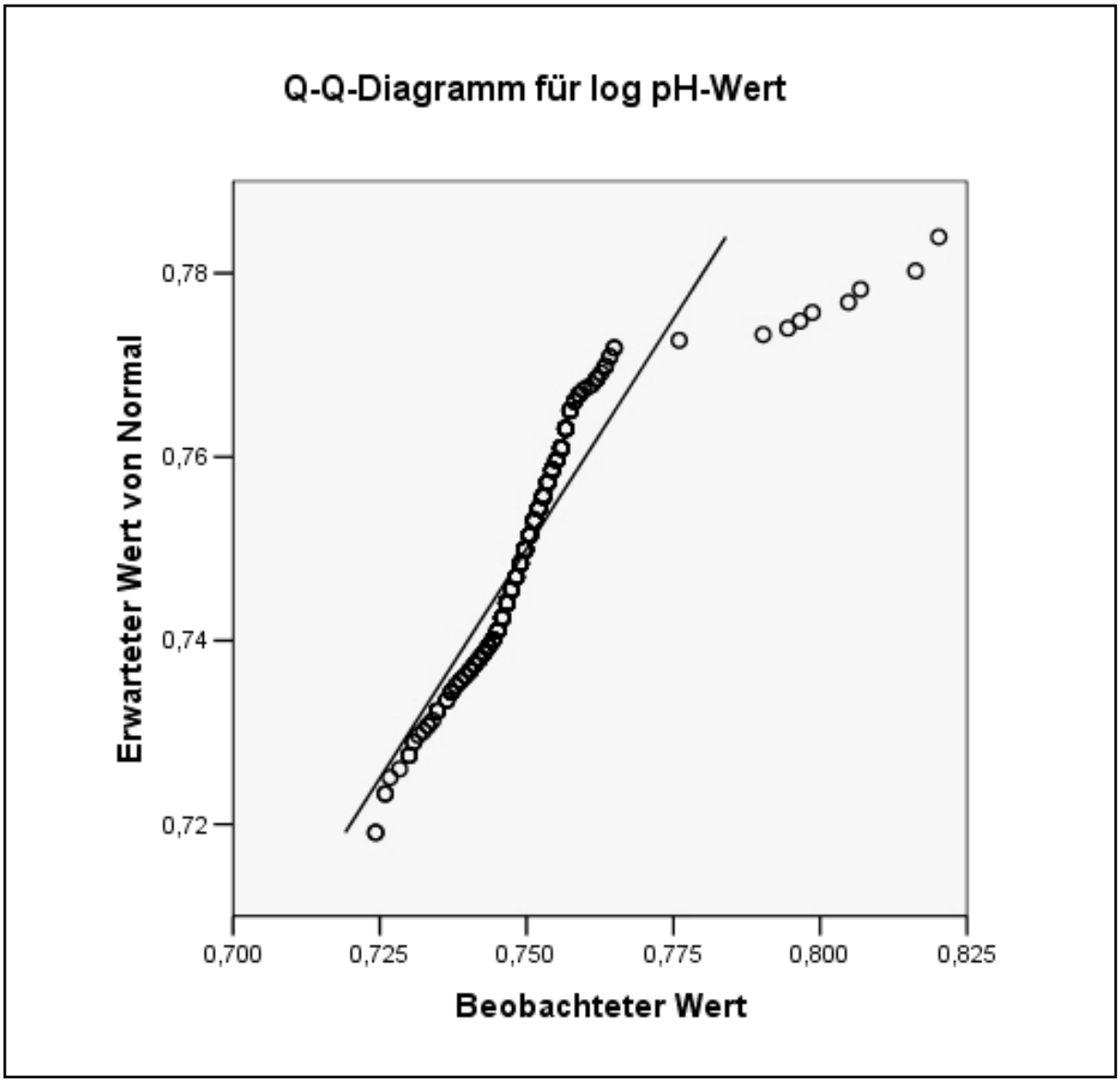


**Abb. 53:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus des pH-Wertes

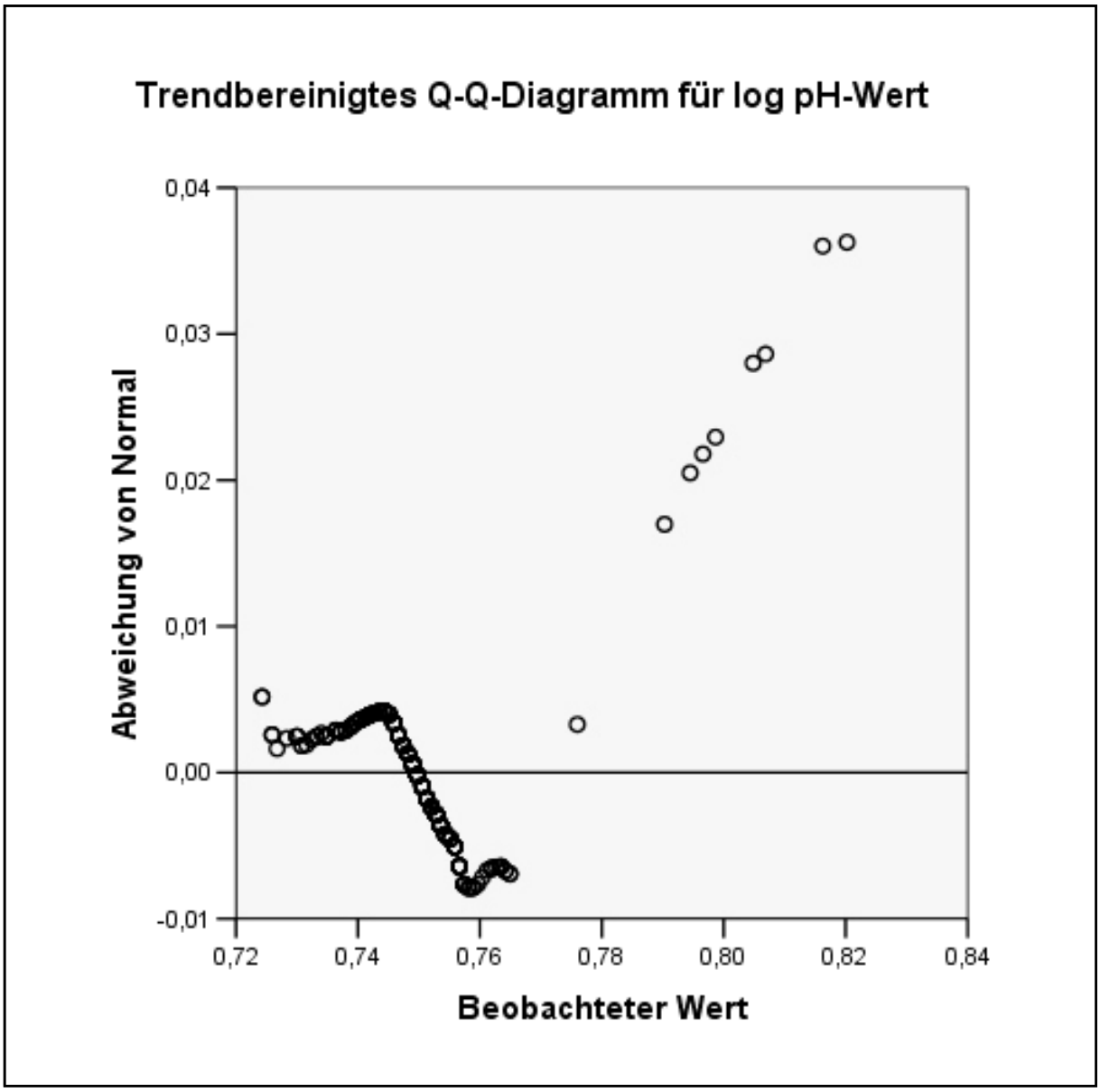


**Abb. 54:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus des pH-Wertes

**Tab. 39:** Korrelationen und Signifikanzen der gepaarten Stichproben von Oberflächen- und Anschnittsfarbwerten nach jeweiliger Lagerwoche (ns = nicht signifikant; s = signifikant; * = signifikant $p < 0,05$; ** = hochsignifikant $p < 0,01$; *** = höchstsignifikant $p < 0,001$)

**Lagerwoche 0**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,304 (ns) | 0,119 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,533 (**) | 0,010 (s) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,686 (***) | 0,012 (s) |

**Lagerwoche 1**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,585 (**) | 0,349 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,429 (*) | 0,025 (s) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,399 (*) | 0,164 (ns) |

**Lagerwoche 2**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,781 (***) | 0,009 (s) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,761 (***) | 0,295 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,770 (***) | 0,609 (ns) |

Fortsetzung **Tab. 39**

**Lagerwoche 3**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,732 (***) | 0,026 (s) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,616 (***) | 0,346 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,621 (***) | 0,506 (ns) |

**Lagerwoche 4**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,732 (***) | 0,086 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,562 (***) | 0,318 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,435 (*) | 0,674 (ns) |

**Lagerwoche 5**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,684 (***) | 0,126 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,362 (*) | 0,591 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,168 (ns) | 0,776 (ns) |

Fortsetzung **Tab. 39**

**Lagerwoche 6**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,763 (***) | 0,259 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,427 (*) | 0,543 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,356 (ns) | 0,916 (ns) |

**Lagerwoche 7**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,784 (***) | 0,661 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,688 (***) | 0,160 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,667 (***) | 0,251 (ns) |

**Lagerwoche 8**

| Stichprobenpaar | Korrelation (Signifikanz der Korrelation) | Signifikanz (Unterschied in der Medianen der Variablen) |
|---|---|---|
| $L^*_O$ und $L^*_A$ | 0,765 (***) | 0,385 (ns) |
| $a^*_O$ und $a^*_A$ | 0,561 (***) | 0,346 (ns) |
| $b^*_O$ und $b^*_A$ | 0,599 (***) | 0,443 (ns) |

**Tab. 40:** Differenzen der Farbwerte L*a*b* im Vergleich zur Lagerwoche 0 (Tab. 15 und 16) und zur jeweils vorherigen Lagerwoche (Tab. 15 und 16)

| Lagerwoche | Differenz der Farbwerte L*a*b* | Mittelwert der Differenz zur Lagerwoche 0 | Differenz zur jeweiligen Vorwoche |
|---|---|---|---|
| **1** | Differenz $L^*_O$ | 1,78 | 1,78 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,30 | 2,30 |
| | Differenz $b^*_O$ | 1,69 | 1,69 |
| | Differenz $L^*_A$ | 2,38 | 2,38 |
| | Differenz $a^*_A$ | 2,95 | 2,95 |
| | Differenz $b^*_A$ | 2,20 | 2,20 |
| **2** | Differenz $L^*_O$ | 2,70 | 0,92 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,53 | 0,23 |
| | Differenz $b^*_O$ | 2,01 | 0,32 |
| | Differenz $L^*_A$ | 2,77 | 0,39 |
| | Differenz $a^*_A$ | 4,03 | 1,08 |
| | Differenz $b^*_A$ | 2,85 | 0,65 |
| **3** | Differenz $L^*_O$ | 2,91 | 0,21 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,37 | - 0,16 |
| | Differenz $b^*_O$ | 2,04 | 0,03 |
| | Differenz $L^*_A$ | 3,13 | 0,36 |
| | Differenz $a^*_A$ | 4,04 | 0,01 |
| | Differenz $b^*_A$ | 2,93 | 0,08 |
| **4** | Differenz $L^*_O$ | 2,92 | 0,01 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,58 | 0,21 |
| | Differenz $b^*_O$ | 2,03 | - 0,01 |
| | Differenz $L^*_A$ | 3,19 | 0,06 |
| | Differenz $a^*_A$ | 3,85 | - 0,19 |
| | Differenz $b^*_A$ | 2,73 | - 0,20 |

Fortsetzung **Tab. 40**

| Lagerwoche | Differenz der Farbwerte L*a*b* | Mittelwert der Differenz zur Lagerwoche 0 | Differenz zur jeweiligen Vorwoche |
|---|---|---|---|
| **5** | Differenz $L^*_O$ | 3,00 | 0,08 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,09 | - 0,49 |
| | Differenz $b^*_O$ | 1,93 | - 0,10 |
| | Differenz $L^*_A$ | 3,33 | 0,14 |
| | Differenz $a^*_A$ | 4,23 | 0,38 |
| | Differenz $b^*_A$ | 2,82 | 0,09 |
| **6** | Differenz $L^*_O$ | 3,36 | 0,36 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,60 | 0,51 |
| | Differenz $b^*_O$ | 2,22 | 0,29 |
| | Differenz $L^*_A$ | 3,99 | 0,66 |
| | Differenz $a^*_A$ | 4,63 | 0,40 |
| | Differenz $b^*_A$ | 3,10 | 0,28 |
| **7** | Differenz $L^*_O$ | 3,38 | 0,02 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,64 | 0,04 |
| | Differenz $b^*_O$ | 2,25 | 0,03 |
| | Differenz $L^*_A$ | 4,17 | 0,18 |
| | Differenz $a^*_A$ | 4,88 | 0,25 |
| | Differenz $b^*_A$ | 3,36 | 0,26 |
| **8** | Differenz $L^*_O$ | 3,26 | - 0,12 |
| | Differenz $a^*_O$ | 2,57 | - 0,07 |
| | Differenz $b^*_O$ | 2,29 | 0,04 |
| | Differenz $L^*_A$ | 4,23 | 0,06 |
| | Differenz $a^*_A$ | 5,01 | 0,13 |
| | Differenz $b^*_A$ | 3,50 | 0,14 |

**Tab. 41:** Tests der Zwischensubjekteffekte für pH-Wert und $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ in Lagerwoche 0

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| pH-Wert | Helligkeit $L^*_A$ | **0,028** |
| | Rotwert $a^*_A$ | 0,994 |
| | Gelbwert $b^*_A$ | 0,430 |

**Tab. 42:** Parameterschätzer für pH-Wert und objektive Anschnittsfarbe in Lagerwoche 0

| abhängige Variable | Parameter | B |
|---|---|---|
| Helligkeit Anschnitt | pH-Wert | - 11,595 |
| Rotwert Anschnitt | pH-Wert | 0,034 |
| Gelbwert Anschnitt | pH-Wert | - 3,100 |

**Tab. 43:** Tests der Zwischensubjekteffekte für pH-Wert und $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ in Lagerwoche 0

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| pH-Wert | Helligkeit $L^*_O$ | 0,246 |
| | Rotwert $a^*_O$ | 0,717 |
| | Gelbwert $b^*_O$ | 0,999 |

**Tab. 44:** Parameterschätzer für pH-Wert und objektive Oberflächenfarbe in Lagerwoche 0

| abhängige Variable | Parameter | B |
|---|---|---|
| Helligkeit Oberfläche | pH-Wert | - 5,269 |
| Rotwert Oberfläche | pH-Wert | -1,882 |
| Gelbwert Oberfläche | pH-Wert | 0,006 |

**Tab. 45:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen lg GKZ, lg LB, lg MSB und $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| lg GKZ | Helligkeit Anschnitt | 0,225 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,686 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,862 |
| lg LB | Helligkeit Anschnitt | 0,361 |
| | Rotwert Anschnitt | **0,006** |
| | Gelbwert Anschnitt | **0,006** |
| lg MSB | Helligkeit Anschnitt | 0,930 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,556 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,623 |

**Tab. 46:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen lg GKZ, lg LB, lg MSB und $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| lg GKZ | Helligkeit Oberfläche | **0,029** |
| | Rotwert Oberfläche | 0,282 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,749 |
| lg LB | Helligkeit Oberfläche | 0,104 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,068 |
| | Gelbwert Oberfläche | **0,011** |
| lg MSB | Helligkeit Oberfläche | 0,285 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,664 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,714 |

