

Muskelphysiologische Untersuchungen zur  
Farbvariation, Farbstabilität und Fleischqualität  
des *Musculus pectoralis superficialis*  
von *Gallus gallus gallus* und *Meleagris gallopavo*

Dissertation

zur Erlangung des Grades „Doktor der Naturwissenschaft“  
(Dr. rer. nat.)

am Fachbereich Biologie und Chemie  
der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von  
**Sabine Janisch**  
geboren in Staßfurt

Giessen, August 2011

Diese Arbeit wurde am Department für Nutztierwissenschaften,  
Abteilung Produktkunde - Qualität tierischer Erzeugnisse,  
der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt.

Dekan:	Prof. Dr. Volkmar Wolters
Erster Gutachter:	Prof. Dr. Adriaan Dorresteijn
Zweiter Gutachter:	Prof. Dr. Michael Wicke

Tag der mündlichen Prüfung: 31.10.2011

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	III
<b>Tabellen- und Abbildungsverzeichnis</b>	V
<b>I. Einleitung</b>	S. 1
<b>II. Literaturübersicht</b>	
<b><u>2.1. Die Muskulatur</u></b>	S. 3
2.1.1. Pränatale und postnatale Entwicklung der Muskulatur	S. 4
2.1.2. Die Skelettmuskulatur	S. 4
2.1.3. Reaktive Sauerstoffspezies und antioxidative Enzyme	S. 11
2.1.4. Postmortale Entwicklung der Muskulatur	S. 15
<b><u>2.2. Schlussfolgerung aus der Literatur und Zielsetzung</u></b>	S. 22
<b>III. Material und Methoden</b>	
<b><u>3.1. Tiermaterial</u></b>	S. 24
<b><u>3.2. Probennahme</u></b>	S. 25
<b><u>3.3. Untersuchungsmethoden</u></b>	
3.3.1. pH-Wert und Leitfähigkeit	S. 26
3.3.2. Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ )	S. 27
3.3.3. Tropfsaftverlust, Grillverlust und Scherkraftmessung	S. 28
3.3.5. Rohnährstoffe	S. 28
3.3.6. Mitochondriale Atmungsaktivität	S. 29
3.3.7. Histologische Untersuchungen	S. 31
3.3.8. Biochemische Untersuchungen	S. 32
<b><u>3.4. Statistische Auswertung der Ergebnisse</u></b>	S. 38
<b>IV. Ergebnisse</b>	
<b><u>4.1. Gallus gallus gallus: Vergleich von Linie, Geschlecht und Alter</u></b>	
4.1.1. Schlachtkörpermerkmale und Rohnährstoffe	S. 39
4.1.2. Fleischqualitätsmerkmale	S. 42
4.1.3. Entwicklung der Farbhelligkeit	S. 48
4.1.3.1. Entwicklung der Farbhelligkeit an der Muskeloberfläche	S. 48
4.1.3.2. Entwicklung der Farbhelligkeit am Muskelanschnitt	S. 51
4.1.4. Myoglobingehalt und Anteil der Myoglobinvarianten	S. 52
4.1.5. Mitochondriale Atmungskapazität	S. 54
4.1.6. Antioxidative Enzyme und Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen	S. 55

## Inhaltsverzeichnis

### **4.2. Meleagris gallopavo: Vergleich von Linie, Geschlecht und Alter**

4.2.1. Schlachtkörpermerkmale und Roh Nährstoffe	S. 59
4.2.2. Fleischqualitätsmerkmale	S. 63
4.2.3. Entwicklung der Farbhelligkeit	S. 73
4.2.3.1. Entwicklung der Farbhelligkeit an der Muskeloberfläche	S. 73
4.2.3.2. Entwicklung der Farbhelligkeit am Muskelanschnitt	S. 79
4.2.4. Myoglobingehalt und Anteil der Myoglobinvarianten	S. 82
4.2.5. Mitochondriale Atmungskapazität	S. 86
4.2.6. Antioxidative Enzyme und Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen	S. 88
<b>4.4. Einfluss der Farbhelligkeit auf die Fleischqualität</b>	S. 94
<b>4.3. Einfluss des pH-Wertes auf die Fleischqualität</b>	S. 102
<b>4.5. Multivariate Analyse</b>	S. 110

## **V. Diskussion**

<b><u>5.1. Schlachtkörpermerkmale und Roh Nährstoffe</u></b>	S. 114
<b><u>5.2. Fleischqualitätsmerkmale</u></b>	S. 118
<b><u>5.3. Myoglobingehalt und die Entwicklung der Farbhelligkeit</u></b>	S. 126
<b><u>5.4. Mitochondriale Atmungskapazität, antioxidative Enzyme und Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen</u></b>	S. 130
<b><u>5.5. Einfluss der Farbhelligkeit auf die Fleischqualität</u></b>	S. 137
<b><u>5.6. Einfluss des pH-Wertes auf die Fleischqualität</u></b>	S. 141

<b>VI. Zusammenfassung</b>	S. 146
----------------------------	--------

<b>VII. Literaturverzeichnis</b>	S. 147
----------------------------------	--------

<b>Anhang</b>	S. 162
---------------	--------

Eidesstattliche Erklärung

Liste der Veröffentlichungen

## Abkürzungsverzeichnis

### Abkürzungsverzeichnis

*	Signifikanter Korrelationskoeffizient bei $P < 0,05$
**	Signifikanter Korrelationskoeffizient bei $P < 0,01$
***	Signifikanter Korrelationskoeffizient bei $P < 0,001$
a*-Wert	Rotwert des Fleisches
Abb.	Abbildung
ADP	Adenosindiphosphat
AMP	Adenosinmonophosphat
ASS	Aviäres Stresssyndrom
ATP	Adenosintriphosphat
b*-Wert	Gelbwert des Fleisches
BSA	Bovines Serum Albumin
BSE	Bovine Spongiforme Encephalopathie
bzw.	Beziehungsweise
CIE	Commission Internationale de l'éclairage
CSA	cross sectional area (Muskelfaserdurchmesser)
d	Tage
DHAP	Dihydroxyacetonphosphat
GAP	Glycerinaldehyd-3-Phosphat
GP	Glutathion Peroxidase
GP <sub>20min</sub>	Glutathion Peroxidase, Muskelprobe entnommen 20 min post mortem
GP <sub>48h</sub>	Glutathion Peroxidase, Muskelprobe entnommen 48 h post mortem
GR	Glutathion Reduktase
GR <sub>20min</sub>	Glutathion Reduktase, Muskelprobe entnommen 20 min post mortem
GR <sub>48h</sub>	Glutathion Reduktase, Muskelprobe entnommen 48 h post mortem
h	Stunden
L*-Wert	Helligkeitswert des Fleisches
LF	Leitfähigkeit
LSM	Mittelwert, ermittelt mit „Statistica 9.0“
m	männlich (Hähne)
MDA	Malondialdehyd
MetMb	Metmyoglobin
MG	<i>Musculus gastrocnemicus</i>
MH	maligne Hyperthermie

## Abkürzungsverzeichnis

MIL	<i>Musculus iliotibialis lateralis</i>
MPS	<i>Musculus pectoralis superficialis</i>
Mb	Myoglobin
N	Anzahl der Probanden
NS	Nervensystem
OxyMb	Oxymyoglobin
P	Protein
P <sub>20min</sub>	Protein, Muskelprobe entnommen 20 min post mortem
P <sub>48h</sub>	Protein, Muskelprobe entnommen 48 h post mortem
p.m.	post mortem
pH1	pH-Wert gemessen 20 min post mortem
pH2	pH-Wert gemessen 24 h post mortem
SEM	Standardfehler, ermittelt mit „Statistica 9.0“
SOD	Superoxid-Dismutase
SOD <sub>20min</sub>	Superoxid-Dismutase, Muskelprobe entnommen 20 min post mortem
SOD <sub>48h</sub>	Superoxid-Dismutase, Muskelprobe entnommen 48 h post mortem
Stabw.	Standardabweichung, ermittelt mit „Statistica 9.0“
Tab.	Tabelle
TBARS	Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen
TBARS <sub>20min</sub>	Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen, Muskelprobe entnommen 20 min post mortem
TBARS <sub>48h</sub>	Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen, Muskelprobe entnommen 48 h post mortem
w	weiblich (Hennen)
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

# Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 01	Einteilung der drei Muskelfasertypen nach ausgewählten Eigenschaften ....	S. 6
Tabelle 02	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Schlachtkörpermerkmale von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 40
Tabelle 03	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Prozentanteile an Fett, Protein und Trockenmasse im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 41
Tabelle 04	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Qualitätsmerkmale pH-Wert und Leitfähigkeit (LF) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt .....	S. 42
Tabelle 05	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Qualitätsmerkmale pH-Wert und Leitfähigkeit (LF) des <i>M. gastrocnemicus</i> (MG) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt .....	S. 43
Tabelle 06	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L*a*b*) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 45
Tabelle 07	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L*a*b*) des <i>M. iliotibialis lateralis</i> (MIL) von <i>Gallus gallus gallus</i> 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 46
Tabelle 08	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von Tropfsaft- und Grillverlust sowie Scherkraft und Muskelfaserdurchmesser des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 47
Tabelle 09	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des Myoglobingehaltes (Mb) sowie des Anteil an Oxymyoglobin (OxyMb) und Metmyoglobin (MetMb) im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit vom Mastalter und Messzeitpunkt .....	S. 52
Tabelle 10	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Pyruvat/Malat State-3-Atmung, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und des Respiratorischen Kontrollindex (RCI) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit vom Mastalter .....	S. 54
Tabelle 11	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Aktivität der antioxidativen Enzyme (Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-Reduktase (GR) Glutathion-Peroxidase (GP)) im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit vom Mastalter und dem Messzeitpunkt .....	S. 55
Tabelle 12	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Schlachtkörpermerkmale von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 60
Tabelle 13	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Schlachtkörpermerkmale von <i>Meleagris gallopavo</i> des 2. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie und dem Alter .....	S. 61

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 14	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Prozentanteile an Fett, Protein und Trockenmasse im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 63
Tabelle 15	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt .....	S. 64
Tabelle 16	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) des <i>M. gastrocnemicus</i> (MG) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt .....	S. 65
Tabelle 17	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) und des <i>M. gastrocnemicus</i> (MG) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit vom Alter .....	S. 66
Tabelle 18	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L*a*b*) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 67
Tabelle 19	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L*a*b*) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 2. Versuchsdurchgangs 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie und dem Alter .....	S. 68
Tabelle 20	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L*a*b*) des <i>M. iliotibialis lateralis</i> (MIL) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 69
Tabelle 21	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L*a*b*) des <i>M. iliotibialis lateralis</i> (MIL) der Masthähne der Linie Hybrid XL 24 h p.m. in Abhängigkeit vom Alter .....	S. 70
Tabelle 22	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von Tropfsaft- und Grillverlust sowie Scherkraft und Muskelfaserdurchmesser des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter .....	S. 71
Tabelle 23	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von Tropfsaft- und Grillverlust sowie Scherkraft und Muskelfaserdurchmesser des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 2. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie und dem Alter .....	S. 72
Tabelle 24	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des Myoglobingehaltes (Mb) sowie des Anteils an Metmyoglobin (MetMb) und Oxymyoglobin (OxyMb) im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt .....	S. 83
Tabelle 25	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des Myoglobingehaltes (Mb) sowie des Anteils an Metmyoglobin (MetMb) und Oxymyoglobin (OxyMb) im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) der Masthähne der Linie Hybrid XL Puten in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt .....	S. 84

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 26	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Pyruvat/Malat State-3-Atmung, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und des Respiratorischen Kontrollindex (RCI) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit vom Mastalter .....	S. 87
Tabelle 27	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Pyruvat/Malat State-3-Atmung, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und des Respiratorischen Kontrollindex (RCI) des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit vom Alter .....	S. 87
Tabelle 28	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Aktivität der antioxidativen Enzyme (Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-Reduktase (GR) Glutathion-Peroxidase (GP)) im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt .....	S. 89
Tabelle 29	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Aktivität der antioxidativen Enzyme (Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-Reduktase (GR) Glutathion-Peroxidase (GP)) im <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt .....	S. 91
Tabelle 30	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> nach 28 d und 41 d Mast in Abhängigkeit vom $L^*_{24h}$ -Wert der MPS-Oberfläche .....	S. 96
Tabelle 31	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Meleagris gallopavo</i> nach 112 d und 147 d Mast in Abhängigkeit vom $L^*_{24h}$ -Wert der MPS-Oberfläche .....	S. 98
Tabelle 32	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> (Ross 308) und <i>Meleagris gallopavo</i> (Big 6) in Abhängigkeit vom $L^*_{24h}$ -Wert der MPS-Oberfläche .....	S. 100
Tabelle 33	Zusammenhang zwischen dem $pH_{20min}$ -Wert und dem $pH_{24h}$ -Wert des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) und ausgewählter Parameter der Fleischqualität des MPS von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit vom Mastalter .....	S. 102
Tabelle 34	Zusammenhang zwischen dem $pH_{20min}$ -Wert und dem $pH_{24h}$ -Wert des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) und ausgewählter Parameter der Fleischqualität des MPS von <i>Meleagris gallopavo</i> des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit vom Mastalter .....	S. 104
Tabelle 35	Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale der Fleischbeschaffenheit des <i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS) von <i>Gallus gallus gallus</i> (Ross 308) und <i>Meleagris gallopavo</i> (Big 6) nach Gruppierung in niedrigen und hohen pH-Wert ausgehend vom LSM des $pH_{24h}$ -Wert der jeweiligen Spezies .....	S. 108

# Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 01	Darstellung der Muskelarten und ihrer wichtigsten Unterschiede .....	S. 3
Abbildung 02	Aufbau des Sarkomer mit Bezeichnung der jeweiligen Teilabschnitte (von Engelhard und Breves, 2000) .....	S. 5
Abbildung 03	Darstellung der Schritte 1 - 5 der Glykolyse ( <a href="http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-03.html">http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-03.html</a> ) .....	S. 8
Abbildung 04	Darstellung der Schritte 6 - 10 der Glykolyse ( <a href="http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-03.html">http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-03.html</a> ) .....	S. 9
Abbildung 05	Zitratzyklus mit Darstellung der Bildung von Reduktionsäquivalenten ( <a href="http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-01.html">http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-01.html</a> ) .....	S. 10
Abbildung 06	Ablauf der Atmungskette ( <a href="http://www.biokurs.de/skripte/bs2-23.htm">http://www.biokurs.de/skripte/bs2-23.htm</a> ) ...	S. 10
Abbildung 07	Mögliche Bildungswege von Reaktiven Sauerstoff Spezies (ROS) durch Elektronenübertragung und Aufnahme von Wasserstoffionen (Apel and Hirt, 2004) .....	S. 11
Abbildung 08	Bildung und Neutralisierung von Superoxid in der Zelle sowie Nennung möglicher Schäden die durch Superoxid in der Zelle entstehen können ( <a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index">http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index</a> ) .....	S. 13
Abbildung 09	Darstellung des zweistufigen Reaktionsablaufes der Superoxid-Dismutase (SOD) mit Superoxid ( $O_2^-$ ) und Bildung von Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) .....	S. 14
Abbildung 10	CIE-L*a*b*-Farbsystem ( <a href="http://www.sares.at/index.php">http://www.sares.at/index.php</a> ) .....	S. 18
Abbildung 11	postmortale Änderung des pH-Wert im Muskel von Schlachttieren (Wicke et al. 2007, verändert) .....	S. 22
Abbildung 12	Aufteilungsschema des linken Putenbrustmuskels zur Probennahme und zur Messung von pH-Wert, Leitfähigkeit und Farbhelligkeit am Anschnitt des Muskels .....	S. 25
Abbildung 13	Respirogramm mit Darstellung der Sauerstoff-Konzentration (blaue Linie) und der Atmungsaktivität der Mitochondrien (rote Linie) in $pmol/s \cdot mg$ sowie den Markierungen der Substratzugabe (R = Rotenon; S = Succinat; O = Oligomycin) .....	S. 30
Abbildung 14	Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS)</b> der <b>28 d alten Broiler</b> über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht .....	S. 48
Abbildung 15	Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i> (MPS)</b> der <b>41 d alten Broiler</b> über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht .....	S. 48
Abbildung 16	Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i> (MIL)</b> der <b>28 d alten Broiler</b> über 48 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht .....	S. 49

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abbildung 17	Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) der <b>41 d alten Broiler</b> über 48 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht .....	S. 49
Abbildung 18	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Gallus gallus gallus</i> über 72 h .....	S. 50
Abbildung 19	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) von <i>Gallus gallus gallus</i> über 48 h .....	S. 50
Abbildung 20	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes (a*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Gallus gallus gallus</i> über 72 h .....	S. 51
Abbildung 21	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes (a*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) von <i>Gallus gallus gallus</i> über 48 h .....	S. 51
Abbildung 22	Konzentration an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) (LSM ± SEM) im <i>M. pectoralis superficialis</i> ( <i>MPS</i> ) von <i>Gallus gallus gallus</i> in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt .....	S. 57
Abbildung 23	Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS 48 h p.m. und dem Fettgehalt von <i>Gallus gallus gallus</i> nach <b>28 d Mast</b> .....	S. 58
Abbildung 24	Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS 48 h p.m. und dem Fettgehalt von <i>Gallus gallus gallus</i> nach <b>41 d Mast</b> .....	S. 58
Abbildung 25	Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) der <b>112 d alten Puten</b> über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht .....	S. 73
Abbildung 26	Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) der <b>147 d alten Puten</b> über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht .....	S. 73
Abbildung 27	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 72 h .....	S. 74
Abbildung 28	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 48 h .....	S. 74
Abbildung 29	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes (a*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 72 h .....	S. 75
Abbildung 30	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes (a*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 48 h .....	S. 75
Abbildung 31	Entwicklung der Helligkeit (L*) (LSM ± SEM) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) der <b>106 d alten Puten</b> über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie .....	S. 76

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abbildung 32	Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) der <b>143 d alten Puten</b> über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie .....	S. 76
Abbildung 33	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 72 h .....	S. 77
Abbildung 34	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) der Hybrid XL über 48 h .....	S. 77
Abbildung 35	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 72 h .....	S. 77
Abbildung 36	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Oberfläche</b> des <b><i>M. iliotibialis lateralis</i></b> ( <i>MIL</i> ) der Hybrid XL über 48 h .....	S. 77
Abbildung 37	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Anschnittfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 48 h .....	S. 80
Abbildung 38	Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Anschnittfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) der Hybrid XL 48 h .....	S. 80
Abbildung 39	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Anschnittfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) von <i>Meleagris gallopavo</i> über 48 h .....	S. 81
Abbildung 40	Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der <b>Anschnittfläche</b> des <b><i>M. pectoralis superficialis</i></b> ( <i>MPS</i> ) der Hybrid XL über 48 h .....	S. 81
Abbildung 41	Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS 48 h p.m. und dem Fettgehalt der <b>112 d alten Puten</b> .....	S. 93
Abbildung 42	Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS 48 h p.m. und dem Fettgehalt der <b>147 d alten Puten</b> .....	S. 93
Abbildung 43	Häufigkeitsverteilung des $L^*_{24h}$ -Wertes der Brustmuskeloberfläche von <i>Gallus gallus gallus</i> nach 28 d und 41 Mast .....	S. 95
Abbildung 44	Häufigkeitsverteilung des $L^*_{24h}$ -Wertes der Brustmuskeloberfläche von <i>Meleagris gallopavo</i> nach 112 d und 147 Mast .....	S. 97
Abbildung 45	Häufigkeitsverteilung des $L^*_{24h}$ -Wertes der Brustmuskeloberfläche von <i>Gallus gallus gallus</i> (Ross 308) und <i>Meleagris gallopavo</i> (Big 6) ...	S. 99
Abbildung 46	Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), $pH_{20min}$ - und $pH_{24h}$ -Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $LF_{24h}$ ), Scherkraft ( $F_{max}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24h}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24h}$ ) von <i>Gallus gallus gallus</i> nach 28 d und 41 d Mast .....	S. 110
Abbildung 47	Einfluss des Tropfsaftverlustes (TSV), des Rotwert ( $a^*_{24h}$ ) sowie des $pH_{20min}$ -Wert auf die altersabhängige Verteilung von <i>Gallus gallus gallus</i> (28 d - Kennnummer 1; 41 d - Kennnummer 2) .....	S. 110

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abbildung 48	Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), $\text{pH}_{20\text{min}}$ - und $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $\text{LF}_{24\text{h}}$ ), Scherkraft ( $F_{\text{max}}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24\text{h}}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ) von <i>Meleagris gallopavo</i> nach 112 d und 147 d Mast ....	S. 111
Abbildung 49	Einfluss der Helligkeit ( $L^*_{24\text{h}}$ ) und des Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ), sowie des $\text{pH}_{20\text{min}}$ - und des $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert auf die altersabhängige Verteilung von <i>Meleagris gallopavo</i> (112 d - Kennnummer 1; 147 d - Kennnummer 2)	S. 111
Abbildung 50	Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), $\text{pH}_{20\text{min}}$ - und $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $\text{LF}_{24\text{h}}$ ), Scherkraft ( $F_{\text{max}}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24\text{h}}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ) von <i>Meleagris gallopavo</i> nach 106 d und 112 d Mast ....	S. 112
Abbildung 51	Einfluss der Helligkeit ( $L^*_{24\text{h}}$ ), des Tropfsaftverlust (TSV) und des $\text{pH}_{20\text{min}}$ -Wert auf die altersabhängige Verteilung von <i>Meleagris gallopavo</i> (106 d - Kennnummer 1; 112 d - Kennnummer 2) .....	S. 112
Abbildung 52	Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), $\text{pH}_{20\text{min}}$ - und $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $\text{LF}_{24\text{h}}$ ), Scherkraft ( $F_{\text{max}}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24\text{h}}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ) von <i>Meleagris gallopavo</i> nach 143 d und 147 d Mast ....	S. 113
Abbildung 53	Einfluss des Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ), des Tropfsaftverlust (TSV) und des Grillverlust (GV) auf die altersabhängige Verteilung von <i>Meleagris gallopavo</i> (143 d - Kennnummer 1; 147 d - Kennnummer 2) .....	S. 113
Abbildung 54	Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), $\text{pH}_{20\text{min}}$ - und $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $\text{LF}_{24\text{h}}$ ), Scherkraft ( $F_{\text{max}}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24\text{h}}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ) von <i>Gallus gallus gallus</i> und <i>Meleagris gallopavo</i> .....	S. 114
Abbildung 55	Einfluss des Tropfsaftverlustes (TSV), des Rotwert ( $a^*_{24\text{h}}$ ) sowie des $\text{pH}_{20\text{min}}$ -Wert auf die altersabhängige Verteilung von <i>Gallus gallus gallus</i> (Kennnummer 1) und <i>Meleagris gallopavo</i> (Kennnummer 2) .....	S. 114

## Einleitung

### **I. Einleitung**

Die Muskulatur ist neben der Haut und den Knochen das größte gleichartige System eines Organismus. Hierbei kann die Kontraktion der Muskeln für die Bewegung des Körpers, die Statik und die Wärmeproduktion genutzt werden. In der Muskulatur von Tieren hat der Mensch zudem eine Nahrungsquelle. Durch gezielte Verpaarung von Tieren mit einem besonders guten Muskelansatz wurden unter den landwirtschaftlichen Nutztieren spezielle Fleischrassen herausgezüchtet. Dass aus den Muskeln der Tiere für den Menschen nutzbares Fleisch entsteht, liegt an einer Vielzahl biochemischer Prozesse, die nach dem Tod des Organismus ablaufen. Aufgrund der Komplexität dieser Abläufe kann es zu Fehlern bei der Fleischbildung kommen. Sie können jedoch ebenso aufgrund genetischer Dispositionen oder durch den Einfluss von exogenen Faktoren, wie z.B. der Haltung und dem Schlachtvorgang, beeinflusst werden. Die heute wichtigsten Nutztiere für die Fleischerzeugung sind in Deutschland Schweine und Rinder sowie das Mastgeflügel mit dem Broiler (*Gallus gallus gallus*) und der Pute (*Meleagris gallopavo*).