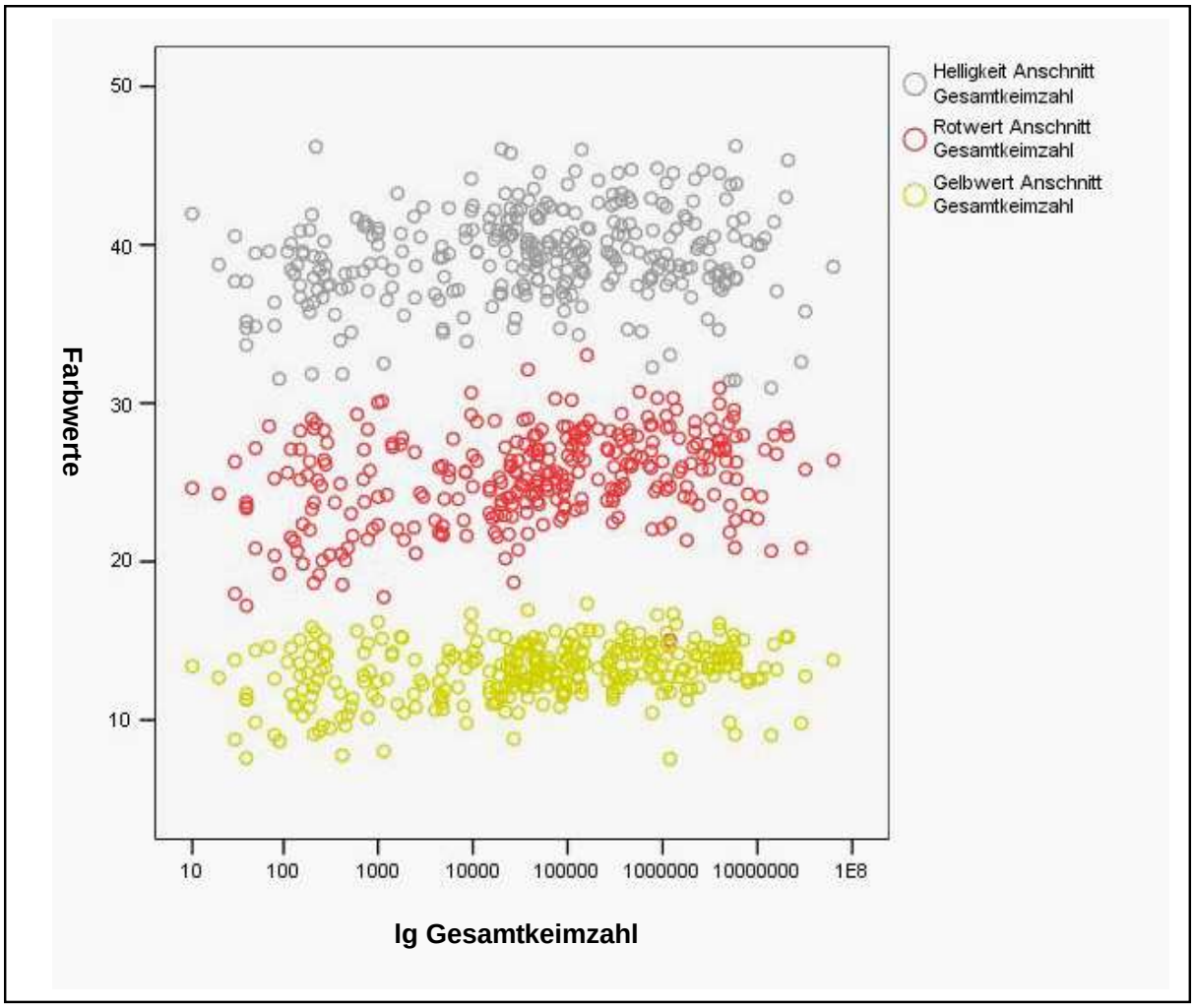


**Abb. 55:** Zusammenhang zwischen lg GKZ und objektiver Anschnittsfarbe

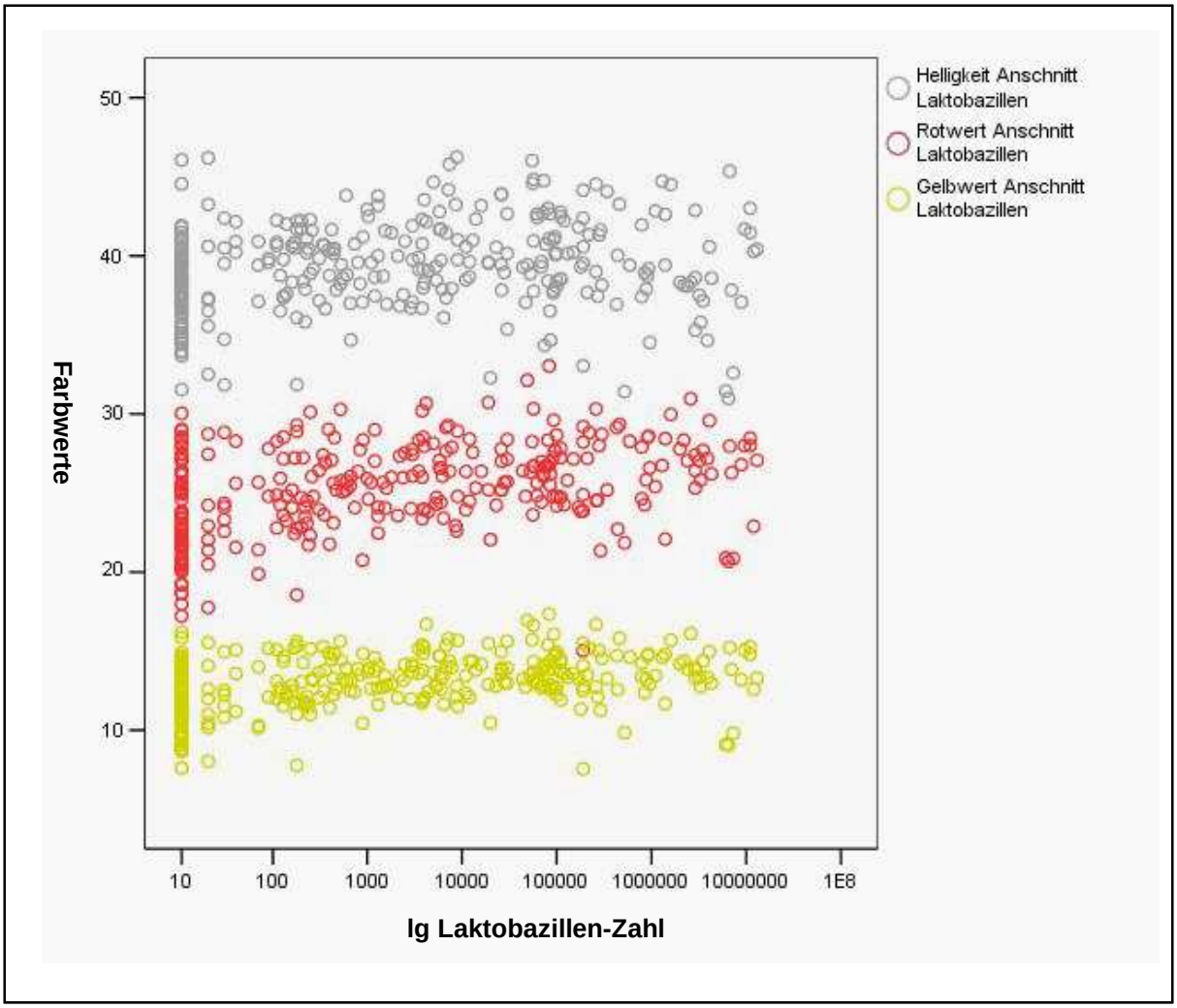


**Abb. 56:** Zusammenhang zwischen lg LB und objektiver Anschnittsfarbe

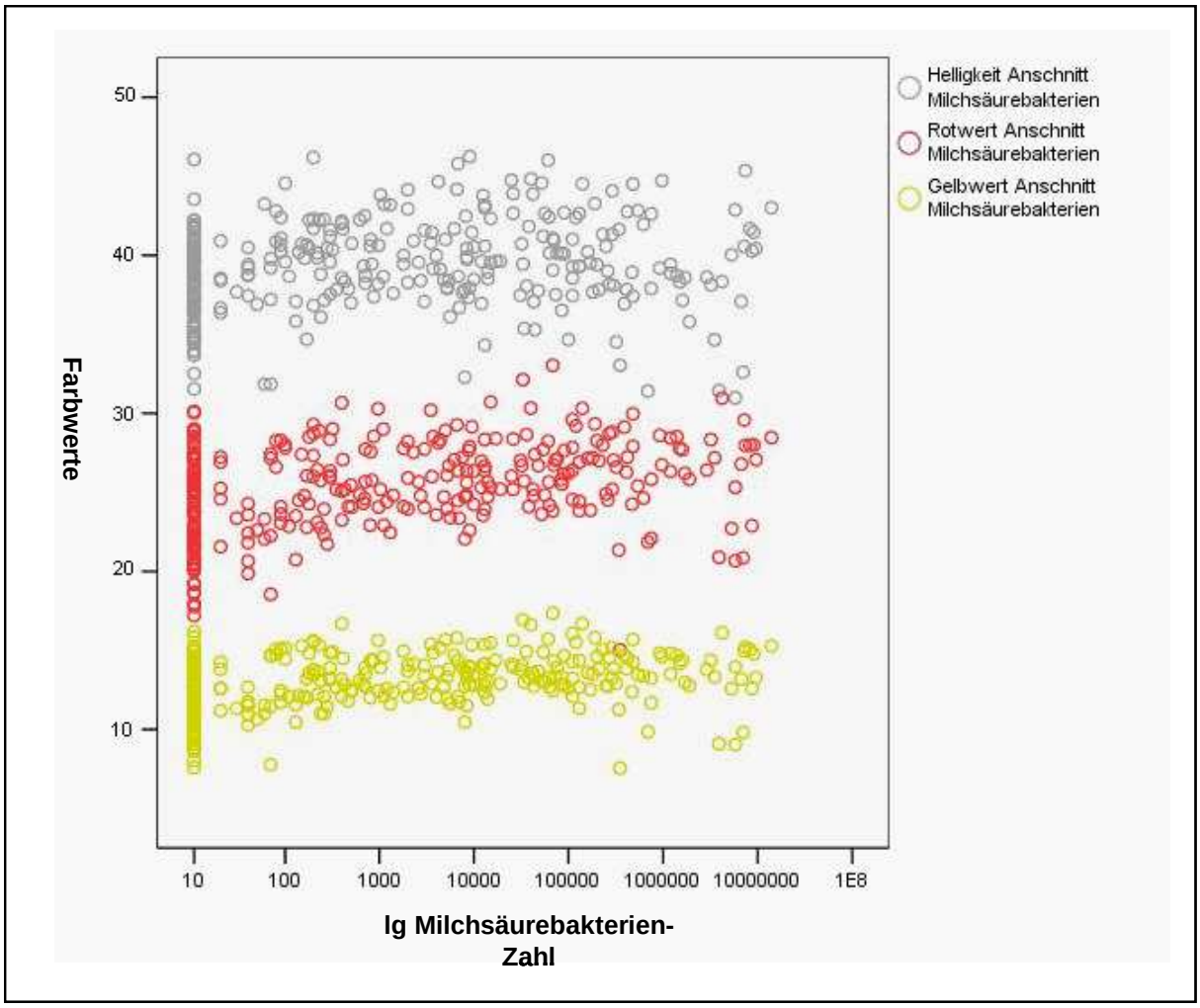


**Abb. 57:** Zusammenhang zwischen lg MSB und objektiver Anschnittsfarbe

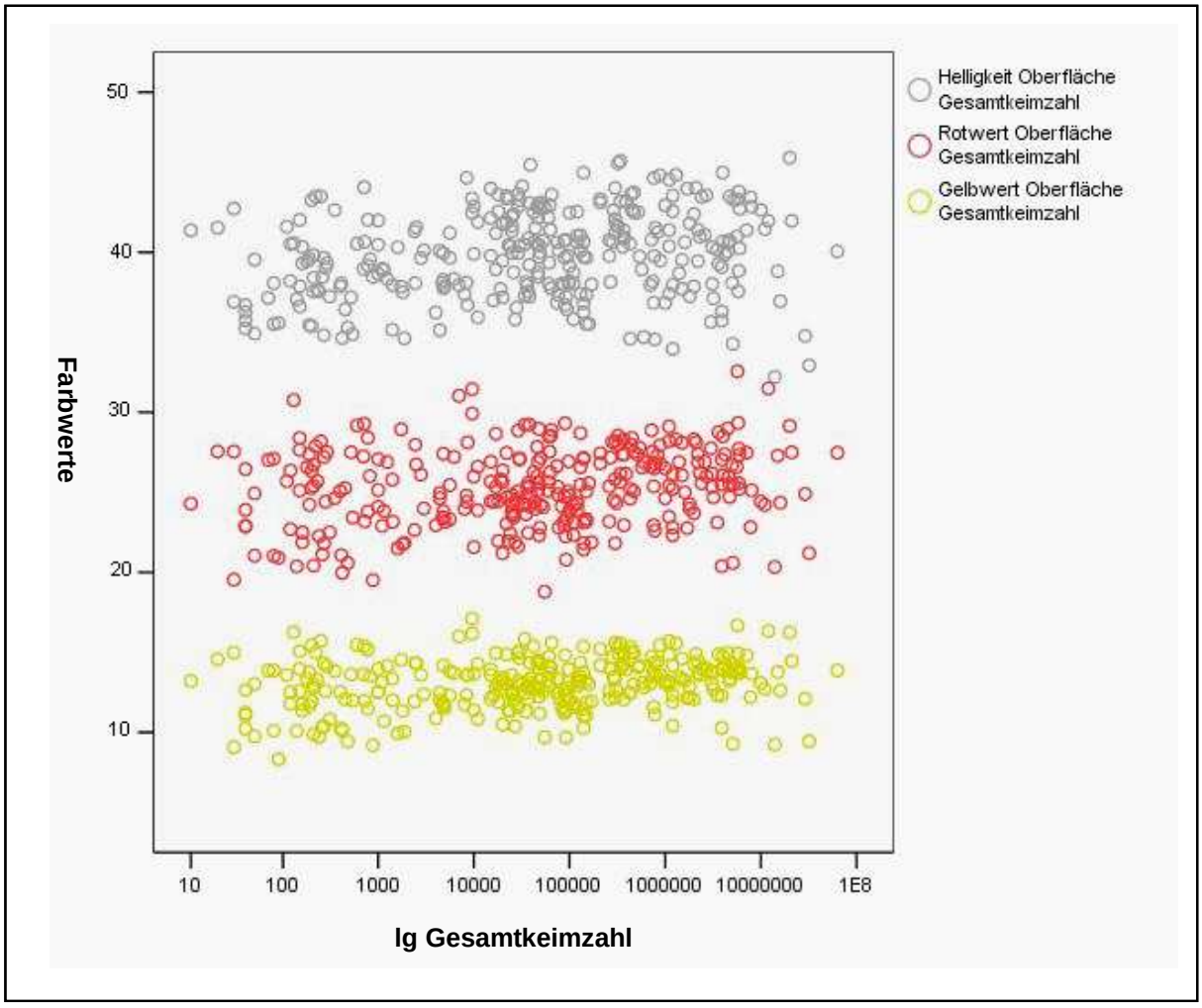


**Abb. 58:** Zusammenhang zwischen lg GKZ und objektiver Oberflächenfarbe

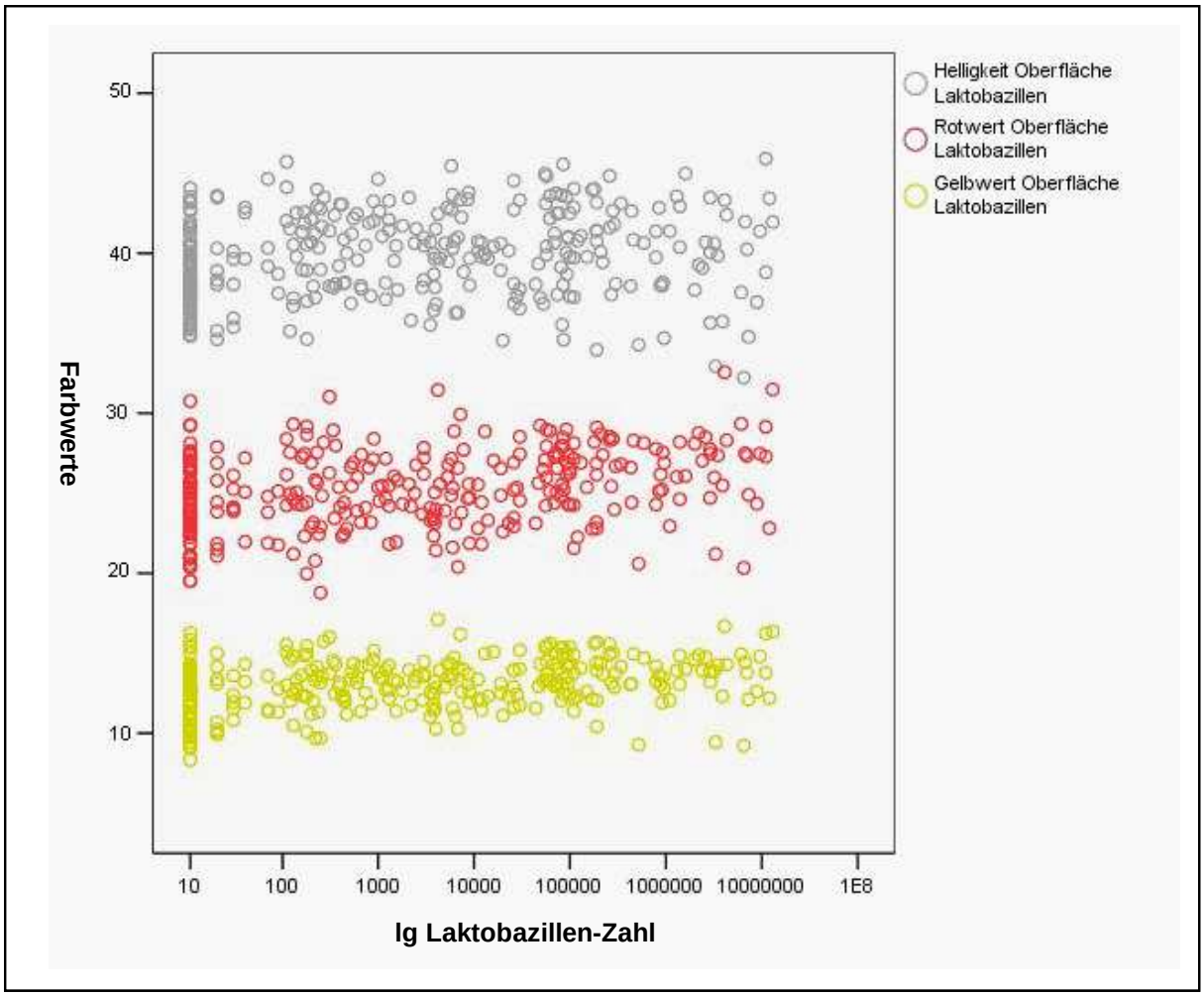


**Abb. 59:** Zusammenhang zwischen lg LB und objektiver Oberflächenfarbe

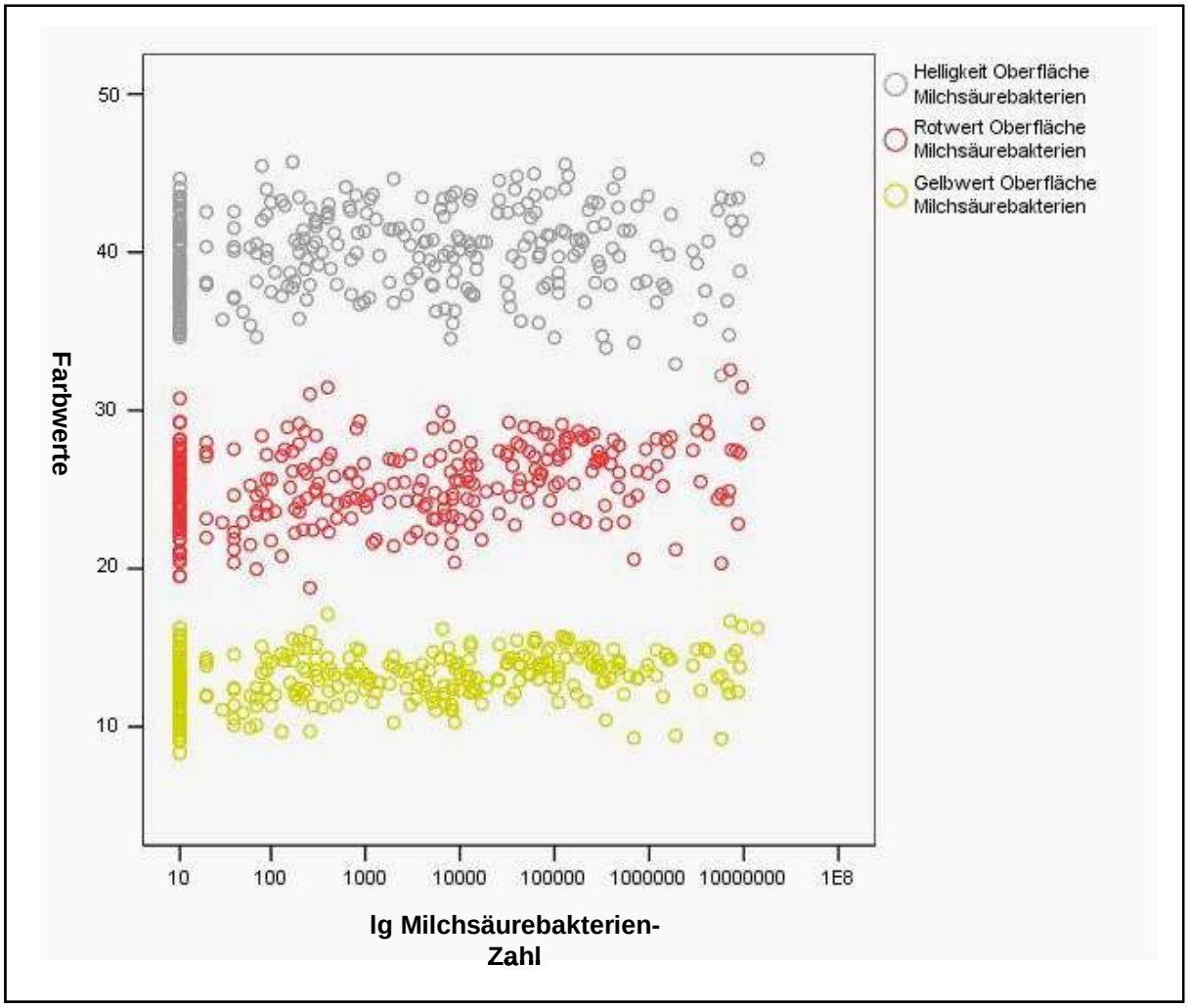


**Abb. 60:** Zusammenhang zwischen lg MSB und objektiver Oberflächenfarbe

**Multivariate Tests zur Prüfung des Einflusses der sensorischen Parameter auf die objektive Fleischfarbe L*a*b***

**Tab. 47:** Einfluss der Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 48:** Einfluss der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 49:** Einfluss der Bewertung des Geruches auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Bewertung des Geruches | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 50:** Einfluss der Bewertung des Geruches auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Bewertung des Geruches | Pillai-Spur | 0,001 |
| | Wilks-Lambda | 0,001 |
| | Hotelling-Spur | 0,001 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 51:** Einfluss der Konsistenz auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Konsistenz | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 52:** Einfluss der Konsistenz auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Konsistenz | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 53:** Einfluss der Fleischsaftmenge auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Fleischsaftmenge | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 54:** Einfluss der Fleischsaftmenge auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Fleischsaftmenge | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 55:** Einfluss der Fleischsaftbeschaffenheit auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Fleischsaftbeschaffenheit | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 56:** Einfluss der Fleischsaftbeschaffenheit auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Fleischsaftbeschaffenheit | Pillai-Spur | 0,000 |
| | Wilks-Lambda | 0,000 |
| | Hotelling-Spur | 0,000 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,000 |

**Tab. 57:** Einfluss der Textur auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Textur | Pillai-Spur | 0,024 |
| | Wilks-Lambda | 0,024 |
| | Hotelling-Spur | 0,023 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,006 |

**Tab. 58:** Einfluss der Textur auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b*

| Effekt | multivariater Test | Signifikanz |
|---|---|---|
| Textur | Pillai-Spur | 0,031 |
| | Wilks-Lambda | 0,030 |
| | Hotelling-Spur | 0,028 |
| | größte charakteristische Wurzel nach Roy | 0,003 |

**Tab. 59:** Tests der Zwischensubjekteffekte zur Prüfung des Einflusses der sensorischen Parameter auf die Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe | Helligkeit Anschnitt | 0,000 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,000 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,000 |
| Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe | Helligkeit Oberfläche | 0,000 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,000 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,000 |
| Bewertung des Geruches | Helligkeit Anschnitt | 0,000 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,001 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,000 |
| Bewertung des Geruches | Helligkeit Oberfläche | 0,001 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,021 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,004 |

Fortsetzung **Tab. 59**

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| Konsistenz | Helligkeit Anschnitt | 0,000 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,000 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,000 |
| Konsistenz | Helligkeit Oberfläche | 0,000 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,000 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,000 |
| Fleischsaftmenge | Helligkeit Anschnitt | 0,000 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,000 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,000 |
| Fleischsaftmenge | Helligkeit Oberfläche | 0,000 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,000 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,000 |
| Fleischsaftbeschaffenheit | Helligkeit Anschnitt | 0,000 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,004 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,003 |
| Fleischsaftbeschaffenheit | Helligkeit Oberfläche | 0,000 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,029 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,001 |

Fortsetzung **Tab. 59**

| Quelle | Abhängige Variable | Signifikanz |
|---|---|---|
| Textur | Helligkeit Anschnitt | 0,860 |
| | Rotwert Anschnitt | 0,003 |
| | Gelbwert Anschnitt | 0,008 |
| Textur | Helligkeit Oberfläche | 0,718 |
| | Rotwert Oberfläche | 0,013 |
| | Gelbwert Oberfläche | 0,004 |

**Tab. 60:** Nichtparametrische Korrelationen: Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die untersuchten mikrobiologischen und sensorischen Parameter

** Korrelation auf dem Niveau p < 0,01 signifikant (weiß)
* Korrelation auf dem Niveau p < 0,05 signifikant (hellgrau)
nicht signifikant (dunkelgrau)

| | GKZ | LB | MSB | Bewertung Oberflächenfarbe | Bewertung Anschnittsfarbe | Bewertung Geruch | Textur | Konsistenz | Fleischsaftmenge | Fleischsaftbeschaffenheit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GKZ | 1,000 | 0,825** | 0,815** | 0,224** | 0,173** | 0,553** | 0,229** | 0,579** | 0,198** | 0,501** |
| LB | 0,825** | 1,000 | 0,942** | 0,159** | 0,144* | 0,485** | 0,245** | 0,580** | 0,177** | 0,405** |
| MSB | 0,815** | 0,942** | 1,000 | 0,151** | 0,143* | 0,504** | 0,222** | 0,580** | 0,170** | 0,428** |
| Bewertung Oberflächenfarbe | 0,224** | 0,159** | 0,151** | 1,000 | 0,484** | 0,227** | 0,003 | 0,212** | 0,251** | 0,253** |
| Bewertung Anschnittsfarbe | 0,173** | 0,144* | 0,143* | 0,484** | 1,000 | 0,124* | 0,106 | 0,179** | 0,184** | 0,175** |
| Bewertung Geruch | 0,553** | 0,485** | 0,504** | 0,227** | 0,124* | 1,000 | 0,129* | 0,571** | 0,171** | 0,621** |
| Textur | 0,229** | 0,245** | 0,222** | 0,003 | 0,106 | 0,129* | 1,000 | 0,231** | 0,118 | 0,194** |
| Konsistenz | 0,579** | 0,580** | 0,580** | 0,212** | 0,179** | 0,571** | 0,231** | 1,000 | 0,363** | 0,580** |
| Fleischsaftmenge | 0,198** | 0,177** | 0,170** | 0,251** | 0,184** | 0,171** | 0,118 | 0,363** | 1,000 | 0,318** |
| Fleischsaftbeschaffenheit | 0,501** | 0,405** | 0,428** | 0,253** | 0,175** | 0,621** | 0,194** | 0,580** | 0,318** | 1,000 |