In dieser Arbeit sollen die biochemischen Vorgänge, die zur Fleischbildung beitragen, betrachtet werden. Neben den biochemisch-physiologischen Vorgängen sollen auch pathologische Änderungen im Stoffwechsel betrachtet werden, welche sich auf die Fleischbildung auswirken. Das Geflügel wurde gewählt, weil in den letzten Jahren der Verbrauch an Geflügelfleisch deutlich gestiegen ist. Ein erster starker Anstieg konnte nach der BSE Krise beobachtet werden. Die Bevorzugung von Lebensmitteln mit geringerem Fettgehalt hat sich ebenfalls positiv auf den Absatz von frischem Geflügelfleisch ausgewirkt. Verkauft wird das Geflügelfleisch heute vermehrt in Form von Teilstücken, wobei vor allem der große Brustmuskel und die Schenkel vermarktet werden. Neben einem Verkauf an der Fleischtheke wird heutzutage Frischfleisch vermehrt in SB-Verpackungen angeboten. In diesen Abpackungen sind meist mehrere Teilstücke enthalten, welche in der Regel von verschiedenen Schlachttieren stammen. Zwischen den einzelnen Stücken, aber auch zwischen verschiedenen Verpackungen, können Unterschiede in der Farbhelligkeit des Fleisches sichtbar werden. Die Fleischfarbe ist jedoch das Hauptkriterium, nach dem der Verbraucher die Qualität von Frischfleisch beurteilt. Die sichtbaren Variationen der Fleischfarbe sind für den Verbraucher nicht erklärbar und führten zu wiederholten Reklamationen im Lebensmitteleinzelhandel. Ziel der Industrie ist eine Sortierung der Fleischstücke, vor allem des Brustmuskels, nach ihrer Farbe vorzunehmen.

## Einleitung

Farbvariationen sind als ein Aspekt der Fleischbeschaffenheit durch biochemisch-physiologische Prozesse beeinflussbar. Der pH-Wert ist hierbei einer der wichtigsten Faktoren, die diese Prozesse beeinflusst. Der pH-Wert in der Muskulatur wird nach der Schlachtung durch die Anreicherung von Laktat gesenkt, welches durch die anaerob ablaufende Glykolyse gebildet wird. Hierbei bestimmt das Vorhandensein von Energiereserven, in welchem Maß Laktat gebildet werden kann. Der Transport des Schlachttieres, d.h. Transportzeit und -bedingungen, beeinflusst dessen Stoffwechsel und wirken sich somit auf die Energiereserven aus. Die Konstitution des Schlachttieres und seine Stresstoleranz spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Die Auswirkungen von Stress wurden in der Schweinezucht durch das Auftreten von PSE-Fleisch erkannt. Bei diesem Qualitätsmangel ist das Fleisch blass (**P<sub>ale</sub>**), weich (**S<sub>oft</sub>**) und wässrig (**E<sub>xudative</sub>**). Ursache hierfür ist eine gesteigerte Bildung von Laktat durch eine hohe Stoffwechselrate. Aufgrund dessen sinkt der pH-Wert nach der Schlachtung schneller ab. Dies wirkt sich negativ auf die biochemisch-physiologischen Prozesse, welche die Fleischbildung und -reifung beeinflussen, aus. Die Züchtung auf einen immer höheren Muskelanteil und die dadurch bedingte Hypertrophie des Muskels führen zu einer Änderung in der Muskelphysiologie. Ein Resultat dessen ist das bei Schweinen auftretenden „Porcine-Stress-Syndrom“, das zur Bildung von PSE-Fleisch führen kann. Bei der Züchtung von Mastgeflügel wurde in den letzten Jahren ebenfalls vermehrt auf Muskelansatz, und hier vor allem auf die Ausprägung des Brustmuskels, selektiert. In diesem Zusammenhang wurde das Auftreten eines Qualitätsmangels, der dem PSE beim Schwein ähnlich ist, dokumentiert. In der Literatur wird dieser Mangel in der Fleischbeschaffenheit oftmals als PSE-like bezeichnet. Aufgrund der unterschiedlichen physiologischen Voraussetzungen, wie der blassen Farbe und dem geringen Tropfsaftverlust des Geflügelfleisches im Vergleich zum Schweinefleisch, wird eine Homologisierung dieser beiden Fleischqualitätsmängel nicht von allen Autoren geteilt. Daneben ist eine Abgrenzung von normalen physiologischen Schwankungen der Fleischbeschaffenheit zu pathologisch verändertem Fleisch schwierig. Die Darstellung der normalen physiologischen Bandbreite der Farbhelligkeit und anderer Parameter der Fleischbeschaffenheit, wie dem Tropfsaftverlust, kann hierbei helfen pathologische Veränderungen im Muskel besser zu erkennen.

# Literaturübersicht

## II. Literaturübersicht

### 2.1. Die Muskulatur

Das Muskelgewebe ist eines der vier Hauptgewebearten des Körpers. Daneben gibt es noch das Epithel- und Drüsengewebe, das Binde- und Stützgewebe, zu dem auch das Fettgewebe gerechnet wird, und das Nervengewebe. Hierbei wird bei dem Muskelgewebe zwischen der glatten Muskulatur sowie der Herz- und der Skelettmuskulatur unterschieden, wobei die beiden letzteren aufgrund der Anordnung ihrer Myofibrillen auch als quergestreifte Muskulatur bezeichnet werden (Huxley and Hanson, 1954; Schmidt and Thews, 1993). Die nachfolgende Abbildung (Abb.01) beinhaltet je eine Abbildung der einzelnen Muskelarten (Junquera, 1996) sowie ausgewählte Eigenschaften des jeweiligen Muskelgewebes.

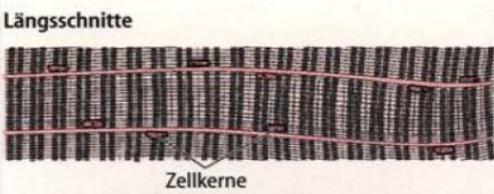
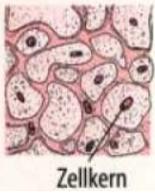
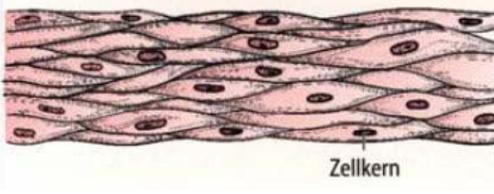
<u>Skelettmuskulatur</u>		
 <p>Längsschnitte</p> <p>Zellkerne</p>	 <p>Querschnitte</p> <p>Zellkerne</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- viele periphere Zellkerne</li><li>- Sarkolemm vorhanden</li><li>- keine Zell-Zell-Kontakte</li><li>- Querstreifung</li><li>- Innervation durch motorische Endplatte</li></ul>
<u>Herzmuskulatur</u>		
 <p>Zellkern Discus intercalaris</p>	 <p>Zellkern</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- zentraler Zellkern</li><li>- Sarkolemm vorhanden</li><li>- Zell-Zell-Kontakte</li><li>- Querstreifung</li><li>- Innervation durch vegetatives NS</li></ul>
<u>glatte Muskulatur</u>		
 <p>Zellkern</p>	 <p>Zellkern</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- zentraler Zellkern</li><li>- kein Sarkolemm</li><li>- Zell-Zell-Kontakte</li><li>- keine Querstreifung</li><li>- Innervation durch vegetatives NS</li></ul>

Abb.01: Darstellung der Muskelarten und ihrer wichtigsten Unterschiede (Junquera, 1996)

Die weiteren Ausführungen über die Entstehung und die Arbeitsweise der Muskulatur werden sich im Wesentlichen auf die Skelettmuskulatur beziehen, da diese für die hier vorliegende Arbeit wichtig ist.

## Literaturübersicht

### 2.1.1. Pränatale und postnatale Entwicklung der Muskulatur

Während der embryonalen Entwicklung erfolgt die Bildung der Muskulatur durch Hyperplasie. Hierbei werden die Vorläuferzellen des Muskelgewebes aus dem Mesoderm, welches zwischen dem inneren Endoderm und dem äußeren Ektoderm liegt, gebildet. Die Vorläuferzellen der Skelettmuskulatur werden als Myoblasten bzw. Sarkoblasten bezeichnet und entwickeln sich aus den Prämyoblasten, die im Myotom gebildet werden. Die einzelligen Myoblasten bilden durch Fusion, über eine Zwischenform, die als Myotuben bezeichnet werden, die vielkernige Muskelzelle. Bei den Myotuben kann hierbei zwischen den primären, welche später die roten Muskelfasern (Typ I) bilden, und den sekundären Myotuben unterschieden werden. Die letztgenannten bilden die Muskelfasern des Typs II, die sich in weiße und intermediäre Fasern aufteilen. Während der pränatalen Entwicklung können sich diese Fasern noch in Fasern des Typs I umwandeln (Rehfeldt, 2000). Zum Zeitpunkt der Geburt / des Schlupfes ist die maximale Anzahl an Muskelfasern festgelegt, wobei die als Satellitenzellen bezeichneten Myoblasten, welche unter der Basalmembran liegen, im Fall einer Verletzung der Muskulatur neue Muskelfasern bilden können. Das postnatale Wachstum der Muskulatur erfolgt durch Hypertrophie, bei der die bereits vorhandenen Muskelzellen an Länge und Dicke zunehmen. Hierbei kann es zu einer artspezifischen Umdifferenzierung der Muskelfasertypen kommen, wobei der Anteil an weißen Muskelfasern steigt, während der Anteil der roten und der intermediären Muskelfasern sinkt (Wicke et al., 2007).

### 2.1.2. Die Skelettmuskulatur

Der Muskel setzt sich aus Wasser (~75%), Proteinen (~20%) und Lipiden (~5%) sowie Kohlehydrate, Vitamine und Mineralien zusammen (Offer and Trinick, 1983). Die einzelne Skelettmuskelzelle ist länglich, 10 bis 100 µm dick und kann einige cm lang sein (Wicke et al., 2007). Umhüllt wird sie von einer Zellmembran, die als Sarkolemm bezeichnet wird. Im Lichtmikroskop wird die Querstreifung des Skelettmuskels durch die Unterscheidung der dunklen A-Banden (anisotrop) und der hellen I-Banden (isotrop) wahrgenommen (Wicke et al., 2007). Abhängig davon, welche Überlagerungen von dicken Filamenten (Myosin) oder dünnen Filamenten (Aktin) vorliegen, kann man elektronenmikroskopisch verschiedene Zonen unterscheiden, welche in der nachfolgenden Abbildung (Abb.02) dargestellt sind.

## Literaturübersicht

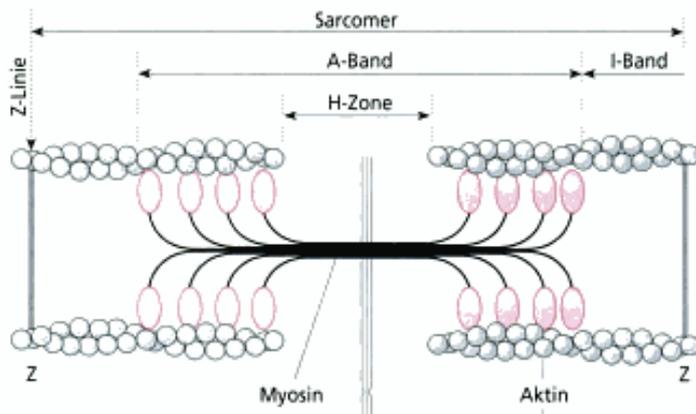


Abb.02: Aufbau des Sarkomer mit Bezeichnung der jeweiligen Teilabschnitte (von Engelhard und Breves, 2000)

Das Sarkomer wird an beiden Enden von einer Z-Scheibe begrenzt. Mit dieser ist das dünne Aktinfilament verbunden, welches in zwei benachbarte Sarkomere reicht. Das dicke Myosinfilament befindet sich zwischen zwei Z-Scheiben und ist über das elastische Protein Titin mit diesen verbunden. Rechts und links neben der H-Zone stehen das Aktin- und das Myosinfilament in direktem Kontakt miteinander. Die Kontraktion der Muskelfasern wird durch das „Aneinandervorbeigleiten“ der Filamente bewirkt. Die Energie für eine Bewegung stammt aus der Spaltung eines Moleküls ATP (Adenosintriphosphat) zu ADP (Adenosindiphosphat). Ausgelöst wird dies durch ein Aktionspotential, das an der motorischen Endplatte von einer Nervenzelle auf eine Muskelfaser übertragen wird und an der Membran der Muskelzelle ein Aktionspotential auslöst. Als Reaktion auf das Aktionspotential erfolgt eine Freisetzung von Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )-Ionen aus dem Sarkoplasmatischen Retikulum (SR). Diese  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen vermitteln über eine Konformationsänderung, bei der die Bindungsstelle für den Myosinkopf am Aktin freigegeben wird, die Interaktion zwischen den Filamenten (Dulhunty, 1992b; Königshof and Brandenburger, 2007). Hierbei bindet das Myosinköpfchen in einem Winkel von  $90^\circ$  an das Aktinfilament. Im nächsten Schritt wird das, an das Myosinköpfchen gebundene, ATP in  $\text{ADP} + \text{P}$  gespalten, wodurch das Myosinköpfchen in einen  $45^\circ$  Winkel kippt. Da das Myosinköpfchen fest gebunden ist, zieht es durch die Kippbewegung das Aktinfilament in Richtung der H-Linie. Zum lösen des Aktin-Myosin-Komplexes ist ATP nötig, wodurch das Myosinköpfchen wieder in einen  $90^\circ$  Winkel kippt. Mit Hilfe der  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase werden die freigesetzten  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen anschließend zurück in das Sarkoplasmatische Retikulum transportiert.

## Literaturübersicht

Die Muskelfasern der Skelettmuskulatur können aufgrund ihrer Aktivität in drei Gruppen unterteilt werden (Bechtel, 1986; Dransfield and Sosnicki, 1999). Die roten Muskelfasern, auch als Typ I oder STO (slow twitch oxidative) bezeichnet, haben einen geringen Faserdurchmesser. Ihre Energiegewinnung erfolgt hauptsächlich über den oxidativen Stoffwechsel. Sie kontrahieren langsam und ihr Gehalt an Mitochondrien ist sehr hoch. Die rote Farbe ist auf einen hohen Gehalt an Myoglobin zurückzuführen, das Sauerstoff transportieren und speichern kann. Die hohe Mitochondriendichte und die gute Versorgung mit Sauerstoff sorgen dafür, dass die rote Muskulatur sehr ausdauernd arbeitet. Die weißen Muskelfasern, die auch als Typ IIb oder FTG (fast twitch glycogen) bezeichnet werden, haben einen großen Faserdurchmesser. Die Energiegewinnung erfolgt hauptsächlich über den glykolytischen Stoffwechselweg. Diese Muskelfasern können schneller kontrahieren als dies bei den roten Muskelfasern der Fall ist. Sie haben jedoch weniger Mitochondrien und die weiße Farbe der Muskulatur zeigt, dass auch der Gehalt an Myoglobin geringer ist. Aufgrund des geringeren Sauerstoffspeichers ermüden sie schneller als die rote Muskulatur. Die intermediären Muskelfasern, auch als Typ IIa Fasern oder FTO (fast twitch oxidative) bezeichnet, liegen mit ihren Eigenschaften zwischen den weißen und den roten Muskelfasern. Die nachfolgende Tabelle (Tab.01) zeigt einige Eigenschaften der genannten Muskelfasertypen im Vergleich.

Tab.01: Einteilung der drei Muskelfasertypen nach ausgewählten Eigenschaften

Eigenschaften	weiße Muskelfasern	intermediäre Muskelfasern	rote Muskelfasern	Quelle
Myoglobingehalt	niedrig	hoch	hoch	Bechtel (1986); Dransfield und Sosnicki (1999)
Durchmesser der Fasern	groß	intermediär	gering	Bechtel (1986); Dransfield und Sosnicki (1999)
Kontraktionsgeschwindigkeit	schnell	schnell	langsam	Bechtel (1986)
Stoffwechsel	glykolytisch	intermediär	oxidativ	Dransfield und Sosnicki (1999)
Anzahl der Mitochondrien	niedrig	intermediär	hoch	Bechtel (1986)
Größe der Mitochondrien	klein	intermediär	groß	Bechtel (1986)
Dichte der Blutkapillaren	niedrig	intermediär	hoch	Bechtel (1986)
weitere Bezeichnungen	FTG; Typ IIb	FTO; Typ IIa	STO; Typ I	Bechtel (1986); Loeffler (2002)

## Literaturübersicht

Der Anteil an glykolytischen und oxidativen Fasern ist an die Beanspruchung der Muskulatur angepasst. Bei Masthuhn und Truthuhn besteht die Brustmuskulatur nur aus FTG Fasern (Wiskus et al., 1976; Branciarri et al., 2009), da sich diese Vögel hauptsächlich laufend fortbewegen. Enten hingegen sind ausdauernde Flieger, ihre Brustmuskulatur kann einen Anteil von 75 % an oxidativen Fasern aufweisen (Kisiel and Książkiewicz, 2004).

Für die Energiegewinnung des Muskels werden die durch die Nahrung aufgenommenen Bestandteile, wie Kohlehydrate und Fette, durch die Verdauung in ihre Monomere gespalten. Anschließend wird das Monomer, wie Glukose, bei Anwesenheit von Sauerstoff über den Weg der Glykolyse in Pyruvat und anschließend über den Citratzyklus in  $\text{CO}_2$  und Wasser oxidiert. Ein großer Teil der hierbei freigesetzten Energie wird genutzt, um während der Atmungskette Phosphat an AMP oder ADP zu binden. Durch die Abspaltung der Phosphate kann die Energie später wieder freigesetzt werden. Das Adenosintriphosphat (ATP) und das Phosphocreatin (PCr) sind die universellen Energiespeicher und -überträger der Zelle. Hierbei wird die Energie durch die hydrolytische Abspaltung von einem der vorhandenen Phosphate freigesetzt. Die Bildung von ATP erfolgt durch die Glykolyse und die oxidative Phosphorylierung in den Mitochondrien. Diese werden maternal vererbt, sind von zwei Membranen umgeben und besitzen ihr eigenes Erbgut. In den Zellen kommen sie je nach Energiebedarf in unterschiedlicher Zahl vor. In der Herzmuskulatur und in der roten Muskulatur sind sie, ebenso wie in Nerven und Sinneszellen, besonders zahlreich vorhanden. Über die äußere Membran findet der Austausch von Ionen und Molekülen zwischen dem Mitochondrium und dem Zytosol der Zelle statt. Die innere Membran ist stark gefaltet, wodurch es zu einer Oberflächenvergrößerung kommt, und sie umschließt einen Matrixraum, in dem das Genom sowie die Enzyme des Citratzyklus lokalisiert sind. An der inneren Membran sind die Proteinkomplexe für die Atmungskette lokalisiert (Alberts et al., 2004).

Die Glykolyse (Abb.05) ist ein Prozess aus 10 Teilschritten, in dessen Verlauf aus einem Molekül Glucose 2 Moleküle Pyruvat hergestellt werden. Der Reaktionsablauf kann hierbei in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase müssen 2 ATP investiert werden, während es in der zweiten Phase zur Synthese von 4 ATP kommt.

## Literaturübersicht

Im ersten Schritt der Glykolyse wird durch eine Phosphorylierung Glukose zu Glukose-6-Phosphat. Aufgrund dieser Umwandlung sinkt der Gehalt an Glukose in der Zelle, so dass die Aufnahme von neuer Glukose aufgrund des Gefälles begünstigt wird. Die Phosphofruktokinase katalysiert die Phosphorylierung von Fructose-6-Phosphat in Fructose-1,6-bisphosphat (Schritt 3 in Abb.03). Sie kann durch ATP und Citrat gehemmt werden und ist so aktiv an der Steuerung der Glykolyse beteiligt (Alberts et al., 2004; Königshof and Brandenburger, 2007). Das Fructose-1,6-bisphosphat wird im nächsten Schritt in 2 Triosephosphate, dem Dihydroxyacetonphosphat (DHAP) und dem Glycerinaldehyd-3-Phosphat (GAP), gespalten (Schritt 5 in Abb.03), wobei das DHAP anschließend isomerisiert wird, so dass es ebenfalls als GAP vorliegt. Die anschließende Abbildung (Abb.03) zeigt die Schritte der 1. Phase der Glykolyse.

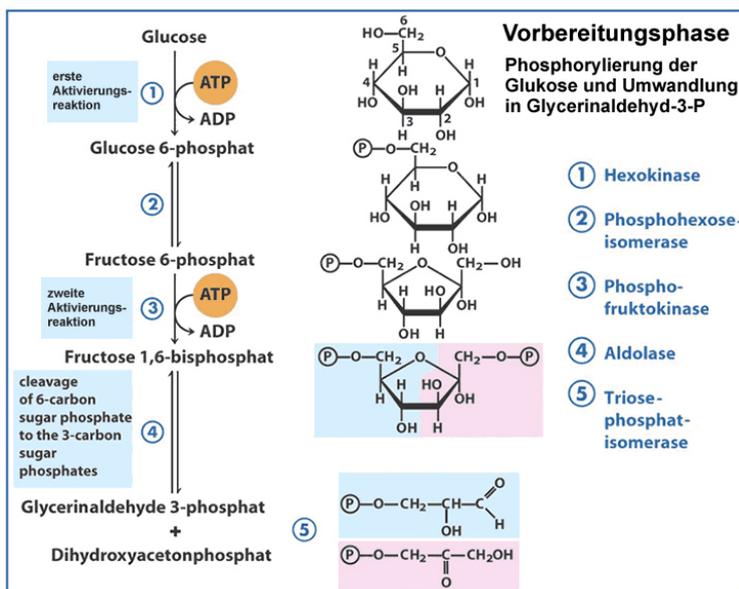


Abb.03: Darstellung der Schritte 1 - 5 der Glykolyse (<http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-03.html>)

In der zweiten Phase der Glykolyse (Abb.04) wird jedes der beiden GAP in ein Molekül Pyruvat umgewandelt. Hierbei werden zusätzlich pro GAP 2 ATP sowie 1 NADH und 1 Wassermolekül gebildet.

## Literaturübersicht

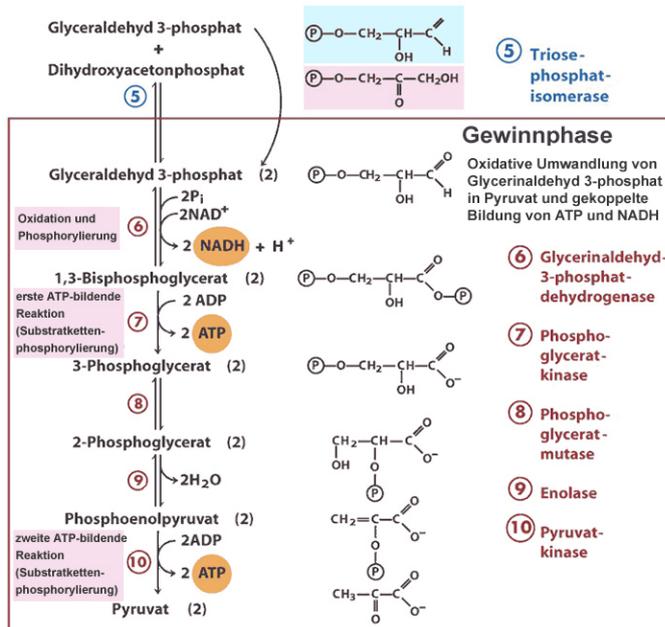


Abb.04: Darstellung der Schritte 6 - 10 der Glykolyse (<http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-03.html>)

Im anaeroben Stoffwechsel wird das Pyruvat zu Laktat reduziert, wobei gleichzeitig 2 NADH oxidiert werden. Die Bildung von Laktat ist in der Muskulatur ein Mechanismus um das in der Glykolyse anfallende NADH zu oxidieren, damit es anschließend wieder verwendet werden kann. Im lebenden Organismus kann das Laktat in der Leber zu Glukose umgewandelt werden, welches dann erneut in die Glykolyse eingeschleust wird. Nach dem Tod eines Organismus fehlt diese Umwandlung, so dass sich Laktat in den Muskelzellen akkumuliert und so der pH-Wert sinkt (Briskey and Wismer-Pedersen, 1961; Briskey et al., 1966).