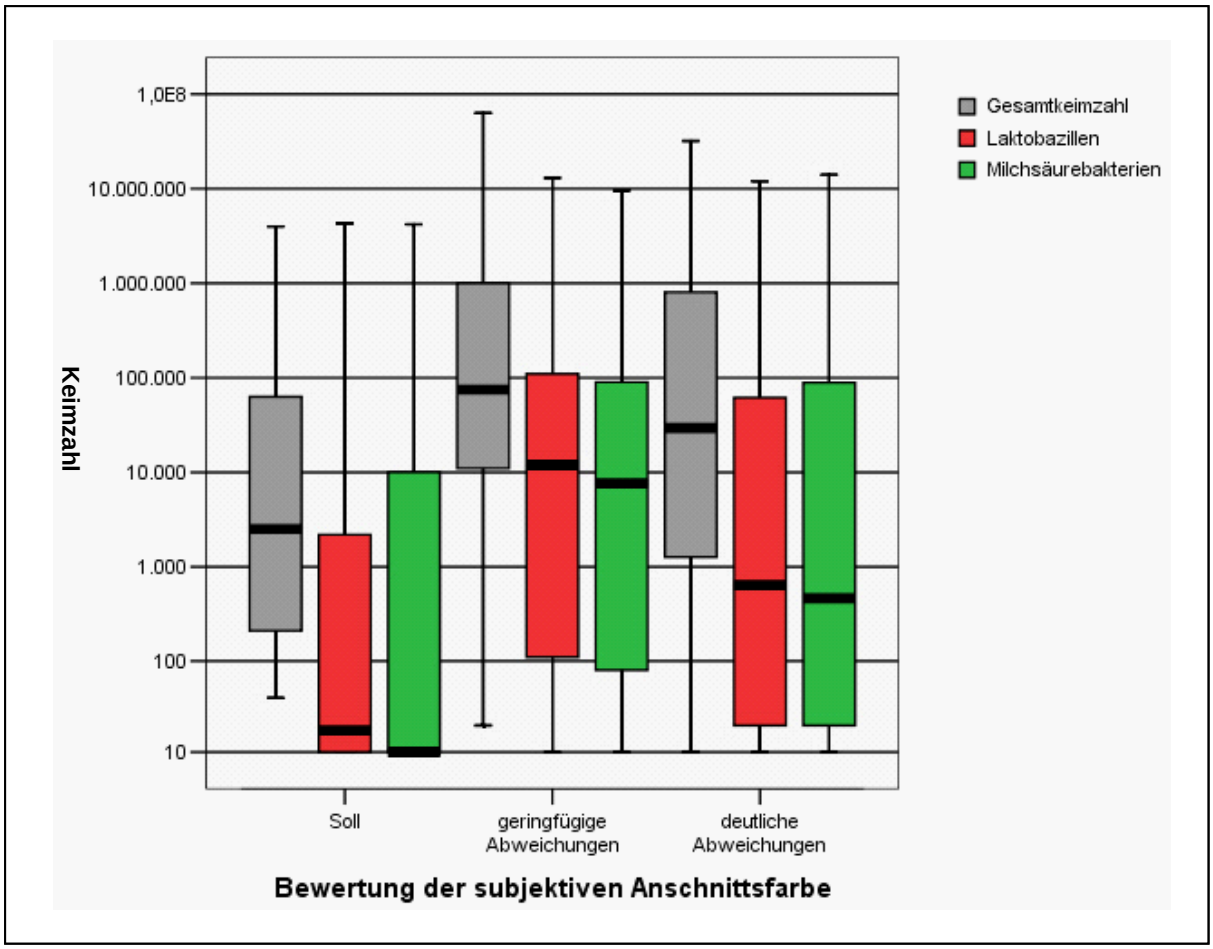


**Abb. 61:** Zusammenhang zwischen Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

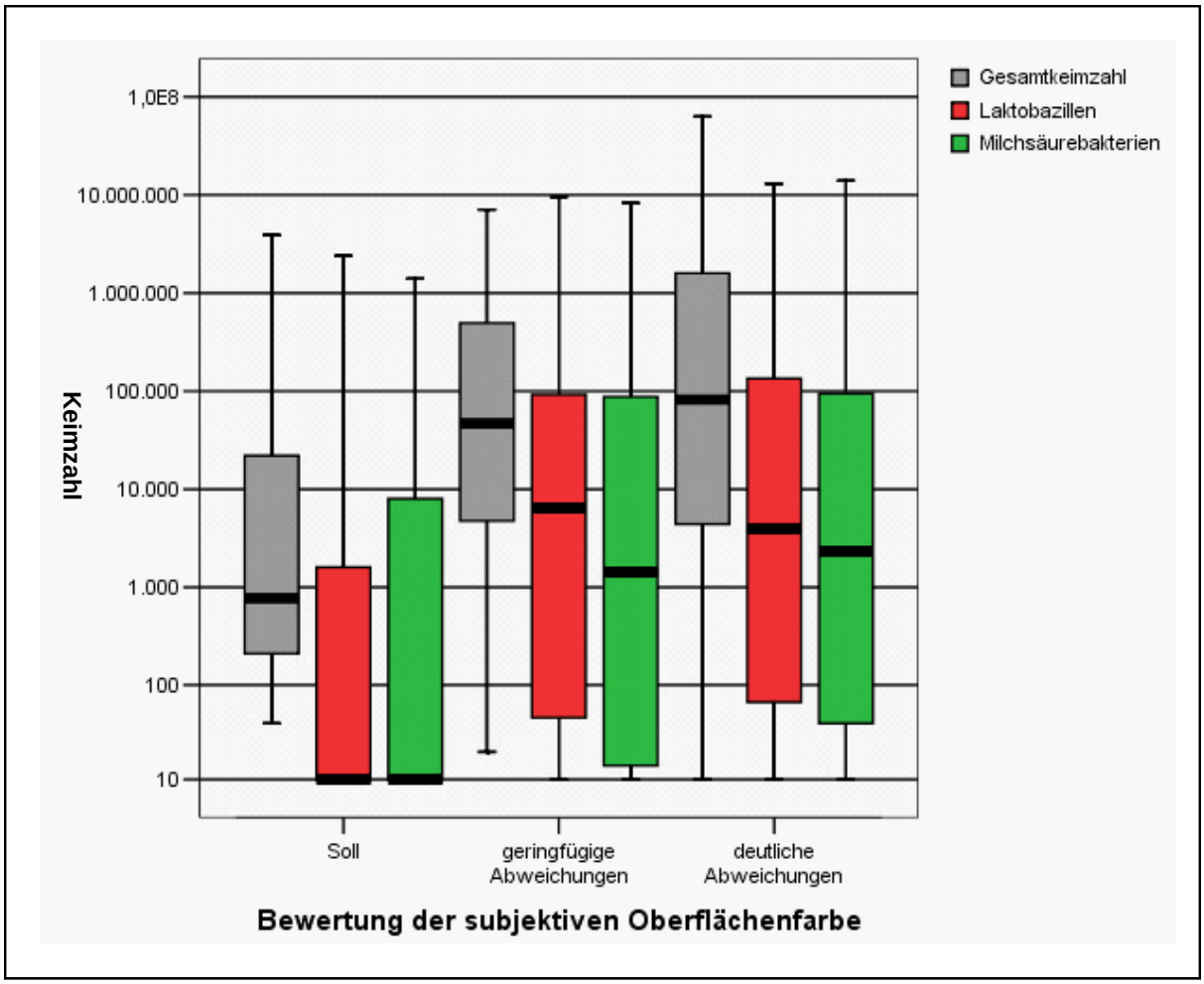


**Abb. 62:** Zusammenhang zwischen Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

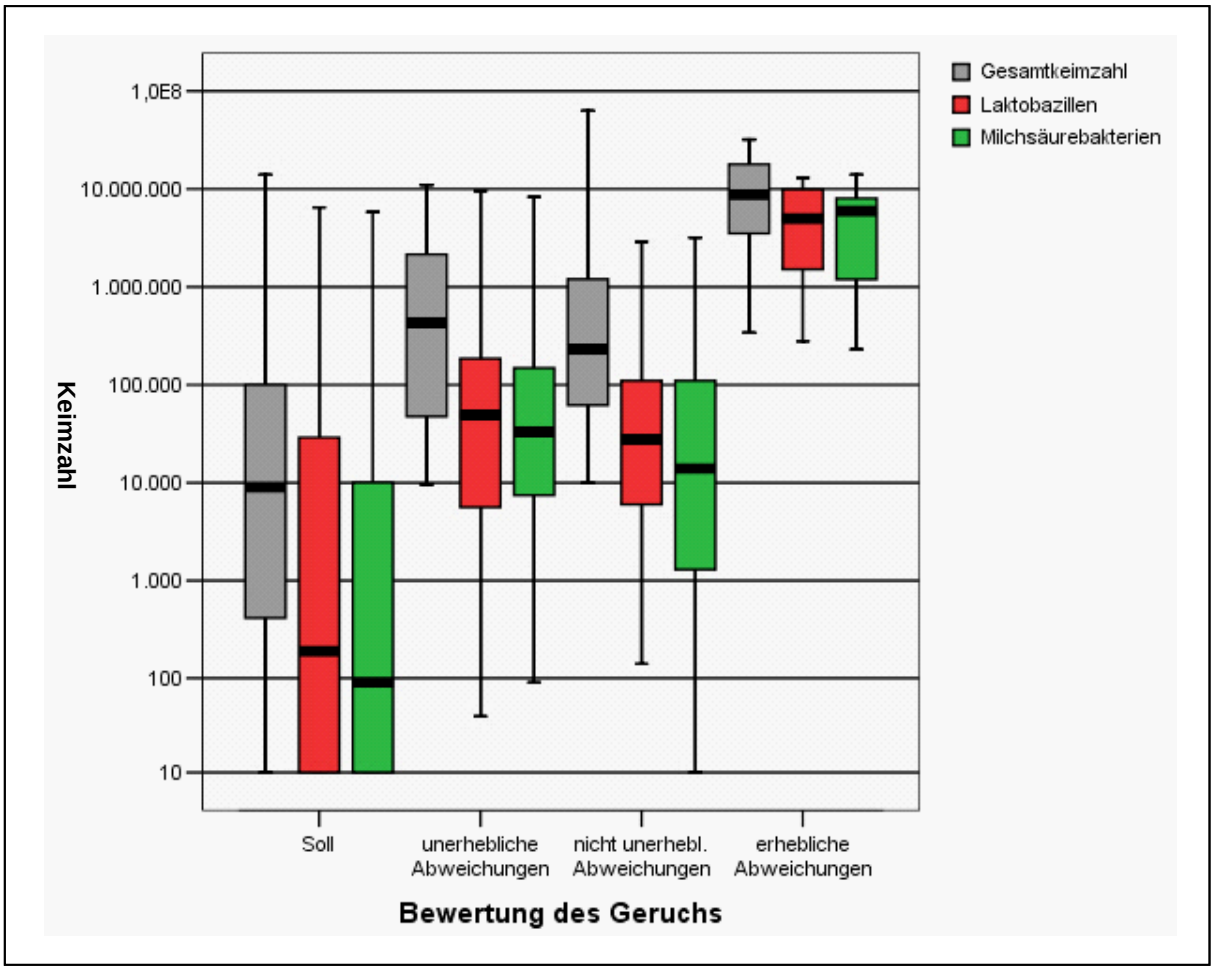


**Abb. 63:** Zusammenhang zwischen Bewertung des Geruchs und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

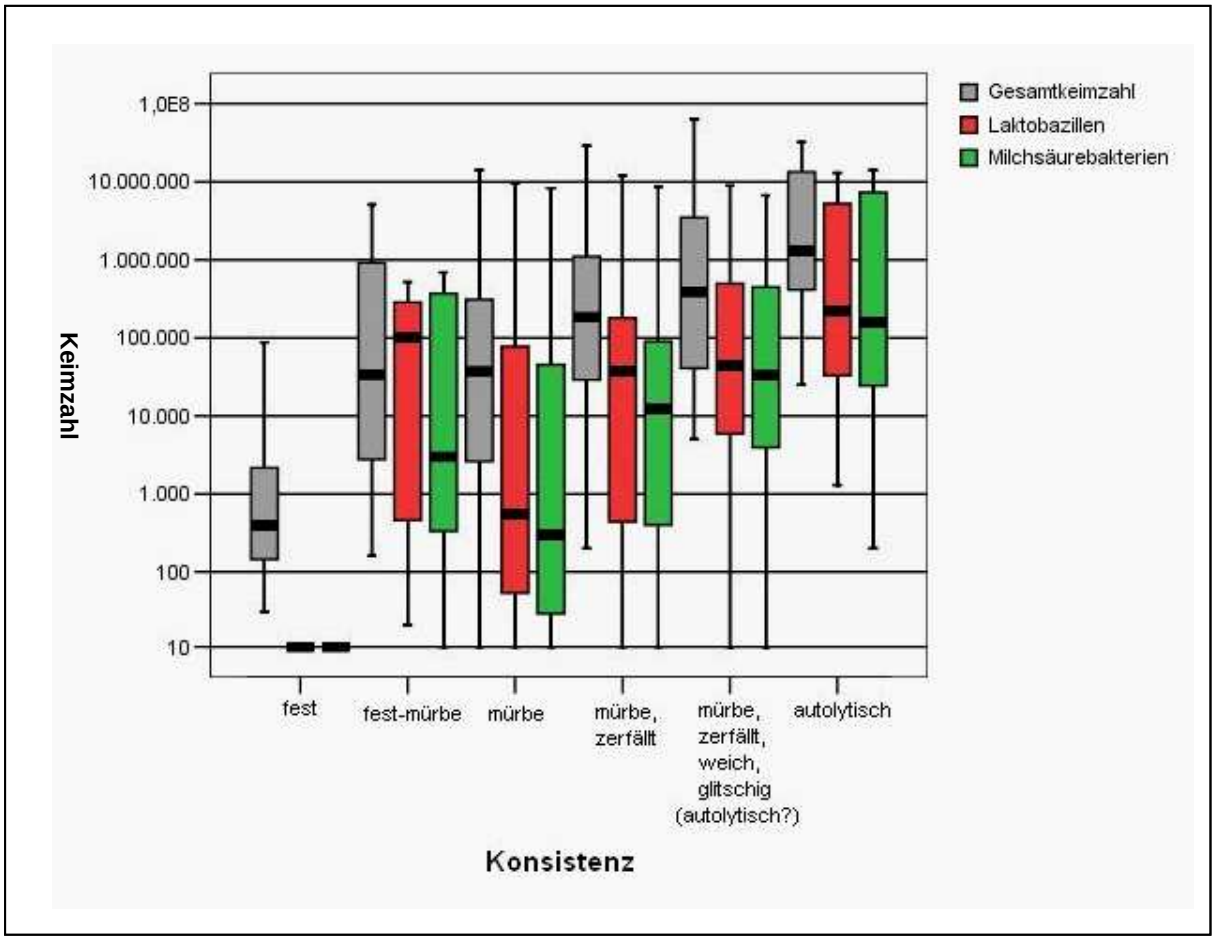


**Abb. 64:** Zusammenhang zwischen der Konsistenz und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

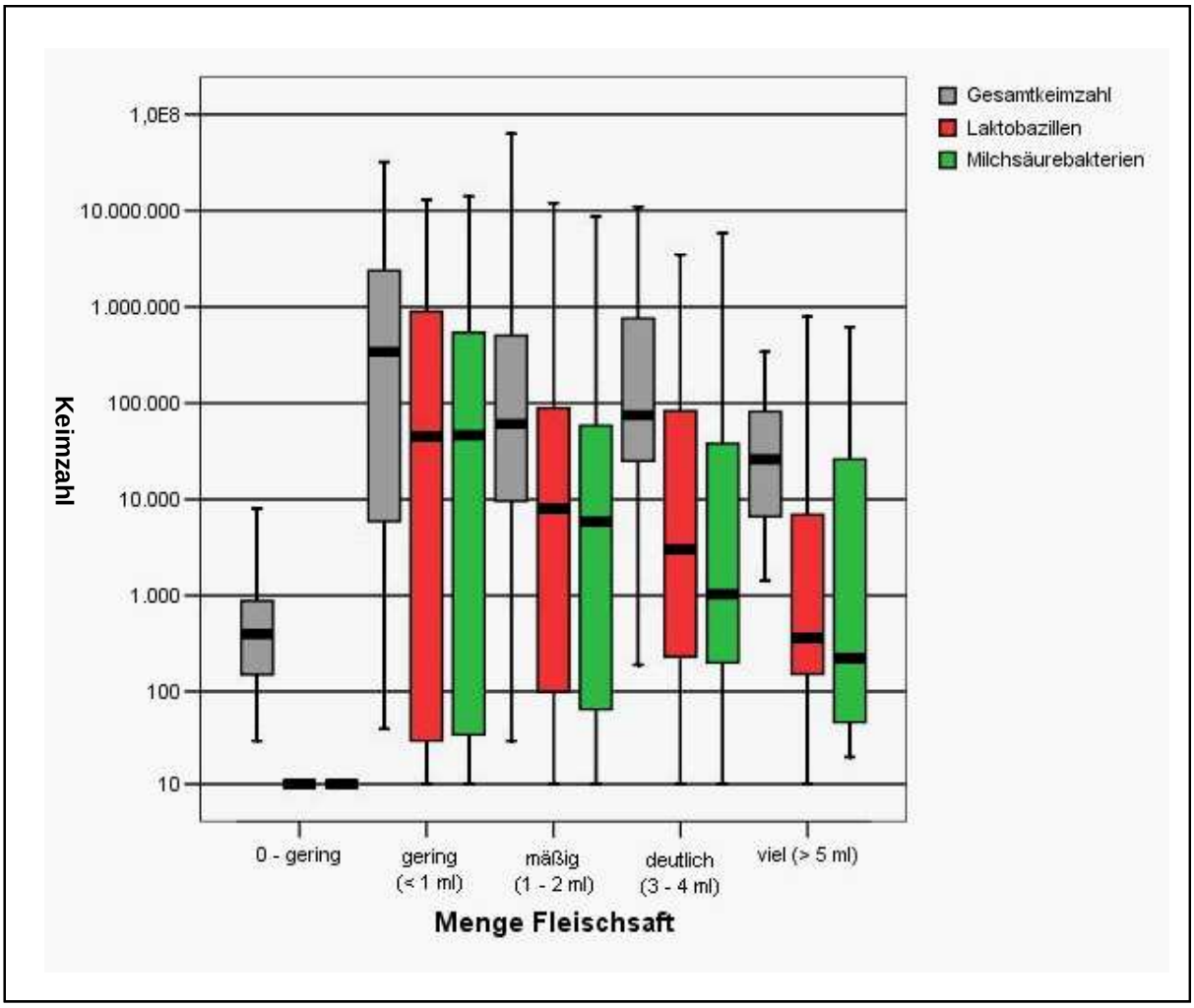


**Abb. 65:** Zusammenhang zwischen Menge des Fleischsaftes und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

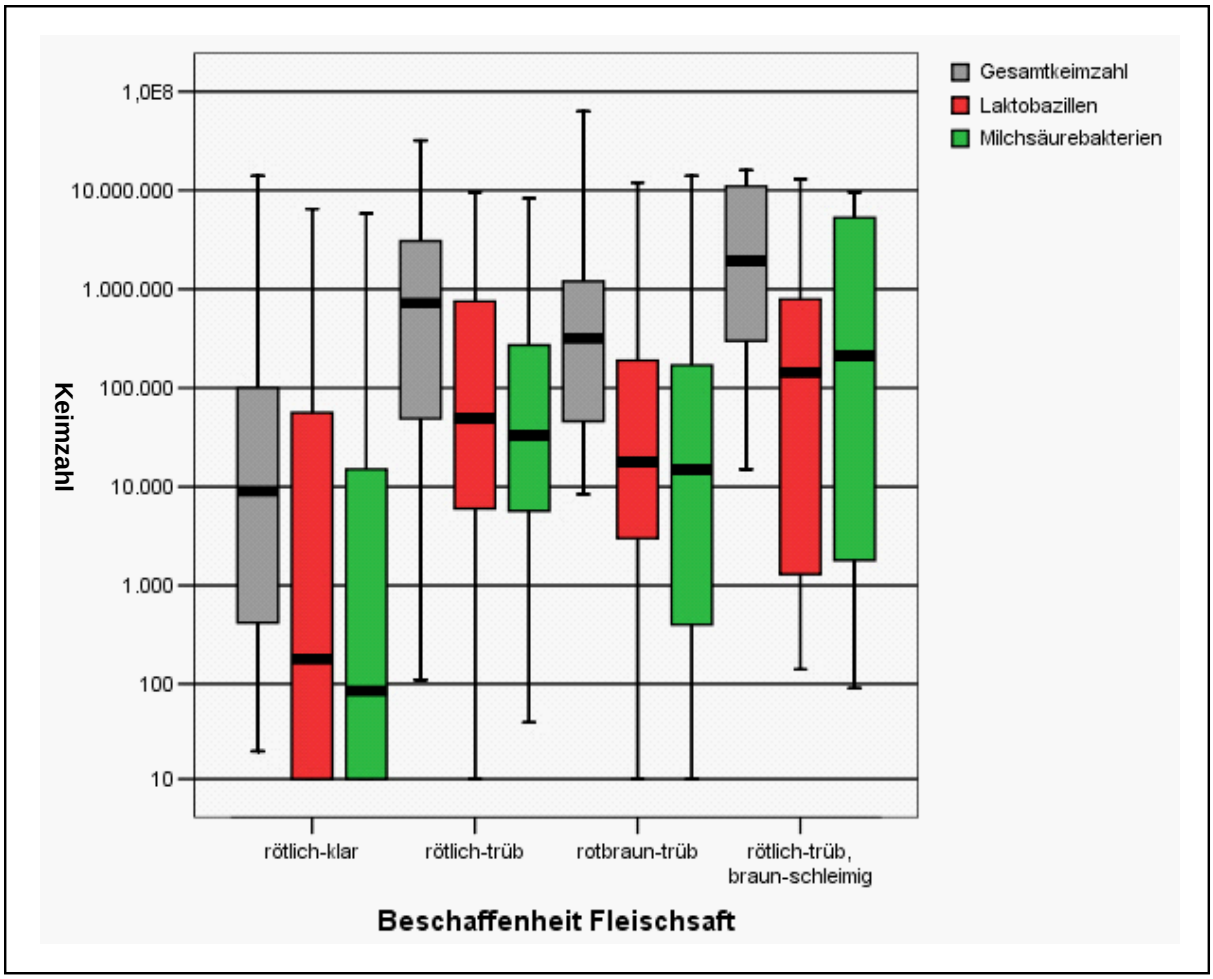


**Abb. 66:** Zusammenhang zwischen Beschaffenheit des Fleischsaftes und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

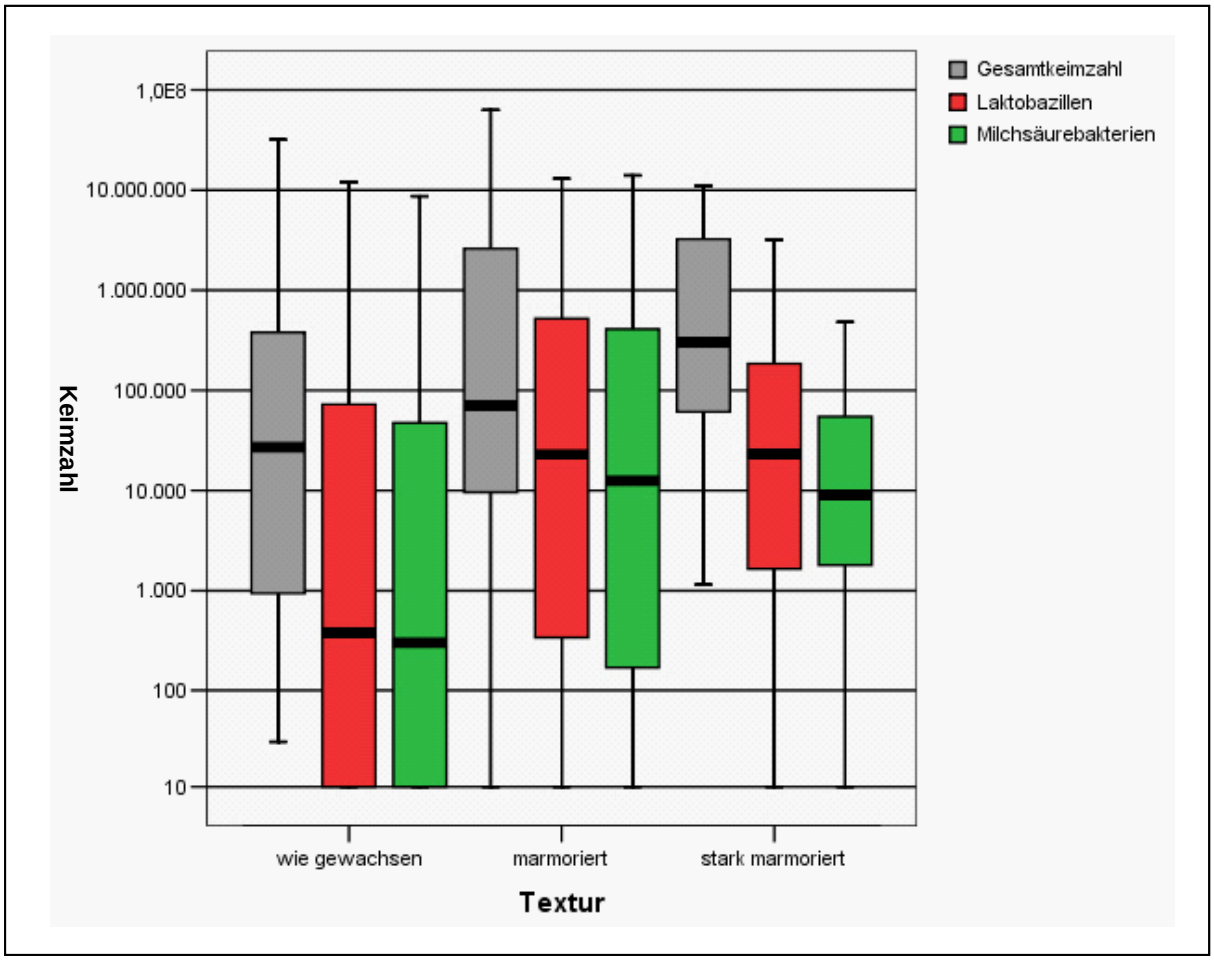


**Abb. 67:** Zusammenhang zwischen der Textur und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB

# 10 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

**Abbildungen:**

**Abb. 1:** Aufbau des Auges nach KLINKE und SILBERNAGL (1996) ..... 13
**Abb. 2:** Aufbau der Netzhaut mit den verschiedenen Zapfentypen nach SCHMIDT und THEWS (1995) ..... 14
**Abb. 3:** Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges (Spektralwert-funktionen für den Normalbeobachter CIE 1931) nach KONICA-MINOLTA (2004) ..... 15
**Abb. 4:** Normfarbtafel für den 2° Normalbeobachter CIE 1931 n ach KONICA-MINOLTA (2004) ..... 18
**Abb. 5:** Räumliche Darstellung des L*a*b*-Farbraumes nach KLETTNER und STIEBING (1980)..... 20
**Abb. 6:** Messgeometrien für die Farbmessung nach KLETTNER und STIEBING (1980)..... 22
**Abb. 7:** Struktur des Häm (reduziertes Myoglobin) nach POTTHAST (1987) ..... 25
**Abb. 8:** Struktur des Oxymyoglobins und des Metmyoglobins nach POTTHAST (1987) ..... 26
**Abb. 9:** Zustandsformen des Myoglobins nach CROSS (1986) ..... 27
**Abb. 10:** Absorptionsspektren von Myoglobin, Metmyoglobin und Oxymyoglobin nach HAMM (1975)..... 28
**Abb. 11:** Probengewinnung und –lagerung Hauptversuch..... 75
**Abb. 12:** Arbeitsschritte des Hauptversuches ..... 79
**Abb. 13:** Farbmessung ausschließlich mit dem Messkopf Minolta Chroma-Meter CR-400 (Vorversuche)..... 82
**Abb. 14:** Farbmessung im Labor, Messkopf Minolta Chroma-Meter CR-400 mit der Software SpectraMagic NX verbunden (Lagerversuch)..... 83
**Abb. 15:** Auszählungsschablone (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte) ..... 87
**Abb. 16:** Probenvolumen pro Auszählungsbereich (Fa. Meintrup DWS Laborgeräte, Lähden-Holte)..... 88
**Abb. 17:** Farbwerte L*a*b* für Oberfläche und Anschnitt vergleichend..... 94

**Abb. 18:** Boxplots der Farbwerte L*a*b* für Anschnitt und Oberfläche bei 8 Wochen Lagerung ..... 119
**Abb. 19:** Farbentwicklung über 8 Wochen (Oberfläche und Anschnitt vergleichend) ..... 121
**Abb. 20:** Veränderung der Farbwerte L*a*b* der jeweilige Lagerwoche gegenüber den Ausgangswerten der Lagerwoche 0 ..... 123
**Abb. 21:** Zusammenhang zwischen der Anschnittsfarbe $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ und dem pH-Wert in der Lagerwoche 0 ..... 125
**Abb. 22:** Zusammenhang zwischen der objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* und dem pH-Wert in der Lagerwoche 0 ..... 126
**Abb. 23:** Zusammenhang zwischen der objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* und dem pH-Wert über 8 Wochen ..... 128
**Abb. 24:** Zusammenhang zwischen der objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* und dem pH-Wert über 8 Wochen ..... 130
**Abb. 25:** Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe in Abhängigkeit vom pH-Wert in der Lagerwoche 0 ..... 132
**Abb. 26:** Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe in Abhängigkeit vom pH-Wert in der Lagerwoche 0 ..... 