Im aeroben Stoffwechsel wird das Pyruvat durch Transporter in die Mitochondrien überführt. Hier findet eine oxidative Decarboxylierung statt, bei der das Acetyl aus dem Pyruvat auf ein Coenzym A übertragen wird. Mit Hilfe der Pyruvat-Dehydrogenase-Komponenten wird so Acetyl CoA gebildet, welches in den Citratzyklus (Abb.05) eingeschleust und schrittweise in Oxalacetat umgebildet wird. Die hierbei freigesetzten Elektronen und Wasserstoffionen werden auf  $\text{NAD}^+$  und  $\text{FAD}^+$  übertragen. In der Atmungskette werden diese Reduktionsäquivalente oxidiert und die so freiwerdenden Elektronen und Wasserstoffionen stufenweise auf Sauerstoff übertragen. Hierbei entsteht durch die Übertragung der Elektronen über die Mitochondrienmembran ein Protonengradient, dessen Energie verwendet wird, um Phosphat an ADP zu binden und so ATP herzustellen (Alberts et al., 2004).

## Literaturübersicht

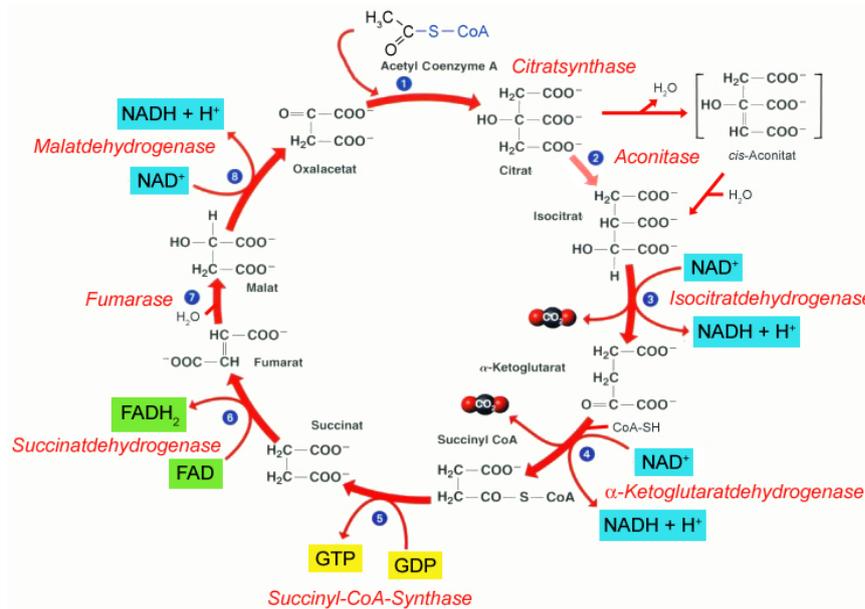


Abb.05: Zitratzyklus mit Darstellung der Bildung von Reduktionsäquivalenten (<http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/LEHRE/pages/Sem-3/Glykolyse-01.html>)

Die Atmungskette (Abb.06) ist der abschließende Schritt bei der aeroben Bildung von ATP. Sie ist ein Elektronentransportsystem, bei dem ein Protonengradient erzeugt wird, welcher dann die Energie liefert, um mit Hilfe der ATP-Synthase Phosphat an ADP oder AMP zu binden. Die für diese Redoxreaktion nötigen Enzyme sind auf der inneren Mitochondrienmembran lokalisiert. Für den Aufbau des Membranpotentials sind Wasserstoffionen nötig. Diese werden im Citratzyklus freigesetzt, an Reduktionsäquivalente wie NADH gebunden und im ersten Schritt der Atmungskette wieder freigesetzt.

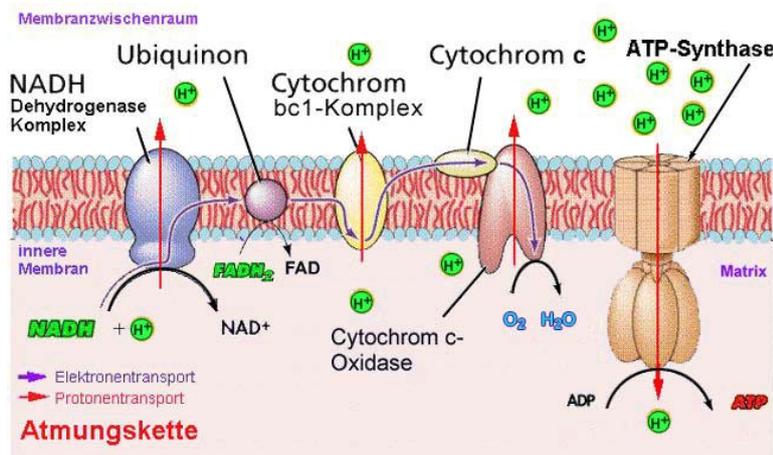


Abb.06: Ablauf der Atmungskette (<http://www.biokurs.de/skripten/12/bs12-23.htm>)

## Literaturübersicht

Die Atmungskette ist eine Elektronentransfer-Reaktion, bei der Protonen auf molekularen Sauerstoff übertragen werden, wobei Wasser gebildet wird. Gleichzeitig wird ein elektrochemisches Potential über der Membran erzeugt, welches die Antriebskraft für die ATP-Synthase ist. Um den Gradienten zu erzeugen sind 4 Enzymkomplexe, bezeichnet als Komplex I bis IV sowie das Ubichinon und das Cytochrom C nötig. Bis auf den Komplex II, der in der Membran liegt, verlaufen die Komplexe durch die Mitochondrienmembran, so dass Elektronen über die Membran transportiert werden können. Durch die Übertragung von Elektronen über das gesamte Redoxsystem ändert sich schrittweise das Energieniveau.

Ein Problem, das durch den Übertrag von Elektronen und Wasserstoffionen auf Sauerstoff entsteht, ist die Bildung von Sauerstoffradikalen und nicht-radikalen Sauerstoffverbindungen. Diese sind sehr reaktiv und können durch Bindung an Proteine und Enzyme deren Funktion durch Konformationsänderung beeinträchtigen.

### 2.1.3. Reaktive Sauerstoffspezies und antioxidative Enzyme

In den meisten Reaktionsabläufen werden von der Cytochrom c Oxidase (COX) vier Elektronen übertragen, wodurch in Reaktion mit Sauerstoff und Wasserstoffionen Wasser gebildet wird. Bei der Übertragung von weniger als 4 Elektronen können reaktive Verbindungen, wie das Wasserstoffperoxid, das Superoxid oder das Hydroxyl gebildet werden (De Bono, 1994). Diese reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) haben das Bestreben Elektronen aufzunehmen oder abzugeben, um so eine stabile Zustandsform zu erreichen (Cheeseman and Slater, 1993). Die nachfolgende Abbildung (Abb.07) zeigt den Bildungsweg von ROS, ausgehend vom Dioxygen, durch Übertragung von Elektronen und die Aufnahme von Wasserstoffionen (Apel and Hirt, 2004).

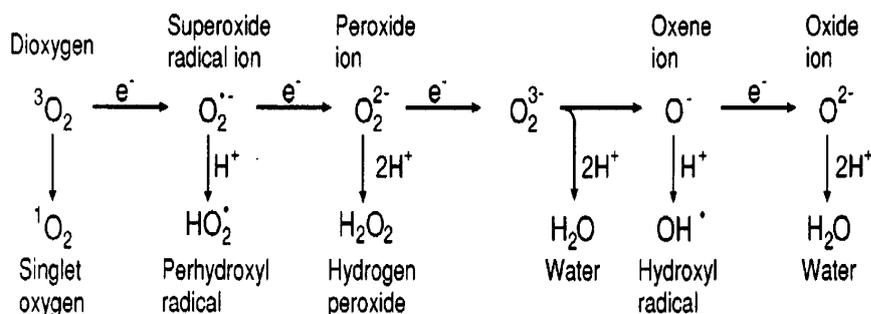


Abb.07: Mögliche Bildungswege von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) durch Elektronenübertragung und Aufnahme von Wasserstoffionen (Apel and Hirt, 2004)

## Literaturübersicht

Aufgrund der Instabilität der ROS, welche durch die ungünstige Anzahl an Elektronen zustande kommt, sind diese bestrebt durch Bindung an andere Moleküle die überzähligen Elektronen abzugeben bzw. fehlende Elektronen aufzunehmen. Hierbei können sie die Zelle schädigen, indem sie Proteine oder Enzyme oxidieren oder reduzieren. Durch die hierbei stattfindende Konformationsänderung können die Proteine bzw. Enzyme ihre Aufgaben in der Zelle nicht mehr wahrnehmen. Um diese Schädigungen zu verhindern, gibt es in der Zelle antioxidative Systeme. Diese werden ebenfalls oxidiert bzw. reduziert, wodurch die ROS aufgrund der Elektronen Aufnahme oder Abgabe stabilisiert werden. Dieser gezielte Elektronentransfer verhindert eine Reaktion mit anderen Zellbestandteilen. Von oxidativem Stress spricht man, wenn es zu einem Ungleichgewicht zwischen dem oxidativen und dem antioxidativen System kommt. Dies kann durch eine Reduktion des antioxidativen Systems oder durch eine Steigerung der ROS-Bildung erfolgen (Cheeseman and Slater, 1993; Behrend et al., 2003; Apel and Hirt, 2004)

Bei dem antioxidativen System unterscheidet man zwischen Antioxidantien und antioxidativen Enzymen (Mahmoud and Hijazi, 2007). Zu den Antioxidantien zählen das Vitamin C und E, die mit der Nahrung aufgenommen werden, sowie das Glutathion, das Ubichinon, die Harnsäure und das Bilirubin, welche der Körper selber bilden kann. Diese Substanzen, mit Ausnahme des Glutathion, sind keine spezifischen Antioxidantien, können jedoch aufgrund ihrer Struktur Elektronen aufnehmen bzw. abgeben. Zu den antioxidativen Enzymen gehören die Superoxid-Dismutase und die Katalase sowie die Glutathion-Reduktase und die Glutathion-Peroxidase (Mahmoud and Hijazi, 2007). Die Aufnahme oder Abgabe von Elektronen kann reversibel sein, so dass nach einer weiteren Oxidation bzw. Reduktion das Antioxidants seine ursprüngliche Konformation wieder erlangt und somit erneut Elektronen aufnehmen oder abgeben kann. Im Gegensatz dazu entsteht bei einer kovalenten Bindung zwischen dem Radikal und dem Antioxidants, z.B. dem Vitamin C, oder auch zwischen zwei ROS, ein neues Molekül, welches stabil ist. Der Antioxidants kann bei dieser Reaktion nur einmal eingesetzt werden.

Die nachfolgende Abbildung (Abb.08) zeigt eine Zusammenfassung der Bildung von Superoxid sowie Schritte zum Abbau dieses Radikals. Ebenfalls dargestellt sind mögliche Bildungswege des Superoxids sowie mögliche Schädigungen an der Zelle durch Hydroxyl, welches aus Superoxid entstehen kann.

## Literaturübersicht

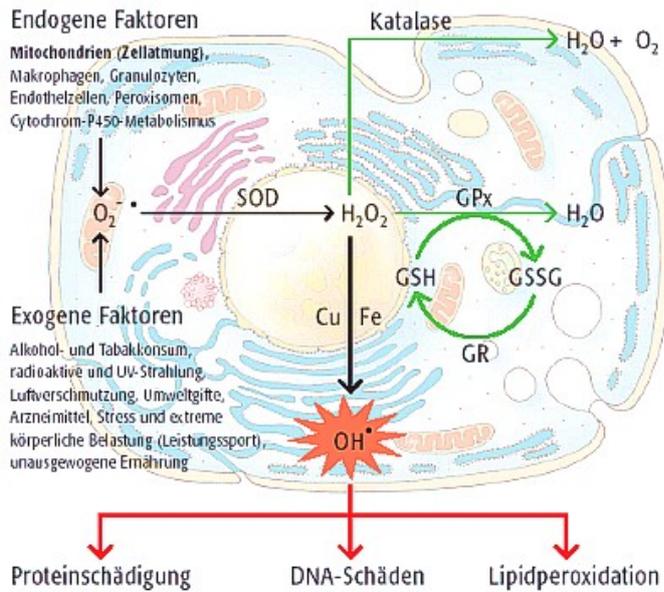
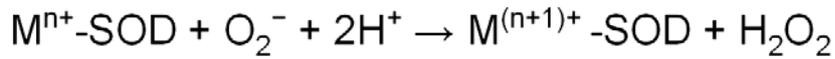
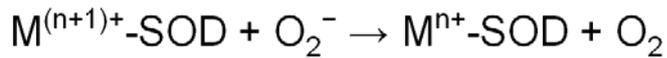


Abb.08: Bildung und Neutralisierung von Superoxid in der Zelle sowie Nennung möglicher Schäden, die durch Superoxid in der Zelle entstehen können (<http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index>)

Eines der wichtigsten ROS ist das hochreaktive Superoxid-Anion, welches durch die Übertragung von einem Elektron auf molekularen Sauerstoff entsteht. Die Superoxid-Dismutase (SOD) katalysiert die Übertragung von Elektronen zwischen Superoxid-Anionen, wobei durch die Reaktion mit Wasserstoffionen das weniger reaktive Wasserstoffperoxid entsteht (Beauchamp and Fridovich, 1971). Das Enzym Superoxid-Dismutase enthält in seinem aktiven Zentrum Kupfer, Zink, Mangan oder Eisen (Beyer and Fridovich, 1987; Nebot et al., 1993; Kim et al., 2007). In Zellen von Säugetieren und in anderen eukaryotischen Zellen wurden bislang drei unterschiedliche Isoformen der SOD, die als SOD 1, SOD 2 und SOD 3 bezeichnet werden, beschrieben (Fridovich, 1989; Zelko et al., 2002). Zwei der Isoformen enthalten Kupfer und Zink in ihrem aktiven Zentrum. Die SOD 1 oder CuZn-SOD kommt im Intrazellularraum und den Lysosomen vor, während die SOD 3 oder EC-SOD im Extrazellularraum lokalisiert ist. Die SOD 2 oder Mn-SOD enthält dagegen Mangan. Sie kommt ausschließlich in den Mitochondrien vor. In Prokaryoten und einigen Pflanzenfamilien wurde daneben noch eine SOD beschrieben, deren aktives Zentrum ein Eisenatom enthält (Fridovich, 1989).

Der Reaktionsablauf (Abb.09), bei dem die SOD Superoxid neutralisiert, ist eine Disproportionierung, die in zwei Schritten abläuft. Die SOD ist hierbei Reduktions- und Oxidationsmittel nacheinander.

## Literaturübersicht



Hierbei können Kupfer (Cu) mit  $n = 1$  oder Mangan (Mn), Eisen (Fe) oder Nickel (Ni) mit  $n = 2$  im aktiven Zentrum vorliegen.

Abb.09: Darstellung des zweistufigen Reaktionsablaufes der Superoxid-Dismutase (SOD) mit Superoxid ( $O_2^-$ ) und Bildung von Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ )

Im ersten Schritt wird das Elektron eines Superoxid-Anions an das Metall-Ion der SOD gebunden. Durch den Übertrag des Elektrons wird die SOD reduziert und das Superoxid zu molekularem Sauerstoff reduziert. In der zweiten Reaktion gibt die SOD das Elektron an ein weiteres Superoxid-Anion ab, wobei durch die gleichzeitige Reaktion des Superoxids mit 2 Wasserstoffionen ein Wasserstoffperoxid gebildet wird. Nach der Abgabe des Elektrons liegt die SOD wieder in ihrer Ursprungsform vor und kann ein weiteres Superoxid-Anion aufnehmen und dessen Elektron an sich binden (Beauchamp and Fridovich, 1971; Bowler et al., 1992; Fridovich, 1989). Der Nachweis der SOD kann über eine Farbreaktion erfolgen, in der das Superoxid mit einem Bromid reagiert, wodurch ein photometrisch detektierbarer Farbstoff entsteht. Die Anwesenheit von Superoxid-Dismutase reduziert hierbei die Farbreaktion (Beyer and Fridovich, 1987; Šimonovičová et al., 2004).

Das durch Stoffwechselprozesse und durch die SOD gebildete Wasserstoffperoxid wird in der Zelle durch das Glutathion System oder Katalasen neutralisiert (Otto-Knapp et al., 2003). Glutathion ist ein selenhaltiges Tripeptid aus den Aminosäuren Glutamat, Cystein und Glycin. Die freie SH-Gruppe des Cysteins ist hierbei die Bindungsstelle für fast alle Reaktionen, an denen das Glutathion beteiligt ist (Rassner, 1972). Im Stoffwechsel kann es auf nicht enzymatischem Weg Met-Hämoglobin zu Hämoglobin reduzieren (Michot and Marti, 1966), wobei die Erythrozyten das Glutathion selber bilden (Beutler, 1975). Im enzymatischem Weg dient es als Cofaktor der Glutathion-Peroxidase (GP) bei der Disproportionierung von Wasserstoffperoxid. Während dieser Reaktion wird es oxidiert und muss, bevor es erneut mit einem Wasserstoffperoxid reagieren kann, von der Glutathion-Reductase (GR) regeneriert werden. Die GP gehört zu den Peroxidasen, ist ein Tetramer und besitzt ein Selen als Cofaktor im aktiven Zentrum. In eukaryotischen Zellen kommt es im Zytoplasma und in den Mitochondrien vor (Michiels et al., 1994).

## Literaturübersicht

### 2.1.4. Postmortale Entwicklung der Muskulatur

Die postmortale Umwandlung von Muskulatur in Fleisch ist das Resultat einer Reihe von biochemischen Abläufen, die jedoch stark davon beeinflusst werden, in welcher metabolischen Situation das Schlachttier unmittelbar vor der Schlachtung war (von Lengerken et al., 2002). Nach der Schlachtung kommt der Blutkreislauf und damit auch die Sauerstoffversorgung der Zellen zum Erliegen. Bis zum vollständigen Verbrauch des noch in den Zellen vorhandenen Sauerstoffes läuft der Stoffwechsel aerob ab. Danach läuft der Stoffwechsel anaerob weiter, bis das noch vorhandene ATP aufgebraucht ist. Hierbei kommt es zu einer Anreicherung von Laktat, wodurch der pH-Wert sinkt und so die proteolytischen Prozesse im Muskel beeinflusst werden (Honikel, 1998). Durch den Verbrauch des ATP in der Muskulatur kommt es zur Ausbildung des Rigor Mortis, hierbei sind die Sarkomere verkürzt und das Fleisch ist unelastisch und zäh. Abhängig von Tierart und metabolischem Zustand des Tieres sind die Reserven an Glykogen unterschiedlich. Bei Geflügel konnte ein Abschluss des Rigor Mortis bereits nach 3 h p.m. gezeigt werden (Ma and Addis, 1973). Da eine Fleischverarbeitung erst nach dem Lösen der Totenstarre sinnvoll ist, wird in einigen Schlachthöfen eine Elektrostimulation des Schlachtkörpers durchgeführt. Hierbei wird durch das Anlegen von Strom eine Kontraktion der Muskulatur erzwungen, was zu einem schnelleren Verbrauch des noch vorhandenen ATP führt (Owens and Sams, 1997; Craig et al., 1999; Sams and Dzuik, 1999; Santé et al., 2000). Durch die Aktivität proteolytischer Enzyme löst sich der Rigor Mortis und die Fleischreifung setzt ein. Aufgrund der Reifung wird das Fleisch zarter und entwickelt sein artspezifisches Aroma. In Abhängigkeit von Spezies, Teilstück und Temperatur wird bei Geflügel eine Reifezeit von 4 bis 36 Stunden p.m. empfohlen (Sams and Dzuik, 1999; Honikel and Schwägele, 2007). Fleischeigene Stoffe, die das Aroma mit beeinflussen, sind das Kreatinphosphat und das ATP, die zu Geschmacksstoffen abgebaut werden. Im Verlauf der Reifung werden Aminosäuren, Proteine und Fette abgebaut, deren Spaltprodukte zum artspezifischen Geschmack beitragen (Honikel, 1986), ebenso wie das aus dem Glykogen gebildete Laktat. Die mit der Reifung zunehmende Zartheit des Fleisches erfolgt durch das Lösen des Aktin-Myosin-Komplexes, wobei der Hals des Myosin durch lysosomale Proteasen vom Myosinköpfchen getrennt wird, sowie durch die proteolytische Auflösung des Bindegewebes (Honikel, 1998).

## Literaturübersicht

Als Fleischqualität wird die Summe aller sensorischen (Textur, Aroma, Farbe), ernährungsphysiologischen (Eiweiß, Nährstoffe, Vitamine, Mineralien), hygienisch-toxikologischen (Keimzahl, Rückstände) und verarbeitungstechnologischen (Wasserbindevermögen, pH-Wert) Eigenschaften bezeichnet (Hoffmann, 1978). Aus naturwissenschaftlicher Sicht kann man über die eben genannten Eigenschaften die Qualität von Fleisch messen und sie dadurch objektiv beschreiben. Einfluss auf die Fleischqualität können exogene und endogene Faktoren haben. Zu den exogenen Faktoren zählen alle Einflüsse, die von außen auf das Masttier einwirken, wie Haltung, Futter und Transport zum Schlachthof, sowie Prozesse der Schlachtung. Hierzu zählen die Betäubung und das Ausbluten sowie die Verarbeitung des Fleisches, mit Kühlung und Lagerung. Endogene Faktoren sind hingegen der Protein- und Wassergehalt des Fleisches sowie die Zusammensetzung des Muskels hinsichtlich der Fasertypen und des Muskelfaserdurchmesser. Diese Eigenschaften sind in ihrer Gesamtheit auf den genetischen Hintergrund des Tieres sowie auf das Alter und das Geschlecht zurückzuführen.

Die objektiv messbaren Kriterien der Fleischqualität sind der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, der Tropfsaft und der Grillverlust sowie die Farbhelligkeit.

Der pH-Wert stellt den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoff-Ionen Konzentration dar und ist eine dimensionslose Zahl. Im lebenden Organismus liegt der pH-Wert im neutralen Bereich. Nach dem Tod des Organismus kommt es in der Muskulatur zu einem Absinken des pH-Wertes durch eine Anreicherung von Laktat und die bei der ATP-Hydrolyse freigesetzten Protonen (Briskey and Wismer-Pedersen, 1961; Briskey et al., 1966; Bendall, 1973). Der Stoffwechsel läuft nach dem Tod des Organismus noch anaerob weiter, wobei es Unterschiede zwischen den Muskelfasertypen gibt. Die roten Muskelfasern zeigen, im Gegensatz zu den weißen Muskelfasern, einen langsameren Abfall des pH-Wertes (Honikel, 1986). Dies liegt an der Art des Energiestoffwechsels der Muskel. Die rote Muskulatur deckt nur einen geringen Anteil ihres Energieverbrauches durch die glykolytische ATP-Herstellung, während die weißen Muskelfasern hauptsächlich diesen Weg nutzen und somit auch viel mehr der hierfür nötigen Enzyme besitzen. Dieser Unterschied sorgt dafür, dass nach der Schlachtung in den weißen Muskelzellen schneller Laktat gebildet werden kann, wohingegen in den roten Muskelzellen die Akkumulation langsamer stattfindet und so der pH-Wert langsamer sinkt. Einfluss auf die

## Literaturübersicht

Geschwindigkeit der pH-Wert Senkung hat auch die metabolische Situation des Tieres unmittelbar vor der Schlachtung sowie die Belastung des Organismus durch externe Einflüsse. McKee and Sams (1997) konnten zeigen, dass bei Hähnen der Putenmastlinie Nicolas der pH-Wert nach einem Hitzestress schneller sinkt als bei der Kontrollgruppe, die keinem Hitzestress ausgesetzt war. Durch das Sinken des pH-Wertes ändert sich das Milieu in den Muskelzellen, was sich auf die vorhandenen Enzyme und Proteine auswirkt. Zur Darstellung der Entwicklung des pH-Wertes und so auch zur Erkennung möglicher Fleischfehler wird der früh- und spätpostmortale pH-Wert des Schlachtkörpers ermittelt. Bei Schweinen erfolgt dies 45 min (frühpostmortal; pH<sub>1</sub>) und 24 h (spätpostmortal, pH<sub>2</sub>) p.m.. Bei Geflügel ist ebenfalls eine Bestimmung des pH<sub>2</sub> nach 24 h möglich, jedoch wird der pH<sub>1</sub> bereits 15 bis 20 min p.m. ermittelt, da hier aufgrund des hohen Anteils an glykolytischen Muskelfasern der pH-Wert nach der Schlachtung schneller sinkt (Honikel, 1986). Einige Tage nach der Schlachtung des Masttieres kommt es zu einem Anstieg des pH-Wertes. Dies ist auf den mikrobiellen Befall des Fleisches zurückzuführen, der je nach Lagerung und Handhabung unterschiedlich stark sein kann, was sich wiederum in einem unterschiedlichen pH Niveau äußert (Sielaff, 1996).