134
**Abb. 27:** Zusammenhang zwischen L*a*b* Anschnitt und Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe ..... 136
**Abb. 28:** Zusammenhang zwischen L*a*b* Oberfläche und der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe ..... 137
**Abb. 29:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Bewertung des Geruchs ..... 139
**Abb. 30:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Konsistenz ..... 140
**Abb. 31:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Menge des Fleischsaftes ..... 142
**Abb. 32:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Beschaffenheit des Fleischsaftes ..... 144
**Abb. 33:** Zusammenhang zwischen objektiver Fleischfarbe (Oberfläche bzw. Anschnitt) und Textur des Fleisches ..... 146
**Abb. 34:** Entwicklung der mikrobiologischen Kennzahlen (GKZ, LB, MSB) über den achtwöchigen Untersuchungszeitraum ..... 150

**Abb. 35:** Q-Q-Diagramm für die Helligkeit des Anschnitts ..... 195
**Abb. 36:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für die Helligkeit des Anschnitts ..... 196
**Abb. 37:** Q-Q-Diagramm für den Rotwert des Anschnitts ..... 197
**Abb. 38:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Rotwert des Anschnitts ..... 198
**Abb. 39:** Q-Q-Diagramm für den Gelbwert des Anschnitts ..... 199
**Abb. 40:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Gelbwert des Anschnitts ..... 200
**Abb. 41:** Q-Q-Diagramm für die Helligkeit der Oberfläche ..... 201
**Abb. 42:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für die Helligkeit der Oberfläche ..... 202
**Abb. 43:** Q-Q-Diagramm für den Rotwert der Oberfläche ..... 203
**Abb. 44:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Rotwert der Oberfläche ..... 204
**Abb. 45:** Q-Q-Diagramm für den Gelbwert der Oberfläche ..... 205
**Abb. 46:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Gelbwert der Oberfläche ..... 206
**Abb. 47:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Gesamtkeimzahl ..... 207
**Abb. 48:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Gesamtkeimzahl ..... 208
**Abb. 49:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Laktobazillen ..... 209
**Abb. 50:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Laktobazillen ..... 210
**Abb. 51:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Milchsäurebakterien ..... 211
**Abb. 52:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus der Milchsäurebakterien ..... 212
**Abb. 53:** Q-Q-Diagramm für den Logarithmus des pH-Wertes ..... 213
**Abb. 54:** Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm für den Logarithmus des pH-Wertes ..... 214
**Abb. 55:** Zusammenhang zwischen lg GKZ und objektiver Anschnittsfarbe ..... 223
**Abb. 56:** Zusammenhang zwischen lg LB und objektiver Anschnittsfarbe ..... 224
**Abb. 57:** Zusammenhang zwischen lg MSB und objektiver Anschnittsfarbe ..... 225
**Abb. 58:** Zusammenhang zwischen lg GKZ und objektiver Oberflächenfarbe ..... 226
**Abb. 59:** Zusammenhang zwischen lg LB und objektiver Oberflächenfarbe ..... 227
**Abb. 60:** Zusammenhang zwischen lg MSB und objektiver Oberflächenfarbe ..... 228
**Abb. 61:** Zusammenhang zwischen Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 237
**Abb. 62:** Zusammenhang zwischen Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 238

**Abb. 63:** Zusammenhang zwischen Bewertung des Geruchs und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 239
**Abb. 64:** Zusammenhang zwischen der Konsistenz und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 240
**Abb. 65:** Zusammenhang zwischen Menge des Fleischsaftes und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 241
**Abb. 66:** Zusammenhang zwischen Beschaffenheit des Fleischsaftes und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 242
**Abb. 67:** Zusammenhang zwischen der Textur und dem Logarithmus von GKZ, LB bzw. MSB ..... 243

**Tabellen:**

**Tab. 1:** Klassifizierungssysteme für Muskelfasertypen ..... 31
**Tab. 2:** Ante mortem Stressoren mit Wirkung auf Fleischfarbe und -qualität ..... 44
**Tab. 3:** Einteilung der Muskeln nach ihrer Farbstabilität (MC KENNA et al., 2005) ..... 56
**Tab. 4:** Frühpostmortale Grenzwerte der Farbmessung an Schweinefleisch ..... 62
**Tab. 5:** Spätpostmortale Grenzwerte der Farbmessung an Schweinefleisch ..... 63
**Tab. 6:** Grenzwerte der Farbmessung an Rindfleisch ..... 65
**Tab. 7:** Empfohlene Messposition und -zeitpunkt für die Farbmessung an Kalbfleisch ..... 67
**Tab. 8:** Empfohlene Messpositionen und -zeitpunkte für die Farbmessung an Schweinefleisch ..... 67
**Tab. 9:** Empfohlene Messpositionen für die Farbmessung an Rindfleisch ..... 69
**Tab. 10:** Durchschnittswerte der Fleischfarbe für Schweine-, Rind- und Kalbfleisch ..... 72
**Tab. 11:** Charakteristika des Probenmaterials ..... 74
**Tab. 12:** Einstellungen und technische Daten des Minolta Chroma-Meter CR-400 ..... 81
**Tab. 13:** Beschreibende Statistik der Farbwerte L*a*b* des *M. longissimus dorsi* in der Zerlegung ..... 92

**Tab. 14:** Beschreibende Statistik der Farbwerte der Oberflächen- und Anschnittsfarbe bei Farbmessung am Tag der Zerlegung ..... 93
**Tab. 15:** Mittelwerte und Standardabweichungen der objektiven Anschnittsfarbe $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ über acht Wochen Lagerung ..... 96
**Tab. 16:** Mittelwerte und Standardabweichungen der objektiven Oberflächenfarbe $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ über 8 Wochen Lagerung ..... 98
**Tab. 17:** Mittelwerte und Standardabweichungen des pH-Wertes über 8 Wochen Lagerung ..... 100
**Tab. 18:** Relative Verteilung der Bewertungen der subjektiven Anschnittsfarbe in den einzelnen Lagerwochen ..... 102
**Tab. 19:** Relative Verteilung der Bewertungen der subjektiven Oberflächenfarbe in den einzelnen Lagerwochen..... 104
**Tab. 20:** Relative Verteilung der Bewertungen des Geruchs in den einzelnen Lagerwochen ..... 106
**Tab. 21:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Konsistenz in den einzelnen Lagerwochen..... 108
**Tab. 22:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Fleischsaftmenge in den einzelnen Lagerwochen..... 109
**Tab. 23:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Fleischsaftbeschaffenheit in den einzelnen Lagerwochen ..... 111
**Tab. 24:** Relative Verteilung der Beurteilungen der Textur in den einzelnen Lagerwochen ..... 112
**Tab. 25:** Mittelwerte und Mediane der mikrobiologischen Kenngrößen Gesamtkeimzahl (GKZ), Laktobazillen- (LB) und Milchsäurebakterien-Zahl (MSB) für die einzelnen Lagerwochen..... 113
**Tab. 26:** Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für die objektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe..... 116
**Tab. 27:** Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für lg pH-Wert, lg Gesamtkeimzahl, lg Laktobazillen-Zahl, lg Milchsäurebakterien-Zahl..... 116
**Tab. 28:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen pH-Wert und $L^*_A$, $a^*_A$, $b^*_A$ über die achtwöchige Lagerung..... 127
**Tab. 29:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen pH-Wert und $L^*_O$, $a^*_O$, $b^*_O$ über die achtwöchige Lagerung ..... 129

**Tab. 30:** Deskriptive Statistik für die Lage des pH-Wertes in den einzelnen Bewertungsgruppen der subjektiven Anschnittsfarbe ..... 131
**Tab. 31:** Deskriptive Statistik für die Lage des pH-Wertes in den einzelnen Bewertungsgruppen der subjektiven Oberflächenfarbe ..... 133
**Tab. 32:** Multivariate Tests für die objektive Anschnittsfarbe in Kombination mit lg GKZ, lg LB, lg MSB ..... 147
**Tab. 33:** Multivariate Tests für die objektive Oberflächenfarbe in Kombination mit lg GKZ, lg LB, lg MSB ..... 148
**Tab. 34:** Beziehung der mikrobiologischen Kenngrößen zur Bewertung der sensorischen Parameter subjektive Oberflächen- und Anschnittsfarbe sowie Geruch ..... 152
**Tab. 35:** Vergleich der Farbwerte L*a*b* (Zerlegung) aus den eigenen Untersuchungen mit den Farbwerten von HOFFMANN (2003) ..... 156
**Tab. 36:** Randomisierungsplan für die Probennahme (Zuordnung der einzelnen Roastbeef-Scheiben zur jeweiligen Untersuchungswoche) ... 188
**Tab. 37:** Codierungsplan für die Sensorik ..... 189
**Tab. 38:** Multivariate Tests zur Untersuchung des Einflusses von Messposition, Messstelle im Roastbeef und tierindividuellen Unterschieden auf die objektive Fleischfarbe L*a*b* ..... 194
**Tab. 39:** Korrelationen und Signifikanzen der gepaarten Stichproben von Oberflächen- und Anschnittsfarbwerten nach jeweiliger Lagerwoche (ns = nicht signifikant; s = signifikant; * = signifikant p < 0,05; ** = hochsignifikant p < 0,01; *** = höchstsignifikant p < 0,001) ..... 215
**Tab. 40:** Differenzen der Farbwerte L*a*b* im Vergleich zur Lagerwoche 0 (Tab. 15 und 16) und zur jeweils vorherigen Lagerwoche (Tab. 15 und 16) ..... 218
**Tab. 41:** Tests der Zwischensubjekteffekte für pH-Wert und $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ in Lagerwoche 0 ..... 220
**Tab. 42:** Parameterschätzer für pH-Wert und objektive Anschnittsfarbe in Lagerwoche 0 ..... 220
**Tab. 43:** Tests der Zwischensubjekteffekte für pH-Wert und $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ in Lagerwoche 0 ..... 220
**Tab. 44:** Parameterschätzer für pH-Wert und objektive Oberflächenfarbe in Lagerwoche 0 ..... 221

**Tab. 45:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen lg GKZ, lg LB, lg MSB und $L^*_A$ $a^*_A$ $b^*_A$ ..... 221
**Tab. 46:** Tests der Zwischensubjekteffekte zwischen lg GKZ, lg LB, lg MSB und $L^*_O$ $a^*_O$ $b^*_O$ ..... 222
**Tab. 47:** Einfluss der Bewertung der subjektiven Anschnittsfarbe auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* ..... 229
**Tab. 48:** Einfluss der Bewertung der subjektiven Oberflächenfarbe auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* ..... 229
**Tab. 49:** Einfluss der Bewertung des Geruches auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* ..... 229
**Tab. 50:** Einfluss der Bewertung des Geruches auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* ..... 230
**Tab. 51:** Einfluss der Konsistenz auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* ..... 230
**Tab. 52:** Einfluss der Konsistenz auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* ..... 230
**Tab. 53:** Einfluss der Fleischsaftmenge auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* ..... 230
**Tab. 54:** Einfluss der Fleischsaftmenge auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* ..... 231
**Tab. 55:** Einfluss der Fleischsaftbeschaffenheit auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* ..... 231
**Tab. 56:** Einfluss der Fleischsaftbeschaffenheit auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* ..... 231
**Tab. 57:** Einfluss der Textur auf die objektiven Anschnittsfarbe L*a*b* ..... 231
**Tab. 58:** Einfluss der Textur auf die objektiven Oberflächenfarbe L*a*b* ..... 232
**Tab. 59:** Tests der Zwischensubjekteffekte zur Prüfung des Einflusses der sensorischen Parameter auf die Farbwerte L*a*b* von Anschnitt und Oberfläche ..... 232
**Tab. 60:** Nichtparametrische Korrelationen: Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die untersuchten mikrobiologischen und sensorischen Parameter ..... 235

# 11 LITERATURVERZEICHNIS

AASS, L. (1996)
Variation in carcass and meat quality traits and their relations to growth in dual purpose cattle
Livestock Production Science **46**(1): 1-12

ABRAHAM, H., GEBBE, N. und BRENNER, K.-V. (1989)
Bewertung der Fleischqualität des Schinkens von Schweinen verschiedener Herkünfte und der Effekt einer verlängerten Wartezeit vor dem Schlachten
Fleischwirtschaft **69**(12): 1856-1859

ABRIL, M., CAMPO, M. M., ÖNENC, A., SANUDO, C., ALBERTI, P. und NEGUERUELA, A. I. (2001)
Beef colour evolution as a function of ultimate pH
Meat Science **58**(1): 69-78

ARNOLD, R. N., SCHELLER, K. K., ARP, S. C., WILLIAMS, S. N. und SCHAEFER, D. M. (1992)
Visual and spectrophotometric evaluations of beef color stability
Journal of Food Science **57**(2): 518-520

ASHMORE, C. R. und DOERR, L. (1971)
Comparative aspects of muscle after types in different species
Experimental Neurology **31**: 408-418

AUGUSTINI, C. und FISCHER, K. (1999)
Fleischreifung und sensorische Qualität
Fleischwirtschaft **79**(12): 96-98

BARBUT, B. (2001)
Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts
Meat Science **59**(2): 187-191

BAUMGART, J. und BECKER, B. (2003)
Mikrobiologische Untersuchung von Lebensmitteln
Behr's Verlag, Hamburg. ISBN 3-86022-160-4

BEHRENDS, J. M., MIKEL, W. B., ARMSTRONG, C. L. und NEWMAN, M. C. (2003)
Color stability of semitendinosus, semimembranosus, and biceps femoris steaks packaged in a high-oxygen modified atmosphere
Journal of Animal Science **81**(9): 2230-2238

BELL, R. G., PENNEY, N. und MOORHEAD, S. M. (1996)
The retail display life of steaks from chill stored vacuum and carbon dioxide-packed sub-primal beef cuts
Meat Science **42**(2): 165-178

BERGER-SCHRUNN, A. (1994)
Praktische Farbmessung: ein Buch für Anfänger, eine Gedächtnisstütze für Könner
Muster-Schmidt, Göttingen, Zürich. ISBN 3-7881-4049-6

BOAKYE, K. und MITTAL, G. S. (1996)
Changes in colour of beef M. longissimus dorsi muscle during ageing
Meat Science **42**(3): 347-354

BORCH, E., KANT-MUERMANS, M.-L. und BIXT, Y. (1996)
Bacterial spoilage of meat and cured meat products
International Journal of Food Microbiology **33**: 103-122

BROOKE, M. H. und KAISER, K. K. (1970)
Three "myosin adenosine triphosphatase" systems: the nature of their pH lability and sulphydryl dependence
Journal of Histochemistry and Cytochemistry **18**: 670-672

CALKINS, C. R., GOLL, S. J. und MANDIGO, R. W. (1986)
Retail display lighting type and fresh pork color
Journal of Food Science **51**(5): 1141-1143

CHIZZOLINI, R., NOVELLI, E., BADIANI, A., ROSA, P. und DELBONO, G. (1993)
Objective measurements of pork quality - evaluation of various techniques
Meat Science **34**(1): 49-77

CHIZZOLINI, R., NOVELLI, E., CAMPANINI, G., DAZZI, G., MADARENA, G., ZANARDI, E., PACCHIOLI, M.-T. und ROSSI, A. (1996)
Lean colour of green and matured Parma hams: comparative evaluation and technological relevance of sensory and objective data
Meat Science **44**(3): 159-172

CIE (1971)
Colorimetry - official recommendations of the International Commision on Illumination. Publication CIE No. 15 (E-1.3.1.). Paris

CMA (1991a)
Qualitäts- und Prüfbestimmungen für das Prüfsiegel "Deutsches Qualitätsfleisch aus kontrollierter Aufzucht" Rindfleisch.

CMA (1991b)
Qualitäts- und Prüfbestimmungen für das Prüfsiegel "Deutsches Qualitätsfleisch aus kontrollierter Aufzucht" Schweinefleisch.

CROSS, H. R. (1986)
Meat colour
In: Muscle as Food. Bechtel, P. J., Hrsg.; Academic Press, Inc., London, Orlando. ISBN 0-12-084191-6.
S. 280-288

DEETJEN, P. und SPECKMANN, E.-J. (1992)
Physiologie
Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore. ISBN 3-541-11751-6

DEISS-HEMMETER, U. (2005)
Prüfung der Effektivität der Elektrostimulierung auf die Fleischqualität bei Schlachtschweinen
Vet. med. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München

DENOYELLE, C. und BERNY, F. (1999)
Objective measurement of veal color for classification purposes
Meat Science **53**(3): 203-209

DIN (1993)
Farbmittel 1 - Pigmente, Füllstoffe, Farbstoffe, DIN 5033 Teil 1 bis DIN 55929
Beuth Verlag, Köln. ISBN 3-410-12453-5

DVORAK, P., MUSILOVA, H. und SVARCOVA, I. (2001)
On-line measurements of colour of pork
Fleischwirtschaft **81**(7): 89-91

EAGERMAN, B. A., CLYDESDALE, F. M. und FRANCIS, F. J. (1977)
Determination of fresh meat color by objective methods
Journal of Food Science **42**(3): 707-710

EIKELENBOOM, G., LAURIJSEN, H.-A.-J., VELTHUYSEN, A.-V. und GARSSEN, G.-J. (1988)
Veal colour in relation to production traits and minerals in muscle
Fleischwirtschaft **68**(4): 500-501

EIKELENBOOM, G., HOVINGBOLINK, A. H. und HULSEGGE, B. (1992)
Evaluation of invasive instruments for assessment of veal color at time of classification
Meat Science **31**(3): 343-349

ESSÉN-GUSTAVSSON, B., KARLSTRÖM, K. und LUNDSTRÖM, K. (1992)
Muscle fiber characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality
Meat Science **31**: 1-11

ESTÉVEZ, M., MORCUENDE, D. und CAVA, R. (2003)
Oxidative and colour changes in meat from three lines of free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90 kg live weight and from industrial pigs during refrigerated storage
Meat Science **65**(3): 1139-1146

EYSEL, U. (1996)
Sehsystem
In: Lehrbuch der Physiologie. Klinke, R. und Silbernagl, S., Hrsg.; Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. ISBN 3-13-796002-9.
S. 585-610

FALBE, J. und REGITZ, M., Hrsg. (1991)
Römpp Chemie Lexikon
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. ISBN 3-13-734909-5

FAUSTMAN, C. und CASSENS, R. G. (1991)
The effect of cattle breed and muscle type on discoloration and various biochemical parameters in fresh beef
Journal of Animal Science **69**(1): 184-193

FAUSTMAN, C. und WANG, K.-W. (2000)
Potential mechanisms by which vitamin E improves oxidative stability of myoglobin
In: Antioxidants in muscle foods - nutritional strategies to improve quality. Decker, E. A., Faustman, C. und Lopez-Bote, C. J., Hrsg.; John Wiley & Sons, Inc., Toronto. S. 135-152

FELDHUSEN, F., NEUMANN-FUHRMANN, D., HÄGER, O. und WENZEL, S. (1987)
Farbmessung im Rahmen der Fleischqualitätsprüfung mit dem Minolta Chromameter
Züchtungskunde **59**(2): 146-157

FELDHUSEN, F. (1994)
Einflüsse auf die postmortale Farbveränderung der Oberfläche von Schweinemuskulatur
Fleischwirtschaft **74**(9): 989-991

FELDHUSEN, F. und REINHARD, H. J. (1994)
Farbveränderungen der Oberfläche von Schweinemuskulatur bei verschiedenen relativen Kühlluftfeuchtigkeiten
Fleischwirtschaft **74**(7): 765-768