Die elektrische Leitfähigkeit (LF) ist ein Maß für die Integrität der Zellmembran und wird in hohem Masse vom pH-Wert beeinflusst (Hahn et al., 2001; Werner et al., 2008). Hierbei wird die Integrität der Zellmembranen aufgrund der Verschiebung im pH-Wert aus dem neutralen in den sauren Bereich beeinflusst. Eine Änderung der LF p.m. erfolgt durch ein Austreten von Elektrolyten aus den Zellen in den interzellulären Raum des Gewebes. Neben der Beeinflussung durch den pH-Wert wird die Stabilität und Durchlässigkeit der Zellmembran auch durch postmortal ablaufende proteolytische Prozesse verändert. Aufgrund der Freisetzung der Ionen in die Gewebeflüssigkeit und dem dadurch auftretenden elektrischen Potential ist die LF messbar. Sielaff (1996) konnte auch zeigen, dass die strukturellen Eigenschaften des Sarkolemm und die Temperatur des Fleisches die LF beeinflussen.

Die Farbe und die Helligkeit des Fleisches ist für den Verbraucher das Kriterium, das über die Kaufentscheidung bestimmt. Hierbei hat der Verbraucher unterschiedliche Vorstellungen, was die „richtige“ Farbe betrifft, je nachdem von welchem Nutztier das Fleisch stammt. Bei Geflügelfleisch bevorzugt er im Allgemeinen das hellere Fleisch, was er jedoch beim Kauf von Schweinefleisch nicht machen würde.

## Literaturübersicht

Die Farbhelligkeit des Fleisches wird durch Myoglobin (zu 95 %) und den Anteil der verschiedenen Myoglobinvarianten sowie durch Hämoglobin (zu 5 %) bestimmt (Reichardt et al., 2002). Myoglobin ist ein wasserlösliches, globuläres Hämoprotein, welches nur in der Skelett- und Herzmuskulatur vorkommt und eine 4x höhere Affinität zu Sauerstoff hat als Hämoglobin (Bekhit and Faustman, 2005). Im Unterschied zu Hämoglobin, das aus 4 gleichen Untereinheiten mit je einem Häm besteht, ist das Myoglobin ein Monomer (Kranen et al., 1999). Das Häm ist das aktive Zentrum und enthält ein Eisen ( $\text{Fe}^{2+}$ )-Ion, das an vier Stickstoff-Atome und ein Histidin gebunden ist. An der verbleibenden 6. Position kann das  $\text{Fe}^{2+}$ -Ion ein Sauerstoffatom binden, wodurch das eher blassrote Deoxymyoglobin zum hellen kirschroten Oxymyoglobin wird (Mancini and Hunt, 2005). Durch Oxidation des  $\text{Fe}^{2+}$  zu  $\text{Fe}^{3+}$  entsteht Metmyoglobin, welches keinen Sauerstoff mehr binden kann und dessen Farbe ein dunkles rot-braun ist. Durch Reduktion des  $\text{Fe}^{3+}$  zu  $\text{Fe}^{2+}$ , bei der die Metmyoglobin-Reduktase ein Elektron überträgt, entsteht wieder Myoglobin.

In der hier vorliegenden Arbeit wird die objektiv messbare Farbhelligkeit über das 1976 aus dem CIE-XYZ-Modell entwickelt  $L^*a^*b^*$ -System (Abb.10) dargestellt. Die Helligkeit ( $L^*$ ) steht in diesem System senkrecht zu den beiden Farbachsen und reicht von 0 (schwarz) bis 100 (weiß). Die Farbachsen sind unterteilt in die Rot-Grün-Achse ( $a^*$ ) und die Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ ). Der Wertebereich der Achsen geht von +127 (Rot- und Gelbtöne) bis -128 (Grün- und Blautöne).

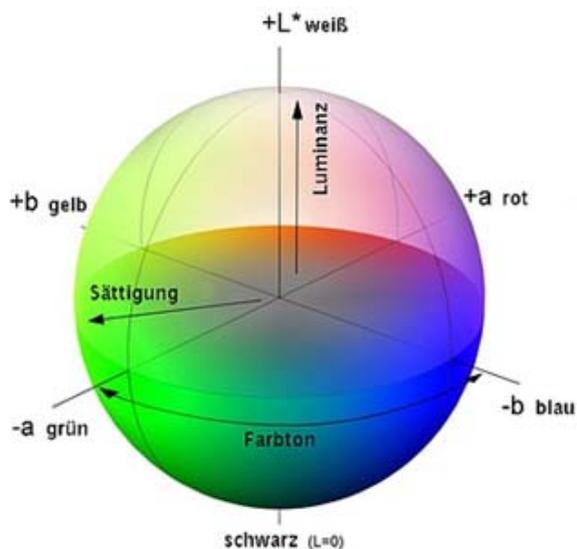


Abb.10: CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbsystem (<http://www.sares.at/index.php>)

## Literaturübersicht

Die Variationen in der Farbhelligkeit von Fleisch sind in der Literatur Gegenstand vieler Untersuchungen (Fletcher, 1999; McKenna et al., 2005; Lee et al., 2007). Petracchi et al. (2004) konnten zeigen, dass die Jahreszeit einen Einfluss auf die Muskelfarbe bei Broilern hat. In dieser Studie wurde auch dargestellt, dass Muskelfleisch, welches als *blass* klassifiziert wurde, einen niedrigeren spätpostmortalen pH-Wert und ein geringeres Wasserbindevermögen aufweist. Diese Ergebnisse wurden auch von Woelfel und Sams (2001) bestätigt. Bei einer Untersuchung von McKee and Sams (1997) konnte gezeigt werden, dass der L\*-Wert steigt, wenn die Mastputen vor der Schlachtung einem Hitzestress ausgesetzt waren. Alvarado and Sams (2004) zeigten in ihrer Untersuchung, dass die Kühlung des Schlachtkörpers keinen signifikanten Einfluss auf die Helligkeit des Fleisches hat, wohingegen die Lagerungszeit Unterschiede im L\*-Wert hervorrufen kann (El Rammouz et al., 2004a). Ein direkter Zusammenhang wird von Owens und Sams (2000) zwischen der Farbhelligkeit und dem pH-Wert vermutet und mit der Proteindenaturierung bei niedrigen pH-Werten begründet. In der Regel zeigt hier Fleisch mit niedrigerem pH-Wert eine Reduktion der Helligkeit (Barbut, 1993). Diese Beobachtung wird von anderen Autoren bestätigt, die im L\*-Wert einen Marker für die Beschreibung von PSE-Fleisch bei Geflügel sehen (Barbut, 1996; Owens et al., 2000; Wilkins et al., 2000; Woelfel et al., 2002).

Die Muskulatur besteht zu rund 75 % aus Wasser. Als gebundenes Wasser steht es in direkter Bindung mit einem Protein und ist in seiner Mobilität eingeschränkt. Hierbei kann es direkt im Protein vorliegen oder eine Hydrathülle um das Protein bilden (Offer and Trinick, 1983; Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). Der größte Teil des im Muskel vorhandenen Wassers ist frei oder locker an Zellstrukturen gebunden (Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). Durch innere und äußere Einflüsse kann dieses Wasser mobilisiert und als Fleischsaft freigesetzt werden. Das Freisetzen oder auch die Aufnahme von Wasser erfolgt hauptsächlich durch das Quellen bzw. das Zusammenziehen der Myofibrillen (Offer and Trinick, 1983). Das Wasserbindevermögen (WBV) der Muskulatur zeigt in welchem Grad der Muskel fähig ist Wasser zu halten (Offer and Trinick, 1983). Hierbei kann das WBV durch äußere und innere Faktoren beeinflusst werden. Äußere Faktoren können Temperatur und Druck sein. Zu den inneren Faktoren zählen neben der genetischen Abstammung des Masttieres sowie dem Alter und dem Geschlecht auch die Art der Muskulatur und der Anteil an Fett im Muskel (Offer and Trinick, 1983; Huff-Lonergan and Lonergan, 2005).

## Literaturübersicht

Ermittelt wird das WBV über den Tropfsaft- (TSV) und den Grillverlust (GV) des Fleisches. Der TSV wird als die Menge an Fleischsaft angegeben, der ohne Einwirkung von äußeren Kräften aus dem Fleisch austritt (Sielaff, 1996). In unterschiedlichen Studien wurde bei Schweinen ein TSV von 4 bis 6 % angegeben, wobei es Unterschiede zwischen den untersuchten genetischen Linien gab (Fiedler et al., 1999; Borchers et al., 2007). Bei Geflügel werden hingegen deutlich niedrigere Werte (unter 1 bis 3 %) gemessen (Allen et al., 1998; Le Bihan-Duval et al., 2001; Debut et al., 2003; Fraqueza et al., 2006; Molette et al., 2006). Bei Puten konnten Fernandez et al. (2002) zeigen, dass ein niedriger pH-Wert mit einem höheren TVS korreliert ist, womit sie eine Aussage von Wynveen et al. (1999) bestätigt haben. Während der TSV ein Qualitätsmerkmal ist, das der Kunde beim Kauf von Fleisch in SB-Abpackungen mit als Kaufkriterium verwendet, ist der GV erst bei der Zubereitung des Fleisches sichtbar. Durch die Erhitzung des Fleisches wird das Wasser im Muskel durch das Schrumpfen der Myofibrillen und des Kollagen freigesetzt (Honikel and Hamm 1994; Honikel, 1998). Bei Geflügel liegt der GV zwischen 18 und 30 % je nach Spezies (Allen et al., 1998; Owens and Sams, 2000; Jaturasitha et al., 2008; Werner et al., 2009). Für die Industrie ist der Verlust von Fleischsaft bei der Erhitzung des Produktes ein wichtiger Faktor, der bei der Herstellung von Geflügelfleischprodukten zu beachten ist (Barbut, 1993).

Die Scherkraft ist ein Maß für die Zartheit des Fleisches. Ermittelt wird sie am gegrillten Fleisch, wobei ein Fleischstück von definiertem Durchmesser mit einer bestimmten Kraft zerteilt wird. Die für die Durchtrennung der Fasern nötige Kraft wird als Scherkraft angegeben (Bratcher et al., 2005). Wie Zhuang and Savage (2009) in ihren Untersuchungen zeigten konnten, hat neben der Faserrichtung auch die Entnahmestelle der Probe Einfluss auf die Scherkraft, ebenso wie die Faserdicke und der Anteil an Kollagen im Muskel.

Die Möglichkeit einer Quantitäts- und Qualitätssteigerung von Fleisch ist Gegenstand vieler Untersuchungen in der Agrarwissenschaft. Um die Quantität und somit den Gewinn, der mit einem Schlachtkörper erzielt werden kann, zu steigern, werden die Masttiere nach Muskelmasse selektiert und neue Linien durch gezielte Kreuzungen geschaffen. Hierbei wurde beobachtet, dass eine Steigerung der Quantität nicht immer mit einer Steigerung der Qualität einhergeht. In einigen Fällen wurde auch eine Qualitätsminderung festgestellt (Berri et al., 2001; von Lengerken et al., 2002).

## Literaturübersicht

Das Fleisch einiger Tiere mit einem guten Muskelansatz war blasser und weicher im Vergleich zum Fleisch anderer Tiere und zeigte daneben auch eine veränderte Konsistenz. Bei diesem als PSE (pale, soft, exudative) bezeichnetem Qualitätsmangel, wurde zudem ein schnelles Absinken des frühpostmortalen pH-Wertes beobachtet (Solomon et al., 1998; Ding et al., 2004). Untersuchungen zeigten ein Auftreten von maligner Hyperthermie (MH), einer Myopathie, die in der Humanmedizin bei Inhalationsnarkosen auftreten kann (Fujii et al., 1991). Unmittelbar nach dem Einatmen des Halothan zeigten einige Schweine ein krampfartiges Abstrecken der Gliedmassen, eine Erhöhung der Atemfrequenz und ein Ansteigen der Körpertemperatur. Ursache dieser Symptome ist eine Dauerkontraktion der Muskulatur aufgrund einer gestörten Regulation des Kalziumflusses in und aus dem Sarkoplasmatische Retikulum (SR) heraus. Kalzium spielt bei der Kopplung von Erregung und Kontraktion der Muskelzellen eine zentrale Rolle (Melzer and Dietze, 2001). Die Freisetzung von Kalzium aus dem SR erfolgt über den Ryanodin-Rezeptor-Kanal, der konzentrationsabhängig aktiviert wird. Molekulargenetische Untersuchungen haben gezeigt, dass bei MHS positiven Schweinen eine Mutation dieses Rezeptors vorliegt (Fujii et al., 1991). Für die Mutation homo- und heterozygot positiven Tiere zeigen unter Stresseinwirkung, wie dies bei einer Narkose mit Halothan der Fall ist, eine Erhöhung der Kalziumkonzentration in der Muskulatur. Dadurch kommt es zu der erwähnten Muskelkontraktion, welche wiederum zu einer Erhöhung der Körpertemperatur und einer Steigerung des Stoffwechsels führt. Durch Anreicherung von Laktat sinkt der pH-Wert im Muskel schneller ab, was in Kombination mit der noch hohen Temperatur des Schlachtkörpers zu einer Denaturierung von Proteinen und so zu den genannten Eigenschaften von PSE-Fleisch führt (Van Laack et al., 2000; Barbut et al., 2005).

In der Geflügelindustrie gibt es seit einigen Jahren einen Fleischqualitätsmangel, der ebenfalls durch blasses Fleisch und eine Senkung des Wasserbindevermögens charakterisiert ist (Allen et al., 1998; Van Laack et al., 2000). Untersuchungen hinsichtlich der Empfindlichkeit auf Halothan bei Puten (Owens et al., 2000) zeigen ähnliche Symptome, wie sie auch beim Schwein beim Auftreten der MH nach einer Inhalationsnarkose mit Halothan beobachtet wurden. Messungen des pH-Wertes im *MPS* der untersuchten Tiere zeigten keine eindeutigen Ergebnisse. In den Untersuchungen von Cavitt et al. (2004) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Halothan positiven und negativen Broilern gezeigt werden, während Owens

## Literaturübersicht

et al. (2000) bei Halothan positiven Puten einen signifikant niedrigeren pH-Wert nachweisen konnte. In dieser Untersuchung konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Halothan positiven Puten das hellere Brustmuskelfleisch aufwiesen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass bei PSE-Fleisch die WHC geringer ist als bei normalem Fleisch (McKee and Sams, 1998). Als Ursache wird der schnell sinkende pH-Wert und somit die Proteindenaturierung (Molette et al., 2005) und die gleichzeitig auftretende Erhöhung der Schlachtkörpertemperatur (Offer, 1991) angegeben.

Im Gegensatz zu PSE-Fleisch ist Fleisch, das den Fehler DFD aufweist, dunkler (dark), fester (fast) und trockener (dry) als normales Fleisch. Dieser Fleischfehler tritt vorrangig bei Tieren auf, die vor der Schlachtung über einen längeren Zeitraum ohne Nahrung waren und deren Glykogenreserven infolge dessen stark verbraucht sind. Aufgrund des Glykogenmangels ist die Absenkung des pH-Wertes nach der Schlachtung geringer, da nur wenig Pyruvat und damit Laktat gebildet werden kann (Wicke et al., 2007). In der Literatur gibt es unterschiedliche pH-Werte, aufgrund derer die Einteilung in DFD- und PSE-Fleisch vorgenommen werden kann.

Die nachfolgende Abbildung (Abb.11) zeigt eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Verläufe des pH-Wertes p.m. mit Darstellung der Wertebereiche für PSE- und DFD-Fleisch für Schweinefleisch.

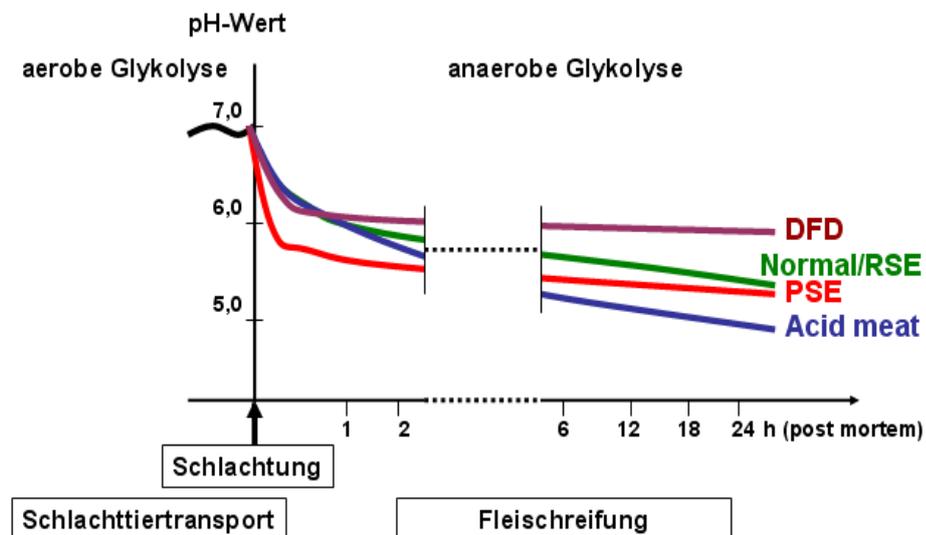


Abb.11: postmortale Änderung des pH-Wert im Muskel von Schlachttieren (Wicke et al., 2007, verändert)

## Literaturübersicht

### 2.2. Schlussfolgerung aus der Literatur und Zielsetzung

Aus der Literatur ergeben sich folgende Probleme:

- Selektion auf hohes Gewicht sowie auf eine Steigerung des Brustmuskelanteils am gesamten Schlachtkörpergewicht beeinflusst die Fleischqualität,
- Farbvariationen innerhalb einer SB-Verpackung sowie zwischen verschiedenen Verpackungen irritieren den Verbraucher,
- ein zu schnelles Absinken des pH-Wertes nach der Schlachtung beeinflusst die postmortalen Stoffwechselfvorgänge,
- Auftreten von Qualitätsmängeln, die der Problematik des PSE-Fleisches beim Schwein ähneln.

Die Sortierung der Brustmuskel vor der Verpackung ist eine Möglichkeit die Unterschiede in der Farbhelligkeit innerhalb einer sowie zwischen verschiedenen SB-Verpackungen, die für einen Standort bestimmt sind, zu verringern (Barbut, 1998; Owens et al., 2000; Woelfel et al., 2002; Fraqueza et al., 2006). Die Kenntnis über die biochemisch-physiologischen Abläufe während der Fleischbildung sowie die Darstellung möglicher pathologischer Vorgänge im Stoffwechsel, welche sich negativ auf die Fleischbildung und somit die Farbhelligkeit auswirken können, sind wichtig, um eine Sortierung vornehmen zu können. Für die hier vorliegende Studie wurden verschiedene, auf hohen Muskelansatz gezüchtete Mastlinien von *Gallus gallus gallus* (Masthuhn) und *Meleagris gallopavo* (Truthuhn) verwendet. Die untersuchten Linien wurden hinsichtlich der Quantität des Schlachtkörpers und der Teilstücke sowie der Qualität des Fleisches verglichen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen zeigen, in wie weit die Selektion auf ein höheres Schlachtkörpergewicht, mit gezielter Steigerung des Brustmuskelanteils, einen Einfluss auf die Fleischqualität hat. Die Ergebnisse dieser Studie sollen zu einem besseren Verständnis der Vorgänge führen, die an der Differenzierung der Fleischfarbe und an deren Veränderung über die Zeit beteiligt sind. Eine Information an die Fleischindustrie hinsichtlich der Fleischbeschaffenheit bestimmter Mastlinien und dem Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Fleischqualität soll letztendlich nachhaltig Reklamationen aus dem Einzelhandel minimieren und das Vertrauen des Verbrauchers hinsichtlich der Qualität von Geflügelprodukten stärken.

### III. Material und Methoden

#### 3.1. Tiermaterial

Für die Untersuchungen wurden die in der Deutschen Geflügelmast wichtigsten konventionellen Hochleistungslinien des Masthuhnes (*Gallus gallus gallus*) und des Truthuhnes (*Meleagris gallopavo*) verwendet. Im Weiteren wird als Synonym für das *Gallus gallus gallus* die Bezeichnung Broiler und für *Meleagris gallopavo* die Bezeichnung Pute verwendet. Die Bezeichnungen sind in der Geflügelmast üblich und werden geschlechtsneutral angewandt.

Für den Broiler-Versuch wurden Hähne der Linien Ross 308 und Ross 708 (Aviagen Ltd., Midlothian, United Kingdom) sowie der Linie Cobb 700 (Cobb-Vantress, Siloam Spring, USA) verwendet. Um den Einfluss des Geschlechtes darzustellen, wurden von der Linie Ross 708 auch Hennen untersucht. Die Mast der Tiere erfolgte in einem Versuchsstall der Firma MEGA-Tierernährung unter Berücksichtigung vergleichbarer Haltungs- und Fütterungsbedingungen einer standardisierten Broilermast. Hierbei waren die genetischen Linien bzw. Geschlechter in separate, durch Drahtzäune gebildete Abteile, untergebracht. Die Besatzdichte zum Ende der Mast lag bei 35 kg/m<sup>2</sup>. Die Temperatur im Stall betrug beim Einstellen 24 °C und wurde im Laufe der Mast auf 18 °C reduziert. Die Lichtintensität lag zu Beginn der Mast bei 22 Lux und wurde Schrittweise auf 4 Lux reduziert. Nach 28 und 41 Tagen Mast wurden von jeder Mastlinie bzw. jedem Geschlecht 25 Tiere geschlachtet.

Für den 1. speziellen Puten-Versuch wurden Hähne der Mastlinien Big 6 und Big 9 sowie Hennen der Linie Big 6 (British United Turkey Ltd., Tattenhall, United Kingdom) verwendet. Die Schlachtung von 25 Tieren jeder Herkunft bzw. jeden Geschlechtes erfolgte nach 112 Masttagen. Nach 147 Tage wurden von den Big 6 und Big 9 Hähnen nochmals 25 Tiere je Linie geschlachtet. Für den 2. speziellen Versuch wurden je 25 Hähne der Linie Hybrid XL (Hendrix Genetics, Ontario, Kanada) und der Linie Big 700 (British United Turkey Ltd., Tattenhall, United Kingdom) nach 106 und nach 143 Masttagen geschlachtet. Die Mast aller Tiere erfolgte in einem Versuchsstall des Kooperationspartners unter den Bedingungen einer standardisierten Putenmast. Die genetischen Linien bzw. Geschlechter waren in separate, durch Drahtzäune gebildete Abteile untergebracht. Die Besatzdichte zum Ende der Mast lag bei 45 kg/m<sup>2</sup>. Im Verlauf der Mast wurde das Licht von 22 auf 4 Lux und die Temperatur von 24 °C auf 18 °C reduziert.

## Material und Methoden

Der Transport zum Schlachtbetrieb des jeweiligen Kooperationspartners dauerte 2 h. Die Betäubung erfolgte im Strom führenden Wasserbad bei 1,2 A für 5 sec (Broiler) bzw. bei 160 mA für 24 sec (Puten). Die Tötung erfolgte durch das sofortige mechanische Durchtrennen der *Aorta carotis communis*. Im Anschluss wurden die Schlachtkörper gebrüht (Broiler: 4,5 min, 51,5 - 53 °C; Puten: 3,25 min, 57 - 60 °C).