FELDHUSEN, F., WARNATZ, A., ERDMANN, R. und WENZEL, S. (1994)
Bedeutung des Sauerstoffpartialdruckprofiles für die Farbe von Schweinemuskeloberflächen
Archiv für Lebensmittelhygiene **45**(2): 36-38

FELDHUSEN, F., WARNATZ, A., ERDMANN, R. und WENZEL, S. (1995a)
Influence of storage time on parameters of color stability of beef
Meat Science **40**(2): 235-243

FELDHUSEN, F., KIRSCHNER, T., KOCH, R., GIESE, W. und WENZEL, S. (1995b)
Influence on meat colour of spray-chilling the surface of pig carcasses
Meat Science **40**: 245-251

FISCHER, C. (1981)
Veränderungen im Muskel nach dem Schlachten
Fleischwirtschaft **61**(12): 1830-1836

FISCHER, K. (1988)
Qualitätsabweichungen bei Rindfleisch
Fleischwirtschaft **68**(7): 850-854

FISCHER, K. (2000)
Sinnvolle Erfassung PSE-abhängiger Qualitätsparameter bei Schweinefleisch
Fleischwirtschaft **80**(7): 92-94

FRANK, H. K., MROZEK, H. und VON RHEINBABEN, F. (1994)
Lexikon Lebensmittel-Mikrobiologie
Behr's Verlag, Hamburg. ISBN 3-86022-167-1

FREDRIKSSON-AHOMAA, M. (2004)
Lebensmittelkunde - Abschnitt Redoxpotential
*www.lmhyg.de/downloads/Vorlesung* (12.08.2005)

FREIER, F. (1992)
DuMont's Lexikon der Fotographie: Kunst - Technik - Geschichte
DuMont Buchverlag, Köln. ISBN 3-7701-2982-2

FRICKH, J. J. und SÖLKNER, J. (1997)
Die Messung der Fleischfarbe als Qualitätsmerkmal beim Rindfleisch - Ergebnisse eines Rassenvergleiches
Züchtungskunde **69**(3): 163-180

GARRIDO, M. D., PEDAUYE, J., BANON, S. und LAENCINA, J. (1994)
Objective assessment of pork quality
Meat Science **37**(3): 411-420

GAUTHIER, G. F. (1969)
On the relationship of ultrastructural and cytochemical features to color in mammalian skeletal muscle
Zeitschrift für Zellforschung **95**: 462-482

GENTRY, J. G., MC GLONE, J. J., MILLER, M. F. und BLANTON, J. R. (2002)
Diverse birth and rearing environment effects on pig growth and meat quality
Journal of Animal Science **80**(7): 1707-1715

GENTRY, J. G., MC GLONE, J. J., MILLER, M. F. und BLANTON, J. R. (2004)
Environmental effects on pig performance, meat quality and muscle characteristics
Journal of Animal Science **82**(1): 209-217

GIDDINGS, G. G. (1977)
Basis of color in muscle foods
Critical Reviews in Food Science and Nutrition **9**(1): 81-114

GRÜNEWALD, T. (1979)
Messung der Farbe und Festigkeit von Lebensmitteln
Mitteilung Gebiete Lebensmittelhygiene **70**: 97-106

GRÜSSER, O.-J. und GRÜSSER-CORNEHLS, U. (1995)
Gesichtssinn und Okulomotorik
In: Physiologie des Menschen. Schmidt, R. F. und Thews, G., Hrsg.; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. ISBN 3-540-58034-4.
S. 278-313

HAMBRECHT, E., EISSEN, J. J. und VERSTEGEN, M. W. A. (2003)
Effect of processing plant on pork quality
Meat Science **64**(2): 125-131

HAMBRECHT, E., EISSEN, J. J., DE KLEIN, W. J. H., DUCRO, B. J., SMITS, C. H. M., VERSTEGEN, M. W. A. und DEN HARTOG, L. A. (2004)
Rapid chilling cannot prevent inferior pork quality caused by high preslaughter stress
Journal of Animal Science **82**: 551-556

HAMM, R. (1975)
Muskelfarbstoff und Fleischfarbe
Fleischwirtschaft **55**(10): 1415-1418

HEITING, N. (1989)
Rosige Aussichten? Chancen der Produktion von "rosarotem" Kalbfleisch
Der Tierzüchter **41**: 22-24

HERTEL, C. und MEROTH, C. B. (2003)
Spezies- und stammspezifische Identifizierung von Milchsäurebakterien
Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift **116**: 517-523

HIEGEMANN, H. (2002)
Vergleich zweier Zuführungssysteme zur Elektrobetäubung von Schlachtschweinen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Fleischbeschaffenheit
Vet. med. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

HOFFMANN, A. (2003)
Implementierung der Schuss-Schlagbetäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb
Vet. med. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München

HOFMANN, K. (1973)
Was ist Fleischqualität?
Fleischwirtschaft **53**(4): 485

HOFMANN, K. (1981)
Chemie der Eiweißstoffe
Kulmbacher Reihe **Bd. 2**: 1-22

HOFMANN, K. (1987)
Der Begriff Fleischqualität. Definition und Anwendung
Fleischwirtschaft **67**(1): 44-49

HONIKEL, K. O. und KIM, C. J. (1985)
Über die Ursache der Entstehung von PSE-Schweinefleisch
Fleischwirtschaft **65**(9): 1125-1131

HONIKEL, K. O. (1998)
Physikalische Messung der Farbe
In: Qualität von Fleisch und Fleischwaren. Brandscheid, W., Honikel, K. O., von Lengerken, G. und Troeger, K., Hrsg.; Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main. ISBN 3-87150-513-7.
**Bd. 2**.S. 706-709

HONIKEL, K. O. (2000)
Standardisierung physikalischer Meßverfahren bei Fleisch
Fleischwirtschaft **80**(7): 75-81

HOOD, D. E. (1980)
Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef
Meat Science **4**: 247-265

HOOD, D.-E. und RIORDAN, E.-B. (1973)
Discolouration in pre-packaged beef: measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination
Journal of Food Technology **8**(3): 333-343

HÖRETH, R. und DOBROWOLSKI, A. (1994)
Opto-Star - eine Alternative in der Helligkeitsmessung?
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach **33**: 5-12

HULSEGGE, B., ENGEL, B., BUIST, W., MERKUS, G. S. M. und KLONT, R. E. (2001)
Instrumental colour classification of veal carcasses
Meat Science **57**(2): 191-195

JAKOBSEN, M. und BERTELSEN, G. (2000)
Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time and modified atmosphere composition
Meat Science **54**(1): 49-57

JEREMIAH, L. E., SMITH, G. C. und CARPENTE, Z. (1972)
Beef color as related to consumer acceptance and palatability
Journal of Food Science **37**(3): 476-479

JUNCHER, D., RONN, B., MORTENSEN, E. T., HENCKEL, P., KARLSSON, A., SKIBSTED, L. H. und BERTELSEN, G. (2001)
Effect of pre-slaughter physiological conditions on the oxidative stability of colour and lipid during chill storage of pork
Meat Science **58**(4): 347-357

KADIM, I.-T., MAHGOUB, O., AL-AJMI, D.-S., AL-MAQBALY, R.-S., AL-MUGHEIRY, S.-M. und BARTOLOME, D.-Y. (2004)
The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef M. longissimus thoracis
Meat Science **66**(4): 831-836

KAZAROV, D. (1979)
Untersuchungen über den Einfluss der Behandlung vor der Schlachtung auf die Fleischfarbe von im Freien aufgezogenen Jungbullen
Schlachten und Vermarkten **79**(2): 49

KIM, Y. S., YOON, S. K., SONG, Y. H. und LEE, S. K. (2003)
Effect of season on color of Hanwoo (Korean native cattle) beef
Meat Science **63**(4): 509-513

KIRCHHEIM, U., KINAST, C. und SCHÖNE, F. (2001)
(Früh)postmortale physikalische Messkriterien zur Beurteilung der Fleischbeschaffenheit
Fleischwirtschaft **81**(1): 89-90

KLEIN, G. (2003)
Anwendung molekularbiologischer Methoden in der Lebensmittelmikrobiologie am Beispiel probiotisch genutzter Laktobazillen
Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift **116**: 510-516

KLETTNER, P. G. und STIEBING, A. (1980)
Beitrag zur Bestimmung der Farbe von Fleisch und Fleischerzeugnissen. 1. Einführung in die Grundlagen der Farbmessung
Fleischwirtschaft **60**(11): 1970-1980

KLETTNER, P. G. und TERSTIEGE, H. (1999)
Bedeutung der Beleuchtung auf das Aussehen von Fleisch und Fleischprodukten
Fleischwirtschaft **79**(6): 91-94

KLINKE, R. und SILBERNAGL, S., Hrsg. (1996)
Lehrbuch der Physiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. ISBN 3-13-796002-9

KLONT, R.-E., EIKELENBOOM, G. und BROCKS, L. (1998)
Muscle fibre type and meat quality
In: International Congress of Meat Science and Technology. Barcelona, Spanien. IRTA, EUROCARNE. ISBN 84-930010-0-7.S. 98-105

KLONT, R.-E., BARNIER, V.-M.-H., SMULDERS, F.-J.-M., DIJK, A.-V., HOVING-BOLINK, A.-H. und EIKELENBOOM, G. (1999)
Post-mortem variation in pH, temperature, and colour profiles of veal carcasses in relation to breed, blood haemoglobin content and carcass characteristics
Meat Science **53**(3): 195-202

KONICA-MINOLTA (2004)
Exakte Farbkommunikation - vom Farbgefühl bis zur objektiven Messung.
Broschüre zur Farbmesstechnik. Langenhagen

KÜHNE, M. (2004)
Fleischfarbe und Fleischreifung
In: Lehrbuch der Schlachttier- und Fleischuntersuchung. Beutling, D. M., Hrsg.; Parey Verlag, Stuttgart. ISBN 3-8304-4098-7.
S. 118-120

LAGODA, H. L., WILSON, L. L., HENNING, W. R., FLOWERS, S. L. und MILLS, E. W. (2002)
Subjective and objective evaluation of veal lean color
Journal of Animal Science **80**(7): 1911-1916

LAUBE, S. (2000)
Die Eignung spezieller Schweinekreuzungen zur Qualitätsverbesserung von Markenschweinefleisch unter besonderer Berücksichtigung von MHS-Status, Hampshirefaktor und intramuskulärem Fettgehalt
Vet. med. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

LAWRIE, R. A. (1985)
Meat Science
Pergamon Press, Oxford. ISBN 0-08-030790-6

LIEBICH, H.-G. (1999)
Sinnesorgane - Sehorgan
In: Funktionelle Histologie der Haussäugetiere. Liebich, H.-G., Hrsg.; Verlag Schattauer, Stuttgart, New York. ISBN 3-7945-1899-3.
S. 332-344

LIEBICH, H.-G. und KÖNIG, H. E. (1999)
Sehorgan (Organum visus)
In: Anatomie der Haussäugetiere. Band 2: Organe, Kreislauf- und Nervensystem. König, H. E. und Liebich, H.-G., Hrsg.; Verlag Schattauer, Stuttgart, New York. ISBN 3-7945-1862-4.
**Bd. 2**.S. 287-308

LOOS, H. (1989)
Farbmessung - Grundlagen der Farbmetrik und ihre Anwendungsbereiche in der Druckindustrie
Verlag Beruf + Schulze, Itzehoe. ISBN 3-88013-380-8

LU, J., TAN, J., SHATADAL, P. und GERRARD, D. E. (2000)
Evaluation of pork color by using computer vision
Meat Science **56**(1): 57-60

MALLIA, J. G., BARBUT, S., VAILLANCOURT, J. P., MARTIN, S. W. und MC EWEN, S. A. (2000)
Roaster breast meat condemned for cyanosis: a dark firm dry-like condition?
Poultry Science **79**(6): 908-912

MARSH, B. B. und CARSE, W. A. (1974)
Meat tenderness and sliding filament hypothesis
Journal of Food Technology **9**: 129-132

MATZKE, P., HOLZER, A. und PESCHKE, W. (1992)
Vergleich des Farbmeßgerätes "Minolta Chromameter CR 100" mit anderen Geräten zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit
Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch **69**(3): 307-322

MC DARRAH, F. W. und MC DARRAH, G. S. (1999)
The Photography Encyclopedia
Schirmer Books, New York. ISBN 0-02-865025-5

MC KENNA, D. R., MIES, P. D., BAIRD, B. E., PFEIFFER, K. D., ELLEBRACHT, J. W. und SAVELL, J. W. (2005)
Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles
Meat Science **70**: 665-682

MILTENBURG, G. A. J., WENSING, T., SMULDERS, F. J. M. und BREUKINK, H. J. (1992)
Relationship between blood hemoglobin, plasma and tissue iron, muscle heme pigment and carcass color of veal
Journal of Animal Science **70**(9): 2766-2772

MUCK, C. und SCHARNER, E. (1998)
Farbverläufe des M. longissimus dorsi von Schlachtschweinen über 24 Stunden
In: 39. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes "Lebensmittelhygiene" vom 22.-25.09.1998. Garmisch-Partenkirchen. ISBN 3-930511-59-2.S. 152-163

MUCK, C. (2000)
Beitrag zur Erfassung von Merkmalen der Muskelfleischqualität durch instrumentelle Ermittlung der Farbwerte L*, a* und b* an Tierkörperteilstücken von Schlachtschweinen
Vet. med. Diss., Universität Leipzig

MÜLLER, G. und WEBER, H. (1996)
Mikrobiologie der Lebensmittel - Grundlagen
Behr's Verlag, Hamburg. ISBN 3-86022-209-0

MUSSMANN, T., SCHMITTEN, F., JÜNGST, H., THOLEN, E. und SCHEPERS, K. H. (1994)
Vergleichende Untersuchungen zur Methodik der Helligkeits- und Farbmessung bei Schweinefleisch
Züchtungskunde **66**(5): 359-372

N.N. (2005a)
Täuschung durch Rotlicht?
Allgemeine Fleischer Zeitung, 31/2005 (05.08.2005)

N.N. (2005b)
Schönfärberei in der Fleischtheke durch Rotlicht bald zulässig? Verbraucherzentralen kämpfen gegen Abschaffung der DIN-Norm
*http://www.verbraucher.de* (11.08.2005)

N.N. (2005c)
Schönfärberei beklagt - DIN-Norm für künstliche Beleuchtung soll abgeschafft werden
Der Metzgermeister, 33/2005 (24.08.2005)

O`KEEFFE, M. und HOOD, D. E. (1981)
Anoxic storage of fresh beef 2. Color stability and weight-loss
Meat Science **5**(4): 267-281

O`SULLIVAN, M. G., BYRNE, D. V., MARTENS, H., GIDSKEHAUG, L. H., ANDERSEN, H. J. und MARTENS, M. (2003)
Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis
Meat Science **65**(2): 909-918

ÖNENC, A. und KAYA, A. (2004)
The effects of electrical stunning and percussive captive bolt stunning on meat quality of cattle processed by Turkish slaughter procedures
Meat Science **66**(4): 809-815

OSTER, A. und FEWSON, D. (1990)
Untersuchungen über die Messung der Fleischfarbe von Schweinen mit dem Chromameter der Firma Minolta
Züchtungskunde **62**(2): 141-157

OZAWA, S., MITSUHASHI, T., MITSUMOTO, M., MATSUMOTO, S., ITOH, N., ITAGAKI, K., KOHNO, Y. und DOHGO, T. (2000)
The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers
Meat Science **54**(1): 65-70

PAGE, J. K., WULF, D. M. und SCHWOTZER, T. R. (2001)
A survey of beef muscle color and pH
Journal of Animal Science **79**(3): 678-687