### 3.2. Probennahme

Für alle Versuche wurden die Schlachtkörper nach der tierärztlichen Kontrolle und vor der Kühlung aus der Schlachtkette entnommen und komplett gewogen. Anschließend wurden beide Brustmuskel und Schenkel (Puten nur linker Brustmuskel und linker Schenkel) durch einen erfahrenen Mitarbeiter des Schlachtbetriebes vom Schlachtkörper abgetrennt. Nach dem Entfernen der Haut und des kleinen Brustmuskels (*M. supracoracoideus*) vom Brustmuskel (*M. pectoralis superficialis* (MPS)) wurden von jedem Tier MPS und Schenkel einzeln gewogen. Zwischen den Messungen wurden die MPS einzeln und die Schenkel zusammen in Plastiktüten verpackt und bei ca. 2 °C gelagert.

Bei den Broilern wurde der rechte MPS (Abb.12) für die Probennahme und zur Messung der Farbhelligkeit (L\*a\*b\*) am Anschnitt sowie für die Bestimmung des pH-Wert und der Leitfähigkeit verwendet. Der linke MPS wurde für die Messung der L\*a\*b\*-Werte an der Muskeloberfläche sowie für die Bestimmung des Tropfsaft-, des Grillverlustes und der Scherkraft genommen. Bei den Puten wurden alle Messungen und Probennahmen am linken MPS (Abb.12) und am linken Schenkel durchgeführt.

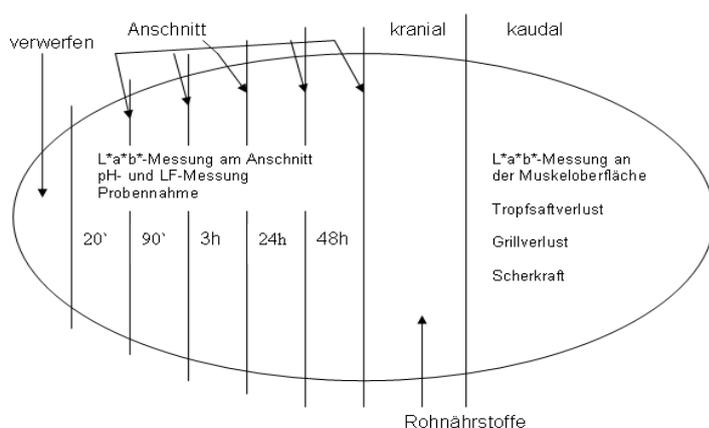


Abb.12: Aufteilungsschema des linken Brustmuskels zur Probennahme und zur Messung von pH-Wert, Leitfähigkeit und Farbhelligkeit am Anschnitt des Muskels

## **Material und Methoden**

Zu den Messzeitpunkten 20 min und 48 h post mortem (p.m.) wurden Proben vom *MPS* und vom *M. iliotibialis lateralis (MIL)* des Schenkels für die spätere Laboranalyse entnommen. Hierfür wurde ein Streifen Muskelgewebe (in der Abbildung 12 mit dem jeweiligen Messzeitpunkt gekennzeichnet) entnommen und nach der pH- und LF-Messung in kleine Würfel zerschnitten. Diese wurden in 2,0 ml Eppendorf-Reaktionsgefäße verpackt, in flüssigem Stickstoff eingefroren und bis zur Durchführung der verschiedenen analytischen Untersuchungen bei -80 °C gelagert.

Für die histologische Untersuchung wurde 90 min p.m. vom *MPS* und vom *MIL* Proben genommen. Hierfür wurde entlang der Faserausrichtung ein Probenstück von etwa 1 cm<sup>3</sup> entnommen und in ein Histologiegitter (Sigma) überführt. Die Probe wurde in flüssigem Stickstoff eingefroren und anschließend bei -80 °C gelagert.

Für die Messung der mitochondrialen Atmungsaktivität wurde 20 min p.m. eine Probe von etwa 1 g aus dem *MPS* entnommen. Bis zur Messung wurde das Muskelstück in ein Eppendorf-Reaktionsgefäß mit 2,5 ml Storage-Puffer (SP: 15 mM PCr; 49 mM KMES; 20 mM Taurin; 20 mM Imidazol; 5,2 mM ATP; 9,5 mM MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O; 3 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,5 mM 1,4 Dithiothriet (DTT)) und auf Eis gelagert.

Die Proben für die Messung der Rohnährstoffe wurde 48 h p.m. aus dem verbliebenen Brust- bzw. Schenkelmuskel gewonnen. Es wurden alle nicht-muskulären Anteile (Fett, Sehnen, Blut) entfernt und das Muskelfleisch 30 sec bei 6000 U/min homogenisiert (Grindomix RT 200, RETSCH®). Das Homogenat wurde verpackt, vakuumiert und bis zur Messung bei -20 °C gelagert.

### **3.3. Untersuchungsmethoden**

#### **3.3.1. Leitfähigkeit und pH-Wert**

Die Messung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) erfolgte 20 min, 24 h und 48 h (nur LF) p.m. im *MPS* und am linken Schenkel im *M. gastrocnemicus (MG)*. Die Messung der Leitfähigkeit erfolgte mit dem Messgerät LF-Star mit Stahlelektroden (LF-Star, Matthäus GmbH). Für die Messung wurden die Stahlelektroden des Messgerätes mittig in den jeweiligen Muskelstreifen gesteckt. Vor der ersten Messung sowie einmal innerhalb jedes Messdurchganges wurde das Gerät mit Hilfe eines Eichblockes (Matthäus GmbH) geeicht. Die Ausgabe der Werte erfolgte in mS/cm.

## Material und Methoden

Für die Messung des pH-Wertes wurde das Messgerät pH-Star (Matthäus GmbH) mit Glaselektrode (InLab 427, Mettler-Toledo) und Temperaturfühler (Testo AG) verwendet. Der Temperaturfühler ermöglichte eine genaue Einstellung der pH-Elektrode auf die jeweilige Fleischtemperatur, wobei der Fühler bereits 1 min vor der pH-Elektrode in den Muskel eingebracht wurde, damit sich die Temperatur einstellen konnte. Für die Messung wurde dann die pH-Elektrode mittig in den Muskelstreifen des jeweiligen Messzeitpunktes gesteckt und der Wert nach einer Wartezeit von 30 sec abgelesen. Die Eichung des Gerätes erfolgte über zwei Eichlösungen (pH 4 und pH 7; Sigma-Aldrich Chemie GmbH). Die Eichung wurde vor jedem Messdurchgang sowie einmal innerhalb eines Messdurchganges durchgeführt.

### 3.3.2. Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ )

Für die Ermittlung der Farbhelligkeit des Fleisches wurde die Helligkeit ( $L^*$ ) sowie der Rot- ( $a^*$ ) und der Gelb- ( $b^*$ ) Wert mit einem Minolta-Farbmessgerät (Minolta CR 400, Minolta GmbH) bestimmt. Hierbei wurden die  $L^*a^*b^*$ -Werte an der Muskeleoberfläche des *MPS* und des *MIL* sowie am Muskelanschnitt des *MPS* gemessen. An der Oberfläche des Muskels erfolgten die Messungen am *MPS*, an der dem Knochen zugewandten Seite der Muskulatur. Beim Schenkel wurde für diese Messung direkt die Oberfläche des *MIL* verwendet. Am Brustmuskel wurden 5 - 6 Messungen und am Schenkel 3 - 4 (Broilern) bzw. 5 - 6 (Puten) pro Probe und pro Messzeitpunkt durchgeführt. Die Messung am Muskelanschnitt des *MPS* wurde nach dem Entfernen des Muskelstreifens für den jeweiligen Messzeitpunkt am frisch entstandenen Anschnitt durchgeführt (siehe Abb.12). Zwischen dem Anschnitt des Muskels und der Messung wurde der Muskel etwa 5 min an der Luft inkubiert. Am *MPS* - Anschnitt wurden bei den Broilern 3 - 4, bei den Puten 5 - 6 und am Anschnitt des *MG* immer 3 - 4 Messungen durchgeführt. Die Messungen an der Muskeleoberfläche erfolgten 20 min, 8 h, 24 h, 48 h und 72 h (nur am *MPS*) p.m.. Die Messungen am Muskelanschnitt erfolgten 20 min, 90 min, 3 h, 24 h und 48 h p.m. Die erhaltenen Ergebnisse wurden gemittelt, so dass pro Probe, Messzeitpunkt und Messort ein Wert für  $L^*$ , für  $a^*$  und für  $b^*$  vorlag.

## Material und Methoden

### 3.3.3. Tropfsaftverlust, Grillverlust und Scherkraft

Die Bestimmung des Tropfsaftverlustes (TSV) wurde nach der Methode von Bertram et al. (2004) durchgeführt. Bei den Broilern wurde hierfür der rechte *MPS* und bei den Puten der kaudale Teil des linken *MPS* (siehe Abb.12) verwendet. Die Messung erfolgte über 64 Stunden (8 h p.m. bis 72 h p.m.). Das Muskelstück wurde 8 h p.m. gewogen, in einem verschließbaren Behälter frei aufgehängt und bis zur Rückwaage 72 h p.m. bei 4 °C gelagert. Der TSV wurde aus der Differenz beider Werte und in Prozent berechnet. Nach der Rückwaage des Muskelstückes aus der Tropfsaftanalyse zum Zeitpunkt 72 h p.m. wurde die Probe in Aluminiumfolie verpackt und auf einem Kontaktgrill (Neumärker GmbH) bis zu einer Kerntemperatur von 72 °C gegrillt. Die Temperatur wurde mittels eines Digitalthermometers (Testo AG) kontrolliert, das mittig in die Probe gesteckt wurde. Nach einer Abkühlung auf Raumtemperatur wurden die Proben gewogen. Der Grillverlust (GV) wurde aus der Differenz des Gewichtes vor und nach dem Grillen und in Prozent ermittelt.

Die Messung der Scherkraft wurde nach Bratcher et al. (2005) durchgeführt. Hierfür wurden die gegrillten und abgekühlten Proben aus der Grillverlustanalyse verwendet. Für die Messung wurden mit einer standardisierten Stanzhülse (Durchmesser 6 mm) 6 - 7 Proben entlang des Faserverlaufes des Muskels entnommen. Diese Proben wurden anschließend in einem Instron Messgerät (Instron Deutschland GmbH) gemessen. Hierbei wird die Kraft  $F_{\max}$ , die zum Durchtrennen der Fasern benötigt wird, ermittelt. Für eine genaue Bestimmung der Ergebnisse wurden von jeder Probe 6 - 7 Teilstücke gemessen, die Werte gemittelt und als  $F_{\max}$  der Probe angegeben.

### 3.3.4. Rohnährstoffanalyse

Die Rohnährstoffanalyse wurde mit den homogenisierten und gefrorenen Muskeln von *MPS* und Schenkel durchgeführt, die 48 h p.m. gewonnen wurden.

Für die Bestimmung des Fettgehaltes wurden die Proben mit Salzsäure aufgeschlossen und das Fett durch Filtration abgetrennt. Der Filtrerrückstand wurde mit heißem Wasser neutral gewaschen und mit Petroleumbenzin im Soxhlet-Apparat extrahiert. Danach wurde der Extraktionsrückstand ausgewogen.

## **Material und Methoden**

Für die Bestimmung des Rohproteingehaltes wurde eine Probe von 1 g unter Sauerstoffzugabe bei 900 °C verbrannt und der Gesamt-Stickstoffgehalt mit einem Elementaranalysator (Vario MAX CN, Elementar Analysensysteme) gemessen. Der Proteingehalt wird anschließend durch die Multiplikation des Gesamt-Stickstoffgehaltes mit dem Faktor 6,25 ermittelt.

Für die Ermittlung des Gehaltes an Trockenmasse wurde eine Probe von 5 g in ein Aluminiumschälchen eingewogen, mit einem Rundfilter abgedeckt und für 24 h im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet. Nach dem Rückwiegen lässt sich über die Differenz der Gewichte das Trockengewicht bestimmen.

Für die Bestimmung des Anteils an Rohasche wurden 1,5 g Probe in einem Porzellantiegel mit 1 ml Magnesiumacetatlösung (15 %) versetzt, 2 h im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und schließlich 1 h 45 min im Muffelofen bei 600 °C verascht. Der Aschegehalt ergab sich aus der Differenz der Ein- und der Rückwaage.

### 3.3.5. Mitochondriale Atmungsaktivität

Für die Bestimmung der mitochondrialen Atmungsaktivität wurde ein Protokoll nach Gellerich et al. (2002) verwendet. Die Messungen wurde mit Hilfe eines Oxygraphen (Oxygraph-2k, Oroboros Instruments) mit zwei Messkammern durchgeführt. In jeder Kammer des Oxygraphen befindet sich ein Sauerstoffsensor mit Platin-Kathode und Silber-Anode, der die Sauerstoffkonzentration in der Messkammer erfasst. Die Elektroden sind von einer gesättigten Kaliumchloridlösung umgeben und mit einer sauerstoffdurchlässigen Teflonmembran umschlossen. Der in der Kammer enthaltene Sauerstoff diffundiert durch die Teflonmembran und wird an der Kathode reduziert. Der so entstehende Stromfluss wird gemessen und zeigt, da er direkt proportional zum Sauerstoffgehalt ist, die in der Kammer vorhandene Konzentration an Sauerstoff und damit auch Änderungen des Sauerstoffgehaltes während der Untersuchungen an. Die Darstellung der Messlinie (Respirogramm) erfolgte digital mit Hilfe einer speziellen Software (Oxygraph-2k, Oroboros Instruments) des Oxygraphen. Für die Ermittlung der jeweiligen Messwerte wurden mittels des Programms Messbalken platziert. Anhand dieser wurden anschließend die Atmungswerte in pmol/s\*mg errechnet.

## Material und Methoden

Die nachfolgende Abbildung (Abb.13) zeigt exemplarisch ein Respirogramm mit Markierung der Zeitpunkte, zu denen die nachfolgend erwähnten Substrate zugegeben wurden, und den eingefügten Messbalken für die Auswertung.

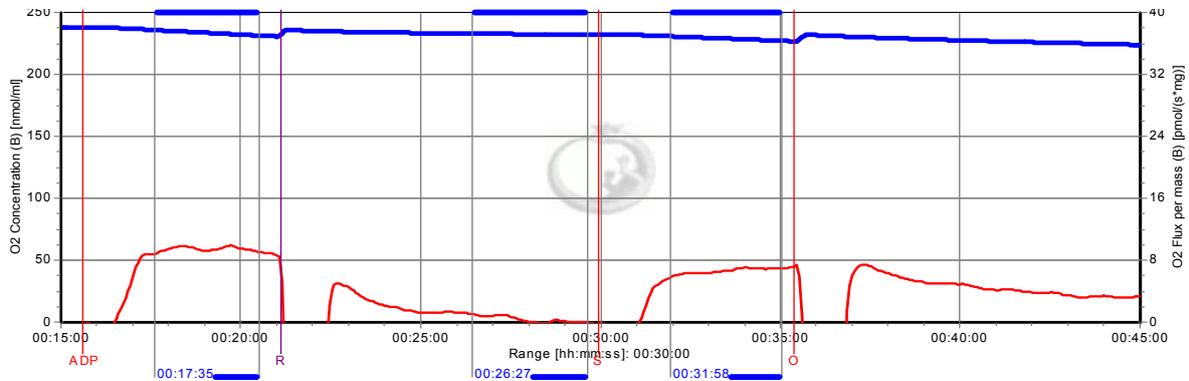


Abb.13: Respirogramm mit Darstellung der Sauerstoff-Konzentration (blaue Linie) und der Atmungsaktivität der Mitochondrien (rote Linie) in pmol/s\*mg sowie den Markierungen der Substratzugabe (R = Rotenon; S = Succinat; O = Oligomycin)

Für die Bestimmung der Atmungskapazität wurde von den 20 min p.m. genommenen Proben, die in Storage-Puffer (SP) und auf Eis gelagert wurden, je 50 mg abgetrennt und vorsichtig mit Hilfe zweier Pinzetten fein zerfasert. Hierbei wurde alles Bindegewebe entfernt und die Fasern möglichst einzeln dargestellt. Die Fasern wurden anschließend in 0,5 ml SP mit Zusatz von Saponin (1 M, 50 mg/ml SP) überführt und für 15 min auf einem Schüttler (GFL 3018, Gesellschaft für Labortechnik) permeabilisiert. Anschließend wurden sie in Inkubationspuffer (IP: 75 mM Mannitol; 25 mM Saccharose; 0,1 M KCl; 5 mM EDTA; 20 mM Tris; 5 mM MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O; 10 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,5 mM DTT) mit einem Zusatz von 1 mg/ml BSA (Bovines Serum Albumin; Fettsäurefrei) für 3 x 10 min auf dem Schüttler gewaschen. Das BSA wurde dem Puffer zugesetzt, um die Fettsäuren in der Probe zu maskieren. Für die Messung wurden 3 - 7 mg der Muskelfasern in eine der, auf 30 °C temperierten und mit 2,06 ml IP mit BSA, 20 µl Malat (0,2 M) und 20 µl Pyruvat (1 M) befüllten, Messkammern des Oxygraphen überführt. Nach Zugabe der Probe wurde die Kammer mit einem Stopper (Oroboro Instruments) luftdicht verschlossen, so dass ein in sich geschlossenes System gebildet wurde. Die Zugabe der nachfolgend erwähnten Substanzen erfolge mit einer Hamilton-Pipette (pro Substrat eine) über die Kapillare des Stoppers. Um die maximale Atmungskapazität der Mitochondrien

## Material und Methoden

darzustellen, wurde zu Beginn der Messreihe Adenosindiphosphat (ADP, 0,5 M) in die Messkammer gegeben. Nach Erreichen eines Plateaus für 5 min wurde Rotenon (2 mM) in die Kammer gegeben um die Atmungsaktivität komplett zu hemmen. Zur Darstellung der Succinat abhängige Aktivität der Mitochondrien wurde im Anschluss Succinat (5 mM) in die Kammer gegeben. Zur Bestimmung der Integrität der Mitochondrien wurde Oligomycin (5 mM), ein Inhibitor des ATP/ADP Translokators, verwendet. Durch den Inhibitor wird der Sauerstoffverbrauch reduziert, wobei durch eine teilweise Entkopplung der Mitochondrien die Hemmung nur unvollständig erfolgt (Gellerich et al., 2002). Eine Aussage über mögliche Schädigungen der Mitochondrien erlaubt die Berechnung des Respiratorischen Kontrollindex (RCI). Er stellt das Verhältnis von State-3- zu State-4-Atmung dar und quantifiziert die Kopplung zwischen Substratoxidation und ATP-Bildung. Eine Erhöhung der State-4-Atmung kann auf einen Rückfluss von Protonen ohne ATP-Synthese zurückzuführen sein, was auf eine Schädigung der Mitochondrienmembran schließen lässt und sich in einem kleinen RCI-Wert äußert.

Im Anschluss an jede Messreihe wurden die Kammern mit Ethanol gereinigt, um Rückstände des Rotenon und des Oligomycin zu entfernen. Hierbei wurde die Kammer 2 x 5 min mit Alkohol und 4 x 1 min mit destilliertem Wasser gewaschen.

### 3.3.6. Histologische Untersuchungen

Für die histologische Untersuchung wurden die zum Messzeitpunkt 90 min p.m. genommenen und in Histologiegitter bei -80 °C gelagerten Muskelproben mit einem Cryostat-Mikrotom (Leica LM 1900) bei -25 °C in 12 µm dicke Schnitte geschnitten. Nach dem Schneiden wurden die Schnitte auf Glasobjektträger für 2 - 3 min luftgetrocknet und dann zur Bestimmung des Faserdurchmessers mit Eosin gefärbt. Hierbei wurden die getrockneten Schnitte für 1 min mit destilliertem Wasser gewaschen und anschließend für 90 sec in Eosinlösung (0,1 %) inkubiert. Danach erfolgten 4 Waschschrte mit destilliertem Wasser für je 30 sec und anschließend für je 1 min eine Waschung mit zuerst 70 % und dann mit 90 % Alkohol. Nach einer Waschung für 2 min mit 99 % Alkohol wurden die Schnitte für 5 min mit Xylol oder Roti-Histol inkubiert und anschließend getrocknet. Um die Schnitte unter dem Mikroskop auswerten zu können, wurden sie nach dem Trocknen mit Kanadabalsam bedeckt und mit einem Deckgläschen abgedeckt.

## **Material und Methoden**

Die Auswertung der Schnitte erfolgte mit dem Programm Lucia. Hierfür wurden die Muskelfasern mit einem Mikroskop (Nikon Eklipse E600) bei 200 facher Vergrößerung betrachtet, photographiert und die Bilder dann in das Programm Lucia importiert. Die Software ermöglichte eine Ausmessung des Faserdurchmessers mittels Umfahren der Zellen mit einer farblichen Markierung. Die Berechnung von Durchmesser und Zellfläche erfolgte dann automatisch durch das Programm.

### 3.3.7. Biochemische Untersuchungen

Für diese Untersuchungen wurden die zu den Messzeitpunkten 20 min und 48 h p.m. genommenen, in flüssigem Stickstoff eingefrorenen und bei -80 °C gelagerten Proben, verwendet. Um mögliche Stoffwechselwege zu blockieren und so eine reelle Aussage über die Aktivität der untersuchten Enzyme und der Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen zu erhalten, wurden nach dem Auftauen der Probe alle Arbeitsschritte auf Eis durchgeführt.

Für die Bestimmung des Proteingehaltes (Bradford, 1976) wurden 0,4 g der gefrorenen Muskelproben mit kaltem Phosphatpuffer (PBS: 2,68 mM KCL; 141,74 mM NaCl; 10,14 mM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 1,76 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 1:10 verdünnt und in einem Potter-Homogenisator für 5 min bei 1200 U/min homogenisiert. Anschließend wurden 20 µl des Homogenates 1:25 mit kaltem PBS verdünnt. Davon wurden 25 µl abgenommen, mit 750 µl Bradford-Reagenz gemischt und für 3 min bei 30 °C inkubiert. Die Messung der Farbreaktion erfolgte bei 595 nm in einem Plattenreader (TECAN GENios, Tecan Group Ltd.). Zur genauen Bestimmung der Absorption wurden für jede Probe drei Messungen durchgeführt und anschließend die Werte gemittelt. Der Proteingehalt der Probe wurde mittels einer Eichgerade berechnet. Hierfür wurde eine Verdünnungsreihe mit BSA (0 - 1 g/ml BSA in 250 µg Schritte) hergestellt. Von jeder Verdünnung wurden 25 µl abgenommen und mit 750 µl Bradford-Reagenz gemischt, für 3 min bei 30 °C inkubiert und anschließend zusammen mit der Probe gemessen.

## Material und Methoden

Für die Berechnung des Proteingehaltes wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{Proteingehalt (mg/ml)} = \frac{(MW_{\text{Abs}} - X_E)}{\Delta_E} * V$$

$MW_{\text{Abs}}$  = Mittelwert der gemessenen Absorptionswerte der Probe

$X_E$  = Schnittpunkt der Eichgeraden mit der X-Achse

$\Delta_E$  = Steigung der Eichgeraden

$V$  = Verdünnungsfaktor der Probe

Für die Aktivitätsbestimmungen der untersuchten antioxidativen Enzyme wurde das Homogenat, welches für die Proteinmessung mit Bradford-Reagenz hergestellt wurde, verwendet. Hierfür wurde es mit kaltem PBS auf einen Proteingehalt von 6 mg/ml verdünnt. Anschließend wurden 50 µl der verdünnten Probe und die für die Messung benötigten Reagenzien in eine Küvette pipettiert. Die Bestimmung der Aktivität der antioxidativen Enzyme erfolgte nach einer Vorinkubation von 10 min bei 30 °C. Für die Messung wurde ein auf 30 °C temperiertes Photometer (Spectronic® Genosys 2PC) verwendet. Um Messfehler zu minimieren, wurden von jeder Probe drei Ansätze gemischt und gemessen. Die verwendeten Chemikalien und Lösungen wurden vor jeder Messung neu angesetzt und unmittelbar vor jeder Messung in die verwendeten Küvetten pipettiert. Aus den Ergebnissen der photometrischen Messungen (3 pro Probe) wurde der Mittelwert gebildet und dieser für die Berechnung des Enzymgehaltes verwendet. Für jede Messung wurde als Kontrolle eine Leerwertmessung mit PBS -anstelle der Probe- durchgeführt.