PETTE, D. und STARON, R. S. (1990)
Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibres
Reviews in Physiology, Biochemistry and Pharmacology **116**: 2-76

PÖHLE, H. und WIDELL, S. (2001)
Untersuchung zur Gefahr der Irreführung bei der Beleuchtung von Fleischwaren
Fleischwirtschaft **81**(5): 202-204

POTTHAST, K. (1987)
Fleischfarbe, Farbstabilität und Umrötung
Fleischwirtschaft **67**(1): 50-55

PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T. und SINELL, H.-J. (1988a)
Farbe
In: Fleisch - Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung;
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. ISBN 3-8001-2135-2.
S. 697-702

PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T. und SINELL, H.-J. (1988b)
Kühlen der Schlachttierkörper
In: Fleisch - Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung;
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. ISBN 3-8001-2135-2.
S. 94-103

PRANGE, H., JUGERT, L. und SCHARNER, E. (1977)
Muscle meat quality in swine. I. Occurrence of poor quality pork and the influence of slaughtering and cooling
Archiv für Experimentelle Veterinärmedizin **31**(2): 235-248

PRICE, J. F. und SCHWEIGERT, B. S., Hrsg. (1971)
The science of meat and meat products
W. H. Freeman and Company, San Francisco. ISBN 0-7167-0820-5

REICHARDT, W., WARZECHA, H., HANSCHMANN, G. und BARGHOLZ, J. (1997)
Über einige analytische Fleischqualitätsmerkmale bei Mastbullen, -ochsen und -färsen verschiedener Rassen und ihrer Kreuzungsprodukte
Züchtungskunde **69**(5): 366-384

RENERRE, M. (1990)
Factors involved in the discoloration of beef meat
International Journal of Food Science and Technology **25**(6): 613-630

RICHTER, M. (1981)
Einführung in die Farbmetrik
Verlag de Gruyter, Berlin, New York. ISBN 3-11-008209-8

RISTIC, M. (1984)
Methods of judging meat quality objectively
Fleischwirtschaft **64**(11): 1340-1350

RÖDEL, W. (1991a)
Meßgrößen und transportable Meßgeräte für die innerbetriebliche Qualitätskontrolle, Teil I
Fleischwirtschaft **71**(10): 1168-1175

RÖDEL, W. (1991b)
Meßgrößen und transportable Meßgeräte für die innerbetriebliche Qualitätskontrolle, Teil II
Fleischwirtschaft **71**(11): 1260-1268

RÖDEL, W. und SCHEUER, R. (1998)
Redoxpotential bei Fleisch und Fleischerzeugnissen - 2. Typische Redoxpotentiale bei Fleisch und Fleischerzeugnissen - ein Überblick
Fleischwirtschaft **78**(12): 1286-1289

ROSENVOLD, K. und ANDERSEN, H. J. (2003)
The significance of pre-slaughter stress and diet on colour and colour stability of pork
Meat Science **63**(2): 199-209

RÖSLER, G. und STOLLE, A. (2002)
Beleuchtung von Lebensmitteln: (K)ein Problem - Anmerkungen zur DIN 10504 und Aspekte der farbigen Beleuchtung von Fleischverkaufstheken
In: 43. Arbeitstagung des Arbeitgebietes "Lebensmittelhygiene" vom 24.-27.09.2002. Garmisch-Partenkirchen. ISBN 3-936815-59-3.S. 49-51

SACK, E. und BRANDSCHEID, W. (1990)
Zur Erfassung des "PSE"-Status von Schweinehälften mit unterschiedlichen Meßmethoden
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach **108**: 140-146

SANTOS, C., ALMEIDA, J. M., MATIAS, E. C., FRAQUENZA, M. J., ROSEIRO, C. und SARDINO, L. (1997)
Influence of lairage environmental conditions and resting time on meat quality in pigs
Meat Science **45**: 253-262

SCHARNER, E. und SCHIEFER, G. (1996)
Farbmetrische Untersuchungen am M. longissimus dorsi von Schlachtschweinen
Fleischwirtschaft **76**(11): 1120-1124

SCHARNER, E. (1997)
Begriffliches zu den Termini Fleisch und Fleischqualität
Fleischwirtschaft **77**(2): 140-141

SCHARNER, E., MÜLLER, T. und DOMEL, G. (1997)
Versuche zur Farbmessung am M. longissimus dorsi am Ende der Schlachtphase
Tierärztliche Umschau **52**(5): 286-289

SCHMIDT, R. F. und THEWS, G., Hrsg. (1995)
Physiologie des Menschen
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. ISBN 3-540-58034-4

SCHMIDTKE, S. (2002)
Die elektrische Leitfähigkeit als Diagnoseparameter für die Rindfleisch-Reifung
Vet. med. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

SCHWÄGELE, F. (1993)
Qualitätsmerkmale - Erfassung nach dem Schlachten
Fleischwirtschaft **73**(3): 228-238

SCHWÄGELE, F. (1999)
Kühlung, Kühllagerung und Fleischreifung - Chemische und physikalische Grundlagen - 2. Biochemische Vorgänge
Fleischwirtschaft **79**(6): 103-106

SEIDEMAN, S. C., CROSS, H. R., SMITH, G. C. und DURLAND, P. R. (1984)
Factors affecting fresh meat colour: a review
Journal of Food Quality **6**(3): 211-237

SHACKELFORD, S. D., PURSER, D. E., SMITH, G. C., GRIFFIN, C. L., STIFFLER, D. M. und SAVELL, J. W. (1992)
Lean color characteristics of bullock and steer beef
Journal of Animal Science **70**(2): 465-469

SILBERNAGL, S. und DESPOPOULOS, A. (1991)
Taschenatlas der Physiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. ISBN 3-13-567704-0

STEINHAUF, D., PAHL, G. H. M. und WENIGER, J. H. (1964)
Methoden zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit. 1. Mitteilung: Ein Gerät zur objektiven Bestimmung der Fleischfarbe
Fleischwirtschaft **44**(4): 318-320

STEINHAUF, D., WENIGER, J. H. und PAHL, G. H. M. (1965)
Methoden zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit. 3. Mitteilung: Farbe und Zähigkeit
Fleischwirtschaft **45**(1): 29-33

STEVENSON, J. M., SEMAN, D. L., WEATHERALL, I. L. und LITTLEJOHN, R. P. (1989)
Evaluation of venison color by an objective method using CIELab values
Journal of Food Science **54**(6): 1661-1662

STIEBING, A. und KLETTNER, P. G. (1980)
Beitrag zur Bestimmung der Farbe bei Fleisch und Fleischerzeugnissen. 2. Praktische Erfahrungen mit dem Elrephomat DFC 5
Fleischwirtschaft **60**(12): 2179-2183

STOLLE, A. (1987)
Zur Durchführung der amtlichen Hilfsuntersuchungen (VwV FlHG) bei abweichenden Fleischqualitätsparametern
Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung **39**(8): 166-168

STOLLE, A. (2001)
Fleisch und Wurst richtig beleuchten
Fleischwirtschaft **81**(8): 47-48

STRANGE, E. D., BENEDICT, R. C., GUGGER, R. E., METZGER, V. G. und SWIFT, C. E. (1974)
Simplified methodology for measuring meat color
Journal of Food Science **39**(5): 988-992

STRANGE, E. D., BENEDICT, R. C., SMITH, J. L. und SWIFT, C. E. (1977)
Evaluation of rapid tests for monitoring alterations in meat quality during storage. 1. Intact meat
Journal of Food Protection **40**(12): 843-847

SUTTON, D. S., ELLIS, M., LAN, Y., MC KEITH, F. K. und WILSON, E. R. (1997)
Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles
Meat Science **46**(2): 173-180

TEMISAN, V. und AUGUSTINI, C. (1989)
Qualitätsrindfleisch - Definitionen, Standardisierung, Wege zur Erzeugung. 1. Definition, wertbestimmende Faktoren, Standardisierungen
Fleischwirtschaft **69**: 31-37

VAN DE WATER, G., VERJANS, F. und GEERS, R. (2003)
The effect of short distance transport under commercial conditions on the physiology of slaughter calves; pH and colour profiles of veal
Livestock Production Science **82**(2/3): 171-179

VAN DER WAL, P. G., ENGEL, B., VAN BEEK, G. und VEERKAMP, C. H. (1995)
Chilling pig carcasses: effects on temperature, weight loss and ultimate meat quality
Meat Science **40**: 193-202

VAN OECKEL, M. J., CASTEELS, M., WARNANTS, N., DEBOEVER, J. L., BOUCQUE, C. V. und BOSSCHAERTS, L. (1997)
Instrumentelle Bestimmung von Merkmalen der Fleischbeschaffenheit Belgischer Schweine
Fleischwirtschaft **77**(1): 84-87

VAN OECKEL, M. J., WARNANTS, N. und BOUCQUE, C. V. (1999)
Measurement and prediction of pork colour
Meat Science **52**(4): 347-354

VELARDE, A., GISPERT, M., FAUCITANO, L., MANTECA, X. und DIESTRE, A. (2000)
The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses
Meat Science **55**(3): 309-314

VERGARA, H., LINARES, M.-B., BERRUGA, M.-I. und GALLEGO, L. (2005)
Meat quality in suckling lambs: effect of pre-slaughter handling
Meat Science **69**(3): 473-478

VON HELMHOLTZ, H. (1896)
Handbuch der Physiologischen Optik
Voss Verlag, Hamburg.

VON WENZLAWOWICZ, M., VON HOLLEBEN, K. und VON MICKWITZ, G. (1996)
Fleischqualität beim Schwein - Vergleichende Untersuchungen unter Berücksichtigung von Vorbelastungen, Schlachtgewicht und Magerfleischanteil
Fleischwirtschaft **76**(3): 301-307

WAJDA, S. (1988)
Beobachtungen über die unterschiedlichen Haltungsformen von Färsen und Ochsen während ihrer Standzeit am Schlachthof
Fleischwirtschaft **68**(3): 384-385

WARNATZ, A., FUHRMANN, H., WENZEL, S., SALLMANN, H.-P. und FELDHUSEN, F. (1993)
Zusammenhänge zwischen Lipidperoxidation und Muskelfarbe bei Rindfleisch während der Lagerung
In: 34. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes "Lebensmittelhygiene" vom 28.9. bis 1.10.1993. Garmisch-Partenkirchen. ISBN 3-924851-86-7.S. 73-79

WEBER, H., Hrsg. (1996)
Mikrobiologie der Lebensmittel - Fleisch und Fleischerzeugnisse
Behr's Verlag, Hamburg. ISBN 3-86022-236-8

WENDT, M., BICKHARDT, K., HERZOG, A., FISCHER, A., MARTENS, H. und RICHTER, T. (2000)
Belastungsmyopathie des Schweines und PSE-Fleisch: Klinik, Pathogenese, Ätiologie und tierschutzrechtliche Aspekte
Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift **113**(5): 173-190

WINZIG, M. (2002)
Die objektive Bestimmung der Farbe des Fettgewebes von Schweineschlachttierkörpern durch Farbmessung mit dem Minolta Chromameter CR 300 - ein Beitrag zur Ikterusdiagnostik
Vet. med. Diss., Freie Universität Berlin

WULF, D. M., O'CONNOR, S. F., TATUM, J. D. und SMITH, G. C. (1997)
Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness
Journal of Animal Science **75**(3): 684-692

WULF, D. M. und WISE, J. W. (1999)
Measuring muscle color of beef carcasses using the L*a*b* color space
Journal of Animal Science **77**(9): 2418-2427

ZHU, L. G. und BREWER, M. S. (1998)
Discoloration of fresh pork as related to muscle and display conditions
Journal of Food Science **63**(5): 763-767

**Gesetzestexte, Verordnungen, Richtlinien, Entscheidungen**

Verordnung (EG) 2073/2005 der Kommission vom 15. November 2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel (ABl. EG L 338, S. 1)

Entscheidung 2001/471/EG der Kommission vom 8. Juni 2001 über Vorschriften zur regelmäßigen Überwachung der allgemeinen Hygienebedingungen durch betriebseigene Kontrollen gemäß Richtlinie 64/433/EWG über die gesundheitlichen Bedingungen für die Gewinnung und das Inverkehrbringen von frischem Fleisch und Richtlinie 71/118/EWG zur Regelung gesundheitlicher Fragen beim Handelsverkehr mit frischem Geflügelfleisch (ABl. EG L 165, S. 48)
geändert durch: Entscheidung 2004/379/EG der Kommission vom 26. April 2004 hinsichtlich der bakteriologischen Untersuchungen in bestimmten Fleischbetrieben (ABl. EG L 144, S. 1)

Gesetz zur Neuordnung des Lebensmittel- und Futtermittelrechts (LFGB) vom 01. September 2005 (BGBl. I, S. 2618)

Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung nach dem Fleischhygienegesetz und dem Geflügelfleischhygienegesetz (AVV Fleischhygiene) vom 19. Februar 2002 (BAnz. 44a, 05.03.2002)

Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB
Beuth Verlag, Berlin, Köln

Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV Lebensmittelhygiene) Stand: 07.10.2005

# Danksagung

**Mein besonderer Dank gilt:**

Frau PD Dr. Schalch für die Überlassung des interessanten Themas, die fachliche Begleitung, die schnellen Korrekturen sowie für die freundschaftlichen Gespräche.

Herrn Prof. Dr. Dr.h.c. Stolle für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes sowie für die Unterstützung in jeder Phase der Doktorarbeit.

Herrn Prof. Dr. Mantel für die Unterstützung bei der Suche nach einer geeigneten Doktorarbeit, die Vermittlung zu Frau Dr. Schalch und der ganzen Familie Mantel für die freundschaftliche Aufnahme und schöne Zeit in Bayern.

Frau Dr. Forster für die Einführung in die praktische Farbmessung, für die hilfreichen Exkursionen, für die fachliche und tatkräftige Begleitung in jedem Abschnitt der Doktorarbeit sowie die interessanten Gespräche und die liebe Unterstützung.

Frau Dr. Sperner für die spontane, liebe und rettende Durchsicht der Arbeit.

Frau Dr. Thiel und Frau Gudehus für die konstruktiven Gespräche und das angenehme Arbeitsklima in unserem Zimmer.

Herrn Scheipl und dem Team vom Stablab der LMU für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

meinem Freund Heiner Blasius für die liebvolle Unterstützung jeglicher Art und dafür, dass er mein Fels in der Brandung ist.
unseren Familien, insbesondere meinen Eltern Dr. Bernd und Birgit Wagner, dafür, dass sie immer für mich da sind und mich unterstützen.

sowie allen Mitarbeitern des Institutes für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs für das freundschaftliche Arbeitsklima und für die Beantwortung von Fragen jeglicher Art.

# Lebenslauf

| | |
|---|---|
| **Name** | **Jennifer Wagner** |
| Geburtsdatum, -ort: | 01.07.1981, Ibbenbüren |
| Eltern: | Dr. med. Bernd Wagner, Anästhesist, und Birgit Wagner, geb. Engmann, Lehrerin |
| Geschwister: | Christoph und Philipp Wagner |
| Anschrift: | Berliner Str. 69A<br>14467 Potsdam |

**Ausbildung**

| | |
|---|---|
| 1987-1991 | Grundschule Ibbenbüren |
| 1991-1992 | Goethe-Gymnasium Ibbenbüren |
| 1992-1993 | Städtisches Gymnasium Vreden |
| 1994-1999 | Friedrich-Schleiermacher-Gymnasium Niesky |
| 1999-2005 | Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin |
| März 2005 | Approbation |

**Berufliche Tätigkeit**

| | |
|---|---|
| 2001-2003 | Studentische Tutorin am Institut für Veterinär-Physiologie der Freien Universität Berlin |