Für die Bestimmung des Gehaltes an Superoxid-Dismutase (SOD) wurde ein Protokoll von Šimonovičová et al. (2004) verwendet. Für jeden Reaktionsansatz wird mit Sauerstoff versetztes PBS, 50 µl des Homogenates der Probe, L-Methionine (15 mM), Thiazolyl Blue Tetrazolium Bromide (MTT; 70 mM), Xanthin (50 mM) und Triton (0,01 %) verwendet. Nach der Vorinkubation über 10 min erfolgt das Starten der Reaktion durch die Zugabe von Xanthin-Oxidase (1 U/ml).

## Material und Methoden

Der Nachweis der Superoxid-Dismutase erfolgt über eine Farbreaktion. Hierbei wird das MTT durch Superoxid in einen blue formazan Farbstoff gespalten, der dann bei 560 nm detektierbar ist. Die Bildung der Superoxide erfolgt durch die Reaktion des Xanthin mit der Xanthin-Oxidase und den im PBS befindlichen Sauerstoff. In der Kontrolllösung findet eine ungehemmte Spaltung des MTT statt. In der Probenlösung werden die Superoxide hingegen durch die SOD in Wasserstoffperoxid umgewandelt, wodurch die Spaltung des MTT verhindert wird. Aus der Hemmung der Reaktion kann dann die Enzymaktivität berechnet werden, wofür folgende Formel benutzt wurde:

$$\text{SOD (U/g Protein)} = \left( 100 - \left( \frac{\Delta E_{\text{MW}} * 100}{\Delta E_{\text{NW}}} \right) \right) * \left( \frac{V_t}{V_p} \right) / Z * K_P * 1000$$

$\Delta E_{\text{MW}}$  =  $\Delta E$  des Messwertes

$\Delta E_{\text{NW}}$  =  $\Delta E$  des Nullwertes (ohne Probe)

$V_t$  = Volumen der Reaktionslösung ( $\mu\text{l}$ )

$V_p$  = Volumen der Probenlösung ( $\mu\text{l}$ )

$Z$  = Messzeitraum (min)

$K_P$  = Proteinkonzentration der Probe

Die Bestimmung des Gehaltes an Glutathion-Reduktase und Glutathion-Peroxidase wurde nach dem Protokoll von Otto-Knapp (2001) durchgeführt, wobei Anpassungen hinsichtlich der Konzentration einiger Chemikalien vorgenommen wurden.

Für die Berechnung des Gehaltes an Glutathion-Reduktase (GR) wurde eine Reaktionslösung aus PBS, 50  $\mu\text{l}$  des Homogenates der Probe,  $\beta$ -NADPH-Lösung (0,3 mM), EDTA (0,5 mM) und Triton (0,01 %) verwendet. Nach der Vorinkubation wird die Messung durch Zugabe von oxidiertem Glutathion (2 mM) gestartet. Durch die in der Probe enthaltene GR wird die fixe Menge des oxidierten Glutathion umgesetzt. Das  $\beta$ -NADPH liefert die nötige Energie für diese Reaktion und ist proportional zur Aktivität des Enzyms. Die Messung erfolgt bei 340 nm über einen Zeitraum von 10 min alle 30 sec, wobei der Verbrauch des  $\beta$ -NADPH dargestellt wird.

Für die Berechnung des Gehaltes an GR wurde folgende Formel verwendet:

## Material und Methoden

$$\text{GR (U/g Protein)} = \frac{\Delta E * V_t}{6,22 * V_p * Z * K_P}$$

- $\Delta E$  =  $\Delta e$  Probe -  $\Delta e$  Leerwert  
 $V_t$  = Volumen der Reaktionslösung ( $\mu\text{l}$ )  
6,22 = mmol Extinktionskoeffizient des  $\beta$ -NADPH bei  $\lambda = 340\text{nm}$  ( $\text{l} * \text{mol}/\text{mm}$ )  
 $V_p$  = Volumen der Probenlösung ( $\mu\text{l}$ )  
 $Z$  = Messzeitraum (min)  
 $K_P$  = Proteinkonzentration der Probe

Für die Berechnung des Gehaltes an Glutathion-Peroxidase (GP) wurde eine Reaktionslösung aus Natriumazidlösung (1 mM),  $\beta$ -NADPH (0,15 mM), Glutathion-Reduktase (1 U/ml), reduziertes Glutathion (0,1 mM),  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung (0,05 %) und Triton (0,01 %) verwendet. Nach der Vorinkubation wird die Messung durch Zugabe von 50  $\mu\text{l}$  des Homogenates gestartet. Die Bestimmung die Aktivität der GP erfolgt durch den Verbrauch der konstanten Menge an Glutathion. Hierbei wird das Glutathion zuerst oxidiert und anschließend mit Hilfe der Glutathion-Reduktase reduziert. Das  $\beta$ -NADPH liefert die Energie, die für diese Reaktion nötig ist. Der Verbrauch an  $\beta$ -NADPH ist dabei proportional zur Aktivität der Glutathion-Peroxidase. Die Messung erfolgt bei 340 nm über einen Zeitraum von 10 min alle 30 sec, wobei der Verbrauch des  $\beta$ -NADPH dargestellt wird. Für die Berechnung des Gehaltes an GP wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{GP (U/g Protein)} = \frac{\Delta E * V_t * 2}{6,22 * V_p * Z * K_P}$$

- $\Delta E$  =  $\Delta e$  Probe -  $\Delta e$  Leerwert  
 $V_t$  = Volumen der Reaktionslösung ( $\mu\text{l}$ )  
(2) = 2  $\mu\text{mol}$  reduziertes Glutathion produziert von 1  $\mu\text{mol}$   $\beta$ -NADPH  
6,22 = mmol Extinktionskoeffizient des  $\beta$ -NADPH bei  $\lambda = 340\text{nm}$  ( $\text{l} * \text{mol}/\text{mm}$ )  
 $V_p$  = Volumen der Probenlösung ( $\mu\text{l}$ )  
 $Z$  = Messzeitraum (min)  
 $K_P$  = Proteinkonzentration der Probe

## Material und Methoden

Für die Bestimmung des Gehaltes an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) wurde ein Protokoll auf Grundlage von Botsoglou et al. (1994) und Du (2002) verwendet. Pro Ansatz wurden 0,5 g gefrorene Probe mit kaltem destilliertem Wasser 1:10 verdünnt und für 2 min mit einem Potter homogenisiert. Pro Homogenat wurde Trichloressigsäure (TCA) (2 %), 2-Thiobarbitursäure (TBA) (0,31 %) und butyliertes Hydroxytoluol (BHT) (0,08 %) zugegeben. Die Reaktionslösung wurde gemischt, für 30 min bei 100 °C im Wasserbad inkubiert, auf Eis für 10 min gekühlt und anschließend für 15 min bei 2000 g und 5 °C zentrifugiert. Der Überstand wurde abgenommen, 700 µl in je eine Küvette überführt und die Absorption bei 521 nm gemessen. Für jede Probe wurden drei Küvetten befüllt, gemessen und die Ergebnisse gemittelt. Für die Berechnung der Konzentration an TBARS, wurde eine Eichgerade mit einer Malondialdehyd (MDA)-Verdünnungsreihe (0 - 100 ng/ml in 25 ng Schritten) erstellt. Für die Berechnung der Konzentration an TBRAS wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{TBARS (ng/ml Homogenat)} = \frac{(\text{MW}_{\text{Abs}} - X_E)}{\Delta_E} * V$$

$\text{MW}_{\text{Abs}}$  = Mittelwert der gemessenen Absorptionswerte der Probe

$X_E$  = gemessener Absorptionswert der Kontrolle

$\Delta_E$  = Steigung der Eichgeraden

$V$  = Verdünnungsfaktor der Probe

Die Bestimmung des Gehaltes an Myoglobin (Mb) und der Anteile der Mb-Redoxformen wurde nach dem Protokoll von Tang et al. (2004) durchgeführt. Für die Messung wurde 1 g Muskel mit 5 ml PBS mit einem Potter-Homogenisator für 5 min bei 1500 U homogenisiert und anschließend für 30 min bei 35000 g und 4 °C zentrifugiert. Je 700 µl des Überstandes wurden in eine Küvette überführt, wobei pro Probe drei Küvetten befüllt und gemessen wurden. Die Messung des Überstandes erfolgte mittels eines Photometers (Biochrom Libra S22). Zur Bestimmung des Gehaltes an Myoglobin wurde die Absorption bei 525 nm ( $\text{Mb}$ ;  $A_{525}$ ) und zur Bestimmung der einzelnen Myoglobinvarianten bei 503 nm ( $A_{503}$ , Metmyoglobin (MetMb)), 557 nm ( $A_{557}$ , Deoxymyoglobin (DeoMb) und bei 582 nm ( $A_{582}$ , Oxymyoglobin (OxyMb)) gemessen.

## Material und Methoden

Die Berechnung des Gehaltes an Myoglobin und die Ermittlung der Anteile der Mb-Redoxformen erfolgte nach folgenden Formeln:

Bestimmung der Myoglobingehaltes:  $C_{Mb} \text{ (mmol/l)} = A_{525} / 7,6$

wobei  $A_{525}$  = gemessene Absorption bei 525 nm

7,6 = Extinktionsfaktor bei 525 nm

$$\text{Myoglobin (mg/g Gewebe)} = \frac{C_{Mb} * M}{V}$$

M = Molekulargewicht von Myoglobin (mg/mmol)

V = Probeneinwaage (mg/ml)

Bestimmung des prozentualen Anteils der jeweiligen Myoglobinvarianten:

$$\text{DeoMb (\%)} = ((-0,543 * R1) + (1,594 * R2) + (0,552 * R3) - 1,329) * 100$$

$$\text{OxMb (\%)} = ((0,722 * R1) - (1,432 * R2) - (1,659 * R3) + 2,599) * 100$$

$$\text{MetMb (\%)} = ((-0,159 * R1) - (0,085 * R2) + (1,262 * R3) - 0,52) * 100$$

wobei  $R1 = A_{525} / A_{582}$

$R2 = A_{525} / A_{557}$

$R3 = A_{503} / A_{525}$

Für jede der drei Küvetten pro Probe wurden die Ergebnisse separat berechnet und die Ergebnisse anschließend gemittelt.

### 3.4. Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm „Statistica 9.0“ (StatSoft Inc., 2009). Bei der GLM-Prozedur wurden die Faktoren Herkunft, Geschlecht und Alter sowie deren Interaktionen in die Auswertung einbezogen. Zur Bestimmung der Signifikanz wurde der „Tukey-Test“ unter Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 verwendet.

## Material und Methoden

Die Berechnung erfolgte nach folgendem Modell:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + g_j + s_p (ags)_{ijp} + e_{ijk}$$

- $y_{ijk}$  = Beobachtungswert des Tieres k innerhalb Alter i, Herkunft j und Geschlecht p  
 $\mu$  = Gesamtmittel  
 $a_i$  = fixer Effekt des Alter (i = 1;2)  
 $g_j$  = fixer Effekt der Herkunft (j = 1; 2)  
 $s_p$  = fixer Effekt des Geschlechts (p = 1; 2)  
 $(ags)_{ijp}$  = Interaktion Alter x Herkunft x Geschlecht  
 $e_{ijk}$  = Zufälliger Restfehler der Beobachtung k

Die Korrelation einzelner Werte zueinander wurde mit dem „Statistica 9.0“ (StatSoft Inc. (2005), STATISTICA für Windows Version 9.0, [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)) durchgeführt. Für eine Korrelation mit  $p < 0,05$  wurde die Darstellung „\*“, für  $p < 0,01$  „\*\*“ und für  $p < 0,001$  „\*\*\*“ gewählt.

Des Weiteren wurden multivariate Analysen unter Einbeziehung der ermittelten Parameter durchgeführt. Für die Hauptkomponentenanalysen wurden die Parameter der primären Fleischbeschaffenheit ( $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert,  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert,  $\text{LF}_{24\text{h}}$ , TSV, GV,  $L^*_{24\text{h}}$ ,  $a^*_{24\text{h}}$ , Scherkraft) und des (anti)-oxidativen Stoffwechsels (mitochondriale Atmungskapazität, antioxidative Enzyme, Fettoxidation) verwendet. Hierbei wurde die Verteilung der untersuchten Probanden in Abhängigkeit von den Parametern, welche die 1. und die 2. Hauptkomponente beeinflussen, dargestellt.

### IV. Ergebnisse

#### 4.1. Gallus gallus gallus: Vergleich von Linie, Geschlecht und Alter

##### 4.1.1. Schlachtkörpermerkmale und Rohnährstoffe

Der Vergleich der Schlachtkörperdaten der untersuchten Broiler ergab teilweise signifikante Unterschiede. Bei den 28 d alten Masttieren gibt es zwischen den verschiedenen Linien keine Unterschiede im Schlachtkörpergewicht sowie im *MPS*- und Schenkelanteil. Das signifikant niedrigste Brustmuskel- und Schenkelgewicht haben die Cobb 700. Nach 41 d Mast unterscheiden sich alle drei Linien signifikant im Schlachtkörpergewicht. Es ist bei den Ross 708 am höchsten und bei den Cobb 700 am niedrigsten. Die Ross 308 liegen, mit einer Differenz von 73,60 g zu den Ross 708 und von 113,20 g zu den Cobb 700, dazwischen. Das signifikant höchste *MPS*-Gewicht haben die Ross 708, das niedrigste Schenkelgewicht die Cobb 700 und den niedrigsten *MPS*-Anteil die Ross 308. Der Vergleich der Geschlechter zeigt bei den Ross 708 Hennen nach 28 d Mast das signifikant niedrigere *MPS*- und Schenkelgewicht. Nach 41 d Mast ist hier auch das Schlachtkörpergewicht geringer. Ein Vergleich der Altersgruppen zeigt, dass die 41 d alten Masttiere das signifikant höhere Schlachtkörper-, *MPS*- und Schenkelgewicht sowie den höheren *MPS*-Anteil haben. Der Schenkelanteil ist bei ihnen geringer. Die Zunahme des Schlachtkörper-, *MPS*- und Schenkelgewichts innerhalb der 13 Tage, die zwischen den beiden Schlachtterminen lagen, fiel verschieden aus. Im Mittel stieg das Schlachtkörpergewicht um 53,3 %, das *MPS*-Gewicht um 46,6 % und das Schenkelgewicht um 57,7 %. Die höchste Steigerung des Gewichtes in Prozent zeigten die Ross 708 Hennen und die stärkste Gewichtszunahme in g die Ross 708 Hähne. Bei ihnen stieg das Schlachtkörpergewicht um 1120,30 g, was eine Steigerung von 48,7 %, ausgehend vom Gewicht nach 28 Masttagen, bedeutet. Der Anteil des *MPS* am Schlachtkörpergewicht stieg im Mittel um 2,9 %. Die höchste Zunahme kann hier bei den Cobb 700 (4,2 %) und die geringste Zunahme bei den Ross 308 (2,2 %) verzeichnet werden. Der Anteil des Schenkels am Schlachtkörper zeigte bei allen 4 Gruppen eine Reduktion. Im Durchschnitt sank der errechnete Anteil um 1,6 % ab. Die Cobb 700 haben mit 0,71 Punkten die geringste und die Ross 708 Hennen mit 2,05 Punkte die höchste Reduktion.

## Ergebnisse

In der nachfolgende Tabelle (Tab.02) sind die ermittelten Schlachtkörpermerkmale in Abhängigkeit dieser Faktoren zusammengefasst.

Tab.02: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Schlachtkörpermerkmale von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	Schlacht- körper- gewicht [g]	MPS- Gewicht, beide [g]	Schenkel- gewicht, beide [g]	MPS-Anteil [%]	Schenkel- anteil [%]
28 d	1013,29 <sup>1</sup> ± 10,26	197,87 <sup>1</sup> ± 2,43	283,30 <sup>1</sup> ± 3,24	19,53 <sup>1</sup> ± 0,15	27,96 <sup>1</sup> ± 0,17
Ross 308, m	1044,24 <sup>a</sup> ± 22,72	202,12 <sup>b</sup> ± 5,38	294,93 <sup>b</sup> ± 6,87	19,33 <sup>a</sup> ± 0,22	28,28 <sup>a</sup> ± 0,41
Cobb 700, m	1024,20 <sup>a</sup> ± 41,02	188,77 <sup>a</sup> ± 4,94	270,24 <sup>a</sup> ± 5,24	18,77 <sup>a</sup> ± 0,52	26,92 <sup>a</sup> ± 0,64
Ross 708, m	1038,50 <sup>ax</sup> ± 17,05	206,78 <sup>by</sup> ± 4,95	291,56 <sup>by</sup> ± 6,03	19,90 <sup>ax</sup> ± 0,32	28,09 <sup>ax</sup> ± 0,39
Ross 708, w	987,24 <sup>x</sup> ± 18,97	194,14 <sup>x</sup> ± 3,47	276,80 <sup>x</sup> ± 6,70	19,74 <sup>x</sup> ± 0,31	28,00 <sup>x</sup> ± 0,27
41 d	2020,10 <sup>2</sup> ± 23,47	454,49 <sup>2</sup> ± 5,96	532,83 <sup>2</sup> ± 6,72	22,51 <sup>2</sup> ± 0,15	26,37 <sup>1</sup> ± 0,12
Ross 308, m	2085,20 <sup>b</sup> ± 46,39	450,41 <sup>a</sup> ± 10,79	562,54 <sup>b</sup> ± 13,23	21,62 <sup>a</sup> ± 0,26	26,98 <sup>a</sup> ± 0,22
Cobb 700, m	1972,00 <sup>a</sup> ± 43,70	453,73 <sup>a</sup> ± 11,80	516,51 <sup>a</sup> ± 11,65	22,99 <sup>b</sup> ± 0,25	26,21 <sup>a</sup> ± 0,25
Ross 708, m	2158,80 <sup>cy</sup> ± 40,44	492,32 <sup>by</sup> ± 11,74	567,84 <sup>by</sup> ± 10,11	22,78 <sup>bx</sup> ± 0,26	26,34 <sup>ax</sup> ± 0,22
Ross 708, w	1864,40 <sup>x</sup> ± 36,10	421,49 <sup>x</sup> ± 9,27	484,43 <sup>x</sup> ± 11,61	22,65 <sup>x</sup> ± 0,37	25,95 <sup>x</sup> ± 0,22

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; MPS- und Schenkelanteil sind die errechneten Anteile von MPS und Schenkel (jeweils beide) am Schlachtkörpergewicht in Prozent

LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Bei den untersuchten Rohnährstoffen (Fett, Protein, Trockenmasse) (Tab.03) haben die 28 d alten Cobb 700 im Vergleich zu den Ross 308 und den Ross 708 einen signifikant höheren Proteingehalt sowie mehr Trockenmasse. Nach 41 d Mast haben die Cobb 700 im Vergleich zu den beiden anderen Linien einen signifikant höheren Fettgehalt. Dies ist in der Tendenz auch bei den 28 d alten Cobb 700 zu beobachten. Der Proteingehalt ist bei den 41 d alten Ross 308 im Vergleich zu den Cobb 700 signifikant höher. Die Ross 708 haben im Vergleich zu den Ross 308 die geringere Trockenmasse. Bei den 28 d alten Ross 708 gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die 41 d alten Ross 708 Hähne haben hingegen im Vergleich zu den Hennen den höheren Proteingehalt sowie mehr Trockenmasse. Ein Vergleich der beiden Altersgruppen zeigt, dass die 41 d alten Masttiere den signifikant höheren Fettgehalt in der Muskulatur des *MPS* haben.

Tab.03: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Prozentanteile an Fett, Protein und Trockenmasse im *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	Fett [%]	Protein [%]	Trockenmasse [%]
28 d	0,66 <sup>1</sup> ± 0,02	24,01 <sup>1</sup> ± 0,05	25,12 <sup>1</sup> ± 0,05
Ross 308, m	0,65 <sup>a</sup> ± 0,04	23,98 <sup>a</sup> ± 0,07	25,10 <sup>a</sup> ± 0,08
Cobb 700, m	0,75 <sup>a</sup> ± 0,06	24,28 <sup>b</sup> ± 0,11	25,47 <sup>b</sup> ± 0,11
Ross 708, m	0,60 <sup>ax</sup> ± 0,05	23,91 <sup>ax</sup> ± 0,09	25,06 <sup>ax</sup> ± 0,09
Ross 708, w	0,65 <sup>x</sup> ± 0,03	23,86 <sup>x</sup> ± 0,08	24,85 <sup>x</sup> ± 0,08
41 d	0,95 <sup>2</sup> ± 0,04	24,09 <sup>1</sup> ± 0,06	25,42 <sup>1</sup> ± 0,05
Ross 308, m	0,88 <sup>a</sup> ± 0,07	24,27 <sup>b</sup> ± 0,12	25,65 <sup>b</sup> ± 0,10
Cobb 700, m	1,28 <sup>b</sup> ± 0,08	23,71 <sup>a</sup> ± 0,11	25,37 <sup>ab</sup> ± 0,10
Ross 708, m	0,85 <sup>ax</sup> ± 0,04	23,98 <sup>abx</sup> ± 0,09	25,17 <sup>ax</sup> ± 0,11
Ross 708, w	0,80 <sup>x</sup> ± 0,05	24,41 <sup>y</sup> ± 0,10	25,50 <sup>y</sup> ± 0,10

\*Fett- und Proteingehalt sowie Trockenmasse gemessen 48 h p.m.

LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

### 4.1.2. Fleischqualitätsmerkmale

Die im *MPS* gemessenen pH-Werte sowie die LF zeigen nach 28 d Mast (Tab.04) keine Unterschiede zwischen den Linien. Im Vergleich der Geschlechter haben die Ross 708 Hennen den niedrigeren LF<sub>24h</sub> -Wert. Bei den 41 d alten Masthybriden (Tab.04) haben die Cobb 700 den signifikant niedrigeren LF<sub>24h</sub> -Wert. Ein Unterschied zwischen den Ross 708 Hähnen und Hennen besteht nicht.

Tab.04: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von pH-Wert und Leitfähigkeit (LF) des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt

Variablen*	<i>MPS</i> -pH <sub>20min</sub>	<i>MPS</i> -pH <sub>24h</sub>	<i>MPS</i> -LF <sub>20min</sub> [mS/cm]	<i>MPS</i> -LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	<i>MPS</i> -LF <sub>48h</sub> [mS/cm]
28 d	6,30 <sup>1</sup> ± 0,01	5,93 <sup>1</sup> ± 0,01	3,73 <sup>2</sup> ± 0,10	6,37 <sup>1</sup> ± 0,19	8,34 <sup>1</sup> ± 0,20
Ross 308, m	6,30 <sup>a</sup> ± 0,03	5,93 <sup>a</sup> ± 0,03	3,62 <sup>a</sup> ± 0,18	6,31 <sup>a</sup> ± 0,35	9,03 <sup>a</sup> ± 0,43
Cobb 700, m	6,30 <sup>a</sup> ± 0,03	5,91 <sup>a</sup> ± 0,03	3,59 <sup>a</sup> ± 0,18	6,19 <sup>a</sup> ± 0,42	8,17 <sup>a</sup> ± 0,41
Ross 708, m	6,30 <sup>ax</sup> ± 0,03	5,93 <sup>ax</sup> ± 0,03	4,14 <sup>ax</sup> ± 0,23	7,04 <sup>ay</sup> ± 0,41	8,34 <sup>ax</sup> ± 0,41
Ross 708, w	6,31 <sup>x</sup> ± 0,03	5,97 <sup>x</sup> ± 0,02	3,59 <sup>x</sup> ± 0,23	5,97 <sup>x</sup> ± 0,30	7,83 <sup>x</sup> ± 0,32
41 d	6,40 <sup>2</sup> ± 0,02	5,94 <sup>1</sup> ± 0,01	3,13 <sup>1</sup> ± 0,06	7,49 <sup>2</sup> ± 0,16	9,56 <sup>2</sup> ± 0,16
Ross 308, m	6,37 <sup>a</sup> ± 0,04	5,94 <sup>a</sup> ± 0,03	2,98 <sup>a</sup> ± 0,10	8,13 <sup>b</sup> ± 0,37	10,22 <sup>a</sup> ± 0,42
Cobb 700, m	6,46 <sup>a</sup> ± 0,03	5,93 <sup>a</sup> ± 0,03	3,16 <sup>a</sup> ± 0,11	7,10 <sup>a</sup> ± 0,27	9,36 <sup>a</sup> ± 0,22
Ross 708, m	6,39 <sup>ax</sup> ± 0,04	5,92 <sup>ax</sup> ± 0,02	3,29 <sup>ax</sup> ± 0,13	7,76 <sup>abx</sup> ± 0,27	9,52 <sup>ax</sup> ± 0,29
Ross 708, w	6,37 <sup>x</sup> ± 0,03	5,95 <sup>x</sup> ± 0,02	3,08 <sup>x</sup> ± 0,13	6,97 <sup>x</sup> ± 0,31	9,16 <sup>x</sup> ± 0,30

\**MPS* = *Musculus pectoralis superficialis*; *MPS*-pH<sub>20min</sub> / *MPS*-pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 20 min / 24 h p.m. im *MPS*; *MPS*-LF<sub>20min</sub> / *MPS*-LF<sub>24h</sub> / *MPS*-LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 20 min / 24 h p.m. / 48 h p.m. im *MPS*

LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Der Vergleich der beiden Altersgruppen (Tab.04) weist den signifikant niedrigeren pH<sub>20min</sub> -Wert sowie den niedrigeren LF<sub>24h</sub> - und LF<sub>48h</sub> -Wert bei den 28 d alten Masthybriden auf. Der LF<sub>20min</sub> -Wert ist bei den 41 d alten Masttieren signifikant niedriger. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen liegt bei 0,10 (pH<sub>20min</sub> - Wert) bzw. 0,60 (LF<sub>20min</sub>) Punkte und 1,12 (LF<sub>24h</sub>) bzw. 1,22 (LF<sub>48h</sub>) mS/cm.

Der im *MG* gemessene pH-Wert sowie die LF-Werte sind zwischen den 28 d alten Masthähnen (Tab.05) sowie den Geschlechtern vergleichbar. Nach 41 d Mast (Tab.05) haben die Ross 708 den niedrigsten pH<sub>24h</sub> -Wert und die Cobb 700 den niedrigsten LF<sub>24h</sub> -Wert im Vergleich zu den jeweiligen anderen beiden Linien. Unterschiede zwischen den Geschlechtern gibt es im pH<sub>24h</sub> -Wert und im LF<sub>24h</sub> -Wert. Hier ist der pH-Wert bei den Ross 708 Hähne niedrigeren und der LF-Wert höher.

Tab.05: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von pH-Wert und Leitfähigkeit (LF) des *M. gastrocnemicus* (*MG*) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt

Variablen*	<i>MG</i> -pH <sub>24h</sub>	<i>MG</i> -LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	<i>MG</i> -LF <sub>48h</sub> [mS/cm]
28 d	6,47 <sup>1</sup> ± 0,01	6,55 <sup>1</sup> ± 0,09	7,35 <sup>1</sup> ± 0,08
Ross 308, m	6,47 <sup>a</sup> ± 0,02	6,62 <sup>a</sup> ± 0,18	7,63 <sup>a</sup> ± 0,11
Cobb 700, m	6,47 <sup>a</sup> ± 0,03	6,68 <sup>a</sup> ± 0,18	7,13 <sup>a</sup> ± 0,15
Ross 708, m	6,43 <sup>ax</sup> ± 0,03	6,30 <sup>ax</sup> ± 0,16	7,21 <sup>ax</sup> ± 0,17
Ross 708, w	6,50 <sup>x</sup> ± 0,02	6,58 <sup>x</sup> ± 0,21	7,24 <sup>x</sup> ± 0,18
41 d	6,49 <sup>1</sup> ± 0,02	7,04 <sup>2</sup> ± 0,08	7,35 <sup>1</sup> ± 0,09
Ross 308, m	6,60 <sup>b</sup> ± 0,04	7,12 <sup>b</sup> ± 0,11	7,26 <sup>a</sup> ± 0,15
Cobb 700, m	6,49 <sup>b</sup> ± 0,05	6,93 <sup>a</sup> ± 0,16	7,27 <sup>a</sup> ± 0,14
Ross 708, m	6,29 <sup>ax</sup> ± 0,03	7,34 <sup>by</sup> ± 0,19	7,63 <sup>ax</sup> ± 0,20
Ross 708, w	6,58 <sup>y</sup> ± 0,03	6,78 <sup>x</sup> ± 0,13	7,25 <sup>x</sup> ± 0,20

\**MG* = *Musculus gastrocnemicus*; *MG*-pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 24 h p.m. im *MG*; *MG*-LF<sub>24h</sub> / *MG*-LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 24 h / 48 h p.m. im *MG*

LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Differenzen zwischen den Altersstufen gibt es im  $LF_{24h}$  -Wert des MG. Dieser ist bei den 28 d alten Masttiere im Vergleich zu den 41 d alten Tieren um 0,49 mS/cm niedriger.

Der Vergleich der pH-Werte und der elektrischen Leitfähigkeit zeigt signifikante Unterschiede zwischen dem *MPS* (Tab.04) und dem *MG* (Tab.05). Hierbei ist der  $pH_{24h}$  -Wert, der im *MG* gemessen wurde, signifikant höher im Vergleich zum  $pH_{24h}$  -Wert des *MPS*. Die Differenz zwischen den beiden Muskeln liegt bei 0,54 (28 d) bzw. 0,55 (41 d) Punkten. Nach 28 d Mast wird im *MPS* und im *MG* der Ross 708 Hennen der höchste pH-Wert gemessen. Bei den 41 d alten Masttieren hat keine Linien bzw. kein Geschlecht immer den niedrigsten oder höchsten pH-Wert. Im Vergleich der beiden Muskeln hat der *MPS* der 28 d alten Broiler zum Zeitpunkt 24 h p.m. die höhere LF. Die Differenz beträgt hier 0,18 mS/cm. Nach 41 d Mast beträgt der Unterschied zwischen den Muskeln 0,45 mS/cm, wobei der  $LF_{24h}$  -Wert des *MPS* höher ist. Während die eben genannten Unterschiede tendenziell sind, ist der  $LF_{48h}$  -Wert des *MPS* im Vergleich zum *MG* signifikant höher. Hier beträgt die Differenz zwischen den beiden Muskeln 0,99 mS/cm (28 d) bzw. 2,21 mS/cm (41 d). Die Unterschiede zwischen den beiden Altersstufen sind im *MPS* zu beiden Messzeitpunkten signifikant, während im *MG* nur der  $LF_{24h}$  -Wert verschieden ist. Die Betrachtung der Standardfehler (SEM) zeigt eine höhere Streuung der Werte, die im *MPS* gemessen wurden, als es bei den Werten des *MG* der Fall ist.

Die an der Oberfläche des *MPS* ermittelten  $L^*a^*b^*$ -Werte zeigen 24 h p.m. bei den 28 d alten Masthähnen (Tab.06) keine Unterschiede zwischen den Linien bzw. den Geschlechtern. Nach 41 d Mast (Tab.06) haben die Cobb 700 im Vergleich zu den anderen beiden Linien den signifikant höheren  $L^*_{24h}$  -Wert. Zwischen den Geschlechtern kann kein Unterschied ermittelt werden. Der Vergleich der beiden Altersgruppen zeigt, dass an der Oberfläche des *MPS* der 28 d alten Masttiere die signifikant niedrigeren  $L^*$ -Werte sowie die höheren  $a^*$ - und  $b^*$ -Werte gemessen werden. Die Differenz beträgt hier 1,74 ( $L^*_{24h}$ ), 1,17 ( $a^*_{24h}$ ) und 0,75 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte. Der Unterschied im  $L^*_{24h}$  -Wert wird durch die 41 d alten Cobb 700 bestimmt. Werden diese Daten entfernt, ist der  $L^*$ -Wert zwischen den Altersstufen vergleichbar, jedoch bleibt die Differenz im  $a^*$ - und  $b^*$ -Wert erhalten.

## Ergebnisse

Tab.06: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ ) des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	MPS - $L^*_{24h}$	MPS - $a^*_{24h}$	MPS - $b^*_{24h}$
28 d	51,13 <sup>1</sup> ± 0,22	3,52 <sup>2</sup> ± 0,08	8,70 <sup>2</sup> ± 0,13
Ross 308, m	51,18 <sup>a</sup> ± 0,47	3,44 <sup>a</sup> ± 0,19	8,73 <sup>a</sup> ± 0,25
Cobb 700, m	51,58 <sup>a</sup> ± 0,51	3,69 <sup>a</sup> ± 0,17	8,77 <sup>a</sup> ± 0,28
Ross 708, m	50,90 <sup>ax</sup> ± 0,46	3,73 <sup>ax</sup> ± 0,15	8,49 <sup>ax</sup> ± 0,31
Ross 708, w	50,86 <sup>x</sup> ± 0,30	3,22 <sup>x</sup> ± 0,14	8,81 <sup>x</sup> ± 0,20
41 d	52,87 <sup>2</sup> ± 0,25	2,35 <sup>1</sup> ± 0,07	7,95 <sup>1</sup> ± 0,13
Ross 308, m	52,66 <sup>a</sup> ± 0,51	2,17 <sup>a</sup> ± 0,17	8,02 <sup>a</sup> ± 0,27
Cobb 700, m	54,58 <sup>b</sup> ± 0,42	2,27 <sup>a</sup> ± 0,13	8,26 <sup>a</sup> ± 0,25
Ross 708, m	52,52 <sup>ax</sup> ± 0,44	2,61 <sup>ax</sup> ± 0,10	7,68 <sup>ax</sup> ± 0,28
Ross 708, w	51,74 <sup>x</sup> ± 0,45	2,35 <sup>x</sup> ± 0,18	7,83 <sup>x</sup> ± 0,26

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; Helligkeit ( $L^*$ ), Rotwert ( $a^*$ ) und Gelbwert ( $b^*$ ) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MPS 24 h p.m.

LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Altersgruppen

Von den 24 h p.m. an der MIL-Oberfläche ermittelten  $L^*a^*b^*$ -Werten unterscheidet sich der  $a^*_{24h}$ -Wert der 28 d alten Cobb 700 signifikant vom Wert der Ross 308. Ein Unterschied zwischen den Geschlechtern besteht nicht. Nach 41 d Mast haben die Ross 708 den höheren  $L^*_{24h}$ -Wert und, im Vergleich zu den Cobb 700, den niedrigeren  $a^*_{24h}$ -Wert. Die Geschlechter unterschieden sich hier im  $L^*_{24h}$ - und  $a^*_{24h}$ -Wert, wobei die Hähne den höheren  $L^*_{24h}$ - sowie den niedrigeren  $a^*_{24h}$ -Wert haben. Zwischen den beiden Altersstufen bestehen signifikante Unterschiede. Hier haben die 41 d alten Masthybriden mit einer Differenz von 1,29 ( $L^*_{24h}$ ), 0,55 ( $a^*_{24h}$ ) und 1,68 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte die höheren Werte. Die 24 h p.m. an der Oberfläche des MIL der Broiler ermittelten  $L^*a^*b^*$ -Werte sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab.07) in Abhängigkeit von der Mastlinie, dem Geschlecht und dem Alter zusammengefasst.

## Ergebnisse

Tab.07: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ ) des *M. iliotibialis lateralis* (MIL) von *Gallus gallus gallus* 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	MIL - $L^*_{24h}$	MIL - $a^*_{24h}$	MIL - $b^*_{24h}$
28 d	45,65 <sup>2</sup> ± 0,20	8,17 <sup>2</sup> ± 0,11	-0,15 <sup>2</sup> ± 0,12
Ross 308, m	45,07 <sup>a</sup> ± 0,43	7,79 <sup>a</sup> ± 0,19	-0,18 <sup>a</sup> ± 0,20
Cobb 700, m	46,03 <sup>a</sup> ± 0,44	8,57 <sup>b</sup> ± 0,26	-0,19 <sup>a</sup> ± 0,27
Ross 708, m	46,18 <sup>ax</sup> ± 0,34	8,03 <sup>abx</sup> ± 0,20	0,08 <sup>ax</sup> ± 0,20
Ross 708, w	45,33 <sup>x</sup> ± 0,35	8,29 <sup>x</sup> ± 0,20	-0,28 <sup>x</sup> ± 0,26
41 d	44,36 <sup>1</sup> ± 0,28	7,62 <sup>1</sup> ± 0,12	-1,83 <sup>1</sup> ± 0,13
Ross 308, m	44,08 <sup>a</sup> ± 0,47	7,53 <sup>ab</sup> ± 0,22	-1,50 <sup>a</sup> ± 0,29
Cobb 700, m	43,93 <sup>a</sup> ± 0,52	8,01 <sup>b</sup> ± 0,24	-2,21 <sup>a</sup> ± 0,29
Ross 708, m	46,76 <sup>by</sup> ± 0,36	6,90 <sup>ax</sup> ± 0,19	-1,88 <sup>ax</sup> ± 0,25
Ross 708, w	42,65 <sup>x</sup> ± 0,52	8,02 <sup>y</sup> ± 0,23	-1,74 <sup>x</sup> ± 0,23

\*MIL = *Musculus iliotibialis lateralis*; Helligkeit ( $L^*$ ), Rotwert ( $a^*$ ) und Gelbwert ( $b^*$ ) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MIL 24 h p.m.  
 LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Mastlinien gleichen Alters  
 LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Altersgruppen

Der Vergleich der Farbhelligkeitswerte an der Oberfläche des MPS mit denen des MIL zeigt signifikante Unterschiede. Bei beiden Altersstufen sind die  $L^*_{24h}$ -Werte des MPS signifikant höher und die  $a^*_{24h}$ -Werte niedriger. Der Unterschied beträgt im  $L^*_{24h}$ -Wert 5,48 (28 d) bzw. 8,54 (41 d) Punkte und im  $a^*_{24h}$ -Wert 4,65 (28 d) bzw. 5,27 (41 d) Punkte. Der  $L^*_{24h}$ -Wert der MPS-Oberfläche ist bei den älteren Masttieren höher und der  $L^*_{24h}$ -Wert der MIL-Oberfläche niedriger.

Die für die Broiler ermittelten Ergebnisse hinsichtlich des Tropfsaftverlustes, des Grillverlustes, der Scherkraft und des Muskelfaserdurchmesser sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab.08) zusammengefasst.

## Ergebnisse

Tab.08: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von Tropfsaft- und Grillverlust sowie Scherkraft und Muskelfaserdurchmesser des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	Tropfsaftverlust [%]	Grillverlust [%]	Scherkraft $F_{max}$ [N]	Muskelfaserdurchmesser [ $\mu$ m]
28 d	1,28 <sup>2</sup> ± 0,03	24,22 <sup>1</sup> ± 0,34	22,12 <sup>1</sup> ± 0,44	61,36 <sup>1</sup> ± 0,88
Ross 308, m	1,27 <sup>a</sup> ± 0,05	22,62 <sup>a</sup> ± 0,59	21,04 <sup>a</sup> ± 0,72	63,25 <sup>a</sup> ± 1,77
Cobb 700, m	1,27 <sup>a</sup> ± 0,06	24,73 <sup>b</sup> ± 0,68	23,14 <sup>a</sup> ± 0,82	61,53 <sup>a</sup> ± 1,63
Ross 708, m	1,25 <sup>ax</sup> ± 0,06	24,46 <sup>bx</sup> ± 0,54	21,96 <sup>ax</sup> ± 1,13	62,21 <sup>ax</sup> ± 1,13
Ross 708, w	1,30 <sup>x</sup> ± 0,07	25,07 <sup>x</sup> ± 0,81	22,35 <sup>x</sup> ± 0,78	58,47 <sup>x</sup> ± 2,13
41 d	0,76 <sup>1</sup> ± 0,03	26,80 <sup>2</sup> ± 0,35	25,16 <sup>2</sup> ± 0,44	73,88 <sup>2</sup> ± 0,60
Ross 308, m	0,67 <sup>a</sup> ± 0,05	25,70 <sup>a</sup> ± 0,62	24,67 <sup>a</sup> ± 0,85	72,76 <sup>a</sup> ± 1,26
Cobb 700, m	0,86 <sup>a</sup> ± 0,07	27,65 <sup>a</sup> ± 0,60	23,90 <sup>a</sup> ± 0,90	76,17 <sup>a</sup> ± 1,13
Ross 708, m	0,78 <sup>ax</sup> ± 0,06	27,73 <sup>ax</sup> ± 0,64	26,91 <sup>bx</sup> ± 0,85	73,21 <sup>ax</sup> ± 0,97
Ross 708, w	0,71 <sup>x</sup> ± 0,06	26,11 <sup>x</sup> ± 0,85	25,16 <sup>x</sup> ± 0,83	73,39 <sup>x</sup> ± 1,18

\*Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Ermittlung des Muskelfaserdurchmessers 90 min p.m.

LSM<sup>abc</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

Bei den 28 d alten Masthähnchen haben die Ross 308 im Vergleich zu den anderen beiden Linien den signifikant geringsten GV. Der TSV sowie die Scherkraft und der Muskelfaserdurchmesser sind zwischen den Linien vergleichbar. Ein Unterschied zwischen den Ross 708 Hähnen und Henne besteht nicht. Nach 41 d Mast haben die Ross 708 im Vergleich zu den Ross 308 und Cobb 700 die signifikant höheren Scherkraftwerte. Der Vergleich der Geschlechter zeigt keinen Unterschied.

## Ergebnisse

Im Vergleich der beiden Altersstufen haben die 41 d alten Masttiere den signifikant niedrigeren TSV. Der GV, die Scherkraft sowie der Durchmesser der Muskelfasern sind hier höher. Die altersbedingte Differenz in den einzelnen Parametern beträgt 0,52 (TSV) und 2,58 (GV) Punkte sowie 3,04 N (Scherkraft) und 12,52  $\mu\text{m}$  (Muskelfaserdurchmesser).

### 4.1.3. Entwicklung der Farbhelligkeit

#### 4.1.3.1. Entwicklung der Farbhelligkeit an der **Muskeloberfläche**

Bei den 28 d alten Masthähnchen konnten keine Unterschiede zwischen den  $L^*$ -Werten, die an der *MPS*-Oberfläche gemessen wurden, ermittelt werden. Tendenziell haben die Cobb 700 Hähne die höchsten  $L^*$ -Werte. Nach 41 d Mast haben die Cobb 700 über den gesamten Messzeitraum hinweg die signifikant höheren  $L^*$ -Werte. Der Vergleich der gleichaltrigen Ross 708 Hähne und der Ross 708 Hennen zeigt keine Unterschiede. Die Entwicklung der Helligkeit über die Zeit ist zwischen den Linien bzw. den Geschlechtern eines Alters vergleichbar und zeigt einen kontinuierlichen Anstieg der Werte. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der  $L^*$ -Werte an der *MPS*-Oberfläche der 28 d (Abb.14) und der 41 d (Abb.15) alten Broiler.

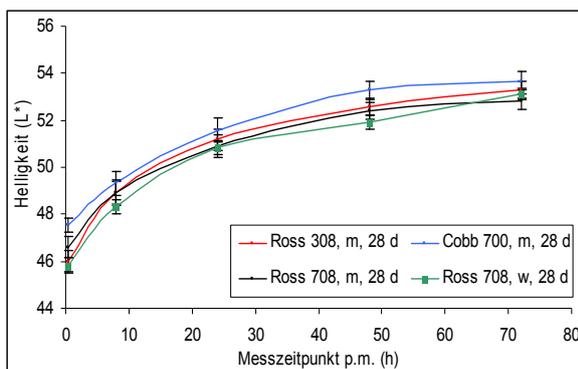


Abb.14: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des ***M. pectoralis superficialis*** (*MPS*) der **28 d alten Broiler** über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht

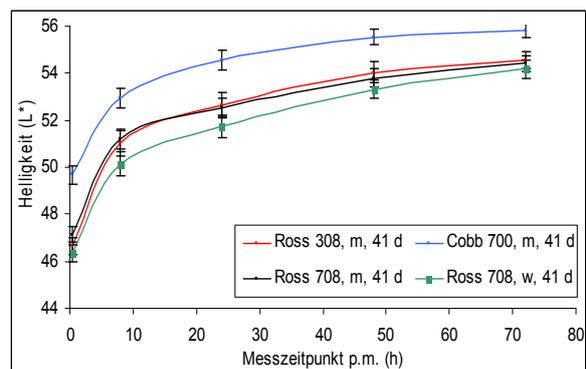


Abb.15: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des ***M. pectoralis superficialis*** (*MPS*) der **41 d alten Broiler** über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht

## Ergebnisse

Die Entwicklung der  $L^*$ -Werte an der *MIL*-Oberfläche der 28 d alten Masttiere zeigt, mit Ausnahme des niedrigeren  $L^*_{48h}$ -Wertes der Ross 308, keine Unterschiede. Die  $L^*$ -Werte der 41 d alten Ross 708 sind, mit Ausnahme des  $L^*_{20min}$ -Wertes, signifikant von den anderen Linien verschieden. Nach 28 d Mast unterscheiden sich die Geschlechter im  $L^*_{48h}$ -Wert. Dieser ist, wie alle Werte nach 41 d Mast, bei den Ross 708 Hähne höher. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der  $L^*$ -Werte an der *MIL*-Oberfläche der 28 d (Abb.16) und der 41 d (Abb.17) alten Broiler.

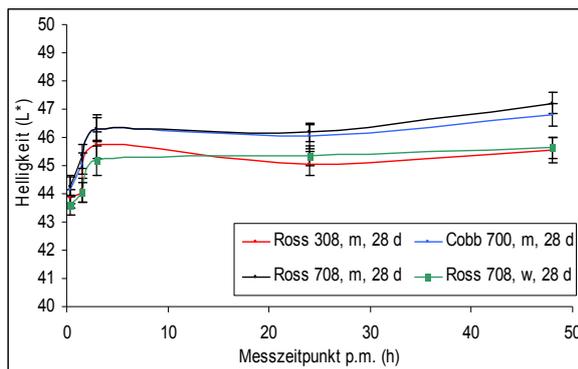


Abb.16: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des ***M. iliotibialis lateralis* (MIL)** der **28 d alten Broiler** über 48 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht

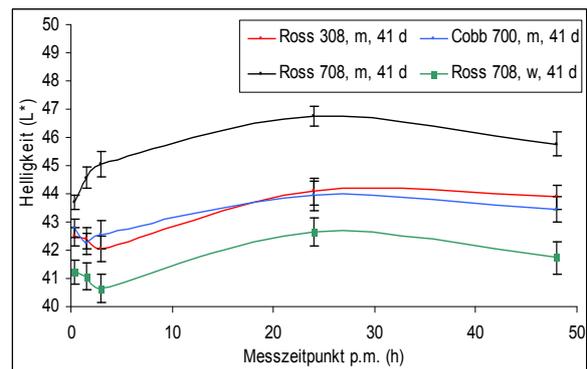


Abb.17: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des ***M. iliotibialis lateralis* (MIL)** der **41 d alten Broiler** über 48 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht

Die an der *MPS*-Oberfläche ermittelten  $L^*$ -Werte (Abb.18) zeigen zwischen den beiden Altersstufen signifikante Unterschiede, welche auf die Ergebnisse der 41 d alten Cobb 700 Hähnen zurückzuführen sind. Nach Entfernung dieser Werte aus dem Datensatz sind beiden Altersstufen miteinander vergleichbar. Unter Verwendung der Ergebnisse dieser Linie beträgt die Differenz zwischen den 28 d und den 41 d alten Broilern 0,96 ( $L^*_{20min}$ ) bzw. 1,51 ( $L^*_{72h}$ ) Punkte. Der Anstieg der Werte über die Zeit liegt bei 6,74 (28 d) bzw. 7,29 (41 d) Punkte. Die Entwicklung der  $L^*$ -Werte über die Zeit ist bei den jüngeren Masttieren gleichmäßiger. Die  $L^*$ -Werte der *MIL*-Oberfläche (Abb.19) zeigt Differenzen zwischen den beiden Altersstufen was die Höhe der Werte und ihre Entwicklung über die Zeit betrifft. Zu allen Messzeitpunkten haben die älteren Masttiere die signifikant niedrigeren  $L^*$ -Werte.

## Ergebnisse

Bei den 28 d alten Masttieren ist in den ersten 3 h p.m. ein signifikanter Anstieg der Werte zu beobachten. Die Differenz des  $L^*_{3h}$  zum  $L^*_{20min}$  beträgt 1,92 Punkte. Der  $L^*$ -Wert der 41 d alten Masthybriden zeigt innerhalb der ersten 3 h p.m. keinen Anstieg. Ein signifikanter Anstieg um 1,78 Punkte erfolgt vom  $L^*_{3h}$  - zum  $L^*_{24h}$  -Wert. Die an der Oberfläche des *MPS* (Abb.18) und des *MIL* (Abb.19) ermittelten  $L^*$ -Werte sind in den nachfolgenden Abbildungen zusammengefasst.

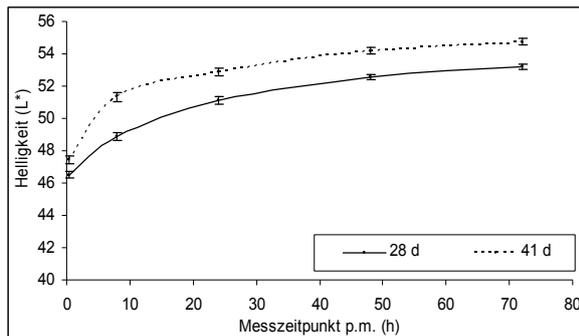


Abb.18: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der Oberfläche des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Gallus gallus gallus* über 72 h

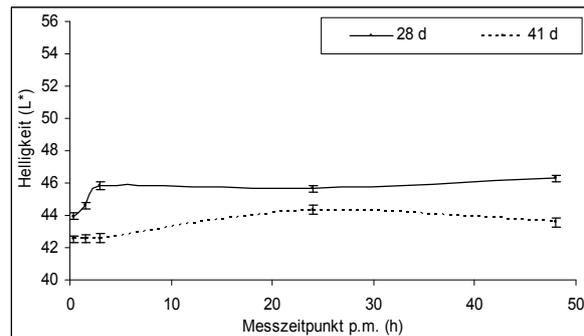


Abb.19: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) ( $LSM \pm SEM$ ) an der Oberfläche des *M. iliotibialis lateralis* (*MIL*) von *Gallus gallus gallus* über 48 h

Für die *MPS*-Oberfläche (Abb.20) können für die  $a^*$ -Werte signifikante Unterschiede zwischen den Altersstufen ermittelt werden, nicht jedoch zwischen den Linien bzw. Geschlechtern. Die 28 d alten Masthybriden haben über den gesamten Messzeitraum die höheren Werte, wobei der Verlauf der Werte über die Zeit sowie die Differenz zwischen den Messzeitpunkten zwischen den Altersstufen vergleichbar ist. Die  $a^*$ -Werte der *MIL*-Oberfläche sind nach 28 d Mast bei den Cobb 700 im Vergleich zu den Ross 308 signifikant höher, während sie nach 41 d Mast zu den Ross 308 und den Ross 708 verschieden sind. Zwischen den 28 d alten Ross 708 Hähne und Hennen ist der  $a^*_{48h}$  -Wert verschieden. Nach 41 d Mast haben die Ross 708 Hennen, mit Ausnahme des  $a^*_{20min}$  -Wert, immer die höheren  $a^*$ -Werte. Im Vergleich der 28 d und der 41 d alten Broiler haben die jüngeren Tiere die signifikant höheren  $a^*$ -Werte an der *MIL*-Oberfläche (Abb.21). Bei beiden Altersstufen ist der  $a^*_{20min}$  -Wert nahezu identisch mit dem  $a^*_{48h}$  -Wert.

## Ergebnisse

Die an der Oberfläche des *MPS* (Abb.20) und des *MIL* (Abb.21) ermittelten  $a^*$ -Werte sind in den nachfolgenden Abbildungen zusammengefasst.

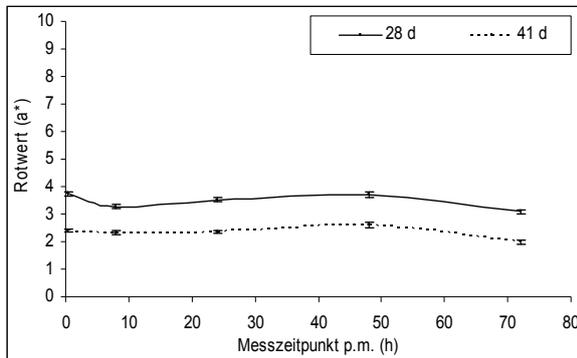


Abb.20: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Gallus gallus gallus* über 72 h

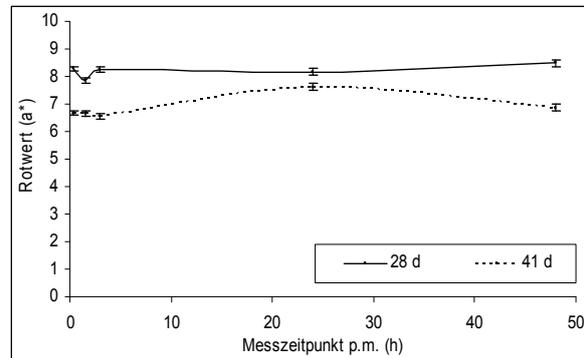


Abb.21: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. iliotibialis lateralis* (*MIL*) von *Gallus gallus gallus* über 48 h

### 4.1.3.2. Entwicklung der Farbhelligkeit am **Muskelschnitt**

Der Vergleich der  $L^*$ -Werte des *MPS*-Anschnitt zeigt zwischen den 28 d alten Linien keine Unterschiede. Bei den 41 d alten Masttieren haben die Cobb 700, mit Ausnahme des  $L^*_{3h}$ -Werts, die höheren Helligkeitswerte. Nach 28 d Mast sind die Geschlechter vergleichbar, während nach 41 d Mast die Ross 708 Hähne den höheren  $L^*_{24h}$ - und  $L^*_{48h}$ -Wert haben. Der Vergleich der beiden Altersstufen zeigt keine Unterschiede in den  $L^*$ -Werten oder der Entwicklung der Helligkeit über die Zeit. Der Anstieg der Werte über die Zeit beträgt in den ersten 3 h p.m. 1,61 (28 d) bzw. 0,85 (41 d) Punkte. Ausgehend vom  $L^*_{3h}$  steigen die Werte um weitere 2,58 (28 d) bzw. 3,02 (41 d) Punkte an. In den  $a^*$ -Werte unterscheiden sich die beiden Altersstufen signifikant. Hier haben die 28 d alten Masttiere die, im Mittel um 1 Punkt, höheren Werte. Die Entwicklung der  $a^*$ -Werte über die 48 h Messdauer zeigt, ausgehend vom jeweiligen  $a^*_{3h}$ -Wert, einen Anstieg um 0,74 (28 d) bzw. 0,45 (41 d) Punkte. Unterschiede im  $b^*$ -Wert gibt es zwischen den Altersstufen im  $b^*_{20min}$ -,  $b^*_{3h}$ - und  $b^*_{48h}$ -Wert. Hier haben die 28 d alten Masttiere die höheren Werte. Die Entwicklung der Werte über die Zeit ist zwischen den Altersgruppen vergleichbar. Der  $b^*_{48h}$ -Wert bleibt bei beiden Altersstufen unter dem  $b^*_{20min}$ -Wert.

## Ergebnisse

### 4.1.4. Myoglobingehalt und Anteil der Myoglobinvarianten

Der Vergleich der Gesamtmenge an Myoglobin (Mb) sowie der Anteile an Oxymyoglobin (OxyMb) und Metmyoglobin (MetMb) im Muskel der 28 d alten Broiler zeigt, mit Ausnahme des OxyMb<sub>20min</sub> -Gehaltes, keine Unterschiede zwischen den Linien. Der OxyMb<sub>20min</sub> -Gehalt der Cobb 700 ist mit 19,05 % signifikant höher zum Wert der Ross 708 mit 15,45 %. Der Vergleich der Geschlechter zeigt mit 66,21 % den höheren MetMb<sub>48h</sub> -Gehalt bei den Ross 708 Hennen im Vergleich zu den Hähnen (62,76 %). Bei den 41 d alten Masttieren gibt es keine Unterschiede zwischen den Linien. Ein Einfluss des Geschlechts konnte nicht ermittelt werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten besteht mit 21,46 % (OxyMb<sub>20min</sub>) zu 18,41 % (OxyMb<sub>48h</sub>) bei den 41 d alten Ross 708 Hähnen. Der Vergleich der beiden Altersgruppen zeigt Unterschiede im Myoglobingehalt sowie im Anteil an Oxy- und Metmyoglobin (Tab.09).

Tab.09: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des Myoglobingehaltes (Mb) sowie des Anteil an Oxymyoglobin (OxyMb) und Metmyoglobin (MetMb) im *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit vom Mastalter und Messzeitpunkt

Variablen*	28 d (N = 100)		41 d (N = 100)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
Mb <sub>20min</sub> [mg/g]	0,186 <sup>1x</sup>	± 0,02	0,345 <sup>2x</sup>	± 0,03
Mb <sub>48h</sub> [mg/g]	0,206 <sup>1x</sup>	± 0,02	0,343 <sup>2x</sup>	± 0,02
OxyMb <sub>20min</sub> [%]	17,24 <sup>1x</sup>	± 0,61	20,57 <sup>2y</sup>	± 0,44
OxyMb <sub>48h</sub> [%]	16,01 <sup>1x</sup>	± 0,55	19,23 <sup>2x</sup>	± 0,37
MetMb <sub>20min</sub> [%]	64,32 <sup>2x</sup>	± 0,76	56,76 <sup>1x</sup>	± 0,77
MetMb <sub>48h</sub> [%]	62,90 <sup>2x</sup>	± 0,73	56,88 <sup>1x</sup>	± 0,60

\*Mb<sub>20min</sub> / Mb<sub>48h</sub> = Gesamtmenge an Myoglobin in mg pro g Muskel gemessen 20 min / 48 h p.m.;  
 OxyMb<sub>20min</sub> / OxyMb<sub>48h</sub> = Prozentualer Anteil an Oxymyoglobin gemessen 20 min / 48 h p.m.;  
 MetMb<sub>20min</sub> / MetMb<sub>48h</sub> = Prozentualer Anteil an Metmyoglobin gemessen 20 min / 48 h p.m.  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppe  
 LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz

## Ergebnisse

Hierbei haben die 28 d alten Masttieren den niedrigeren Myoglobingehalt. Im Durchschnitt ist dieser Wert um 0,159 mg/g ( $Mb_{20min}$ ) bzw. um 0,137 mg/g ( $Mb_{48h}$ ) verschieden. Der Anteil an Oxymyoglobin ist bei den jüngeren Masttieren signifikant niedriger, während der Anteil an Metmyoglobin höher ist. Der Unterschied im Oxymyoglobin beträgt 3,33 ( $OxyMb_{20min}$ ) bzw. 3,22 ( $OxyMb_{48h}$ ) Punkte. Der Anteil an Metmyoglobin unterscheidet sich zwischen den Altersstufen um 7,56 ( $OxyMb_{20min}$ ) bzw. 6,02 ( $OxyMb_{48h}$ ) Punkte. Bei den 28 d alten Masttieren gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz. Der Anteil an Oxymyoglobin in den Proben der 41 d alten Masttiere ist zum Messzeitpunkt 20 min p.m. signifikant höher im Vergleich zum  $OxyMb_{48h}$  -Wert.

Um den Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Myoglobin und der Farbhelligkeit an der Oberfläche und am Anschnitt des Brustmuskels zu ermitteln, wurden die Korrelationen zwischen diesen Parametern berechnet.

Für die nachfolgende Berechnung wurden die  $L^*$ - und  $a^*$ -Werte verwendet, die an der Oberfläche des Brustmuskels ermittelt wurden. Hierbei zeigte die Betrachtung der frühpostmortal gewonnenen Ergebnisse keine signifikanten Korrelationen bei einer getrennten Analyse der beiden Altersstufen. Die Zusammenfassung beider Mastalter zeigt einen Zusammenhang des Myoglobingehalt mit dem  $L^*_{20min}$  - ( $r = 0,23^{**}$ ) und dem  $a^*_{20min}$  -Wert ( $r = -0,33^{***}$ ) und des Anteil an Metmyoglobin mit dem  $L^*_{20min}$  -( $r = -0,23^{**}$ ) und dem  $a^*_{20min}$  -Wert ( $r = 0,29^{**}$ ). Bei Betrachtung der spätpostmortal gewonnenen Ergebnisse haben die 28 d alten Masttiere eine Korrelation des Anteil an Metmyoglobin mit dem  $L^*_{48h}$  - ( $r = -0,30^*$ ) und dem  $a^*_{48h}$  - Wert ( $r = -0,28^*$ ). Der  $a^*_{48h}$  -Wert ist zudem positiv mit dem Anteil an Oxymyoglobin korreliert ( $r = 0,33$ ). Für die 41 d alten Masttiere konnte ein Zusammenhang zwischen dem  $a^*_{48h}$  -Wert und dem Anteil an Oxymyoglobin ( $r = -0,28^*$ ) sowie dem Anteil an Metmyoglobin ( $r = 0,25^*$ ) ermittelt werden. Nach der Zusammenfassung der beiden Altersgruppen bestand eine Korrelation des Myoglobingehalt mit dem  $L^*_{20min}$  - ( $r = 0,23^{**}$ ) und dem  $a^*_{20min}$  -Wert ( $r = -0,27^{**}$ ) sowie des Anteil an Metmyoglobin mit dem  $L^*_{20min}$  - ( $r = -0,34^{***}$ ) und dem  $a^*_{20min}$  -Wert ( $r = 0,25^{**}$ ).

## Ergebnisse

Für die nachfolgende Berechnung wurden die L\*- und a\*-Werte verwendet, die an der Anschnittfläche des Brustmuskels ermittelt wurden. Hier konnte bei Verwendung der frühpostmortal ermittelten Ergebnisse kein Zusammenhang des L\*<sub>20min</sub>-Werts mit den Myoglobingehalt bzw. den Myoglobinvarianten dargestellt werden. Für den a\*<sub>20min</sub>-Wert kann, unter Verwendung aller Daten, eine negative Korrelation zum Myoglobingehalt (r = -0,35\*\*\*) bzw. eine positive zum Metmyoglobin (r = 0,21\*\*) berechnet werden. Bei den 28 d alten Masttieren besteht eine positive Korrelation mit dem Oxymyoglobin (r = 0,37\*). Zwischen den spätpostmortalen gewonnenen L\*-Wert und dem Myoglobingehalt bzw. den Myoglobinvarianten besteht kein Verhältnis das statistisch sicher ist. Unter Verwendung aller Daten besteht eine negative Beziehung zwischen dem a\*<sub>48h</sub>-Wert und dem Myoglobingehalt (r = -0,34\*\*\*) sowie dem Oxymyoglobin (r = -0,20\*) bzw. eine positive Beziehung zum Metmyoglobin (r = 0,27\*\*).

### 4.1.5. Mitochondriale Atmungskapazität

Die mitochondrialen Atmungskapazität zeigt keine Differenzen in Abhängigkeit von der genetischen Linie bzw. dem Geschlecht bei Betrachtung eines Alters. Der Vergleich der Altersstufen (Tab.10) zeigt, bis auf die State-4-Atmung, welche um 0,89 Punkte bei den 28 d alten Broilern höher ist, keine signifikanten Unterschiede.

Tab.10: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Pyruvat/Malat State-3-Atmung, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und des Respiratorischen Kontrollindex (RCI) des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit vom Mastalter

Variablen*	28 d (N = 100)		41 d (N = 100)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
Pyruvat/Malat State-3-Atmung	12,19 <sup>1</sup>	± 0,69	10,45 <sup>1</sup>	± 0,67
Succinat/Rotenon State-3-Atmung	6,94 <sup>1</sup>	± 0,42	6,53 <sup>1</sup>	± 0,41
State-4-Atmung	4,21 <sup>2</sup>	± 0,21	3,32 <sup>1</sup>	± 0,20
RCI	3,62 <sup>1</sup>	± 0,47	3,50 <sup>1</sup>	± 0,23

\*die Pyruvat/Malat-State-3-Atmung wurde ermittelt mit den Substraten Pyruvat und Malat; die Succinat/Rotenon State-3-Atmung wurde ermittelt mit den Substraten Succinat und Rotenon; die State-4-Atmung wurde ermittelt mit dem Substrat Oligomycin; der Respiratorische Kontrollindex (RCI) wurde errechnet aus der Division der Pyruvat/Malat-State-3-Atmung mit der State-4-Atmung  
LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppe

## Ergebnisse

### 4.1.6. Antioxidative Enzyme und Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen

Bei den 28 d alten Broiler (Abb.11) besteht in der Aktivität der antioxidativen Enzyme kein Unterschied zwischen den Linien bzw. dem Geschlecht. Der Vergleich der beiden Messzeiten zeigt die höhere Aktivität in der 20 min p.m. genommenen Probe. Bei den 41 d alten Masthähnen (Abb.11) unterscheiden sich die Ross 308 von den Ross 708 im SOD<sub>20min</sub> - und GR<sub>48h</sub> -Wert. Zwischen den Messzeiten bestehen, außer bei der SOD der Ross 708 beiderlei Geschlechtes, signifikante Differenzen.

Tab.11: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Aktivität der antioxidativen Enzyme (Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-Reduktase (GR) Glutathion-Peroxidase (GP)) im *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit vom Mastalter und dem Messzeitpunkt

Variablen*	28 d (N = 100)		41 d (N = 100)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
SOD <sub>20min</sub> [U/g]	109,76 <sup>2y</sup>	± 5,16	91,31 <sup>1y</sup>	± 5,08
SOD <sub>48h</sub> [U/g]	82,55 <sup>1x</sup>	± 5,26	77,41 <sup>1x</sup>	± 5,17
GR <sub>20min</sub> [U/g]	4,42 <sup>1y</sup>	± 0,16	3,88 <sup>1y</sup>	± 0,16
GR <sub>48h</sub> [U/g]	1,78 <sup>1x</sup>	± 0,09	1,86 <sup>1x</sup>	± 0,09
GP <sub>20min</sub> [U/g]	6,55 <sup>1y</sup>	± 0,31	7,01 <sup>1y</sup>	± 0,31
GP <sub>48h</sub> [U/g]	4,64 <sup>2x</sup>	± 0,20	3,96 <sup>1x</sup>	± 0,19

\*SOD<sub>20min</sub> / SOD<sub>48h</sub> = Aktivität der Superoxid-Dismutase gemessen 20 min / 48 h p.m.; GR<sub>20min</sub> / GR<sub>48h</sub> = Aktivität der Glutathion-Reduktase gemessen 20 min / 48 h p.m.; GP<sub>20min</sub> / GP<sub>48h</sub> = Aktivität der Glutathion-Peroxidase gemessen 20 min / 48 h p.m.

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz

Nachfolgend sind die ermittelten Ergebnisse für die untersuchten antioxidativen Enzyme im Einzelnen dargestellt.

## Ergebnisse

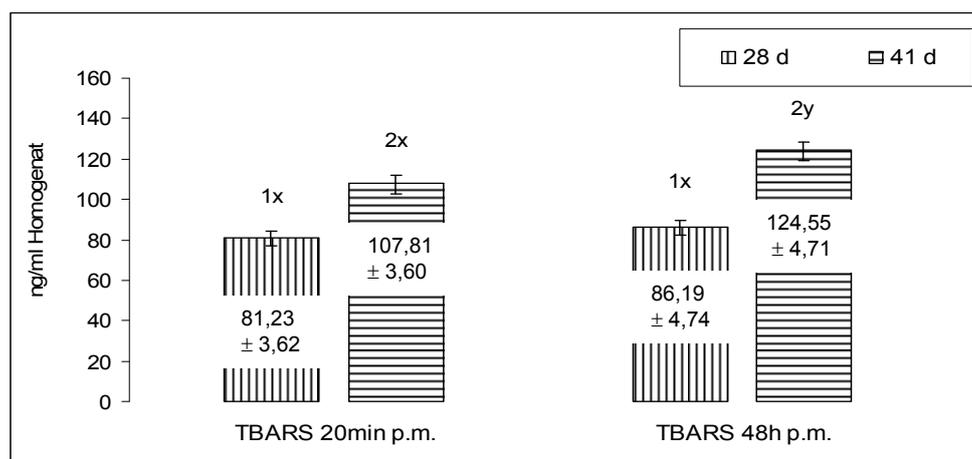
Die Aktivität der SOD (U/g Protein) ist bei den 28 d alten Masthähnchen zu keinem Messzeitpunkt zwischen den Mastlinien verschieden. Tendenziell ist der SOD<sub>20min</sub> - Wert mit einer Aktivität von 103,59 U bei den Ross 708 am niedrigsten. Die Differenz zu den anderen beiden Linien beträgt hier knapp 14 U. Mit einer gemessenen Aktivität von 101,63 U haben die Ross 708 Hennen den tendenziell niedrigeren Wert im Vergleich der Geschlechter. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Linien besteht nach 41 d Mast im SOD<sub>20min</sub> -Wert der Ross 708 und der Ross 308. Hierbei haben die letztgenannten mit einem Wert von 93,92 U die höhere Aktivität. Die Differenz zu den Ross 708 beträgt somit 23,47 U. Der Vergleich der Ross 708 Hähne und Hennen zeigt tendenzielle Unterschiede zu beiden Messzeitpunkten, wobei in den Proben der Hennen mit 92,92 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 83,50 U (SOD<sub>48h</sub>) die höhere Aktivität messbar ist. Die Differenz zu den Ross 708 Hähnen beträgt 22,47 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 13,83 U (SOD<sub>48h</sub>). Nach 28 d Mast (Tab.11) ist die Aktivität der SOD bei allen drei Linien bzw. beiden Geschlechtern 20 min p.m. signifikant höher im Vergleich zur Aktivität der 48 h p.m. genommenen Proben. Im Mittel liegt die Differenz zwischen dem SOD<sub>20min</sub> - und dem SOD<sub>48h</sub> -Wert bei 27,21 U. Nach 41 d Mast unterscheidet sich die Aktivität der beiden Messzeitpunkte bei den Ross 308 und den Cobb 700, wobei der SOD<sub>20min</sub> -Wert höher ist. In den Proben der Ross 308 konnte eine Aktivität von 108,65 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 81,17 U (SOD<sub>48h</sub>) und in den Proben der Cobb 700 von 93,92 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 75,46 U (SOD<sub>48h</sub>) nachgewiesen werden. Bei den Ross 708 Hähnen und Hennen ist der Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten tendenziell. Die Differenz zwischen dem SOD<sub>20min</sub> - und dem SOD<sub>48h</sub> -Wert nach 41 d Mast (Tab.11) liegt im Mittel bei 19,3 U. Der Vergleich der beiden Mastalter (Tab.11) zeigt die signifikant (20 min p.m.) bzw. tendenziell (48 h p.m.) höhere Aktivität in den Proben der 28 d alten Broiler, wobei die Differenz 18,45 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 5,14 U (SOD<sub>48h</sub>) beträgt.

In der Aktivität der GR (U/g Protein) gibt es keine Unterschiede zwischen den Mastlinien bzw. den Geschlechtern gleichen Alters. Der GR<sub>20min</sub> - und der GR<sub>48h</sub> - Wert einer Mastlinie bzw. eines Geschlechts gleichen Alters unterscheidet sich signifikant voneinander, wobei der GR<sub>48h</sub> -Wert niedriger ist. Im Mittel (Tab.11) beträgt die Differenz zwischen den Messzeiten 2,64 U (28 d) bzw. 2,02 U (41 d). Die Mastalter unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Tendenziell haben die 28 d alten Broiler den höheren SOD<sub>20min</sub> und den niedrigeren SOD<sub>48h</sub> -Wert.

## Ergebnisse

Die ermittelte Aktivität der GP (U/g Protein) zeigt zwischen den Mastlinien bzw. Geschlechtern gleichen Alters keine Unterschiede. Bei den Mastlinie bzw. den Geschlechter gleichen Alters sind der GP<sub>20min</sub> - und der GP<sub>48h</sub> -Wert signifikant voneinander verschieden, wobei der GP<sub>20min</sub> -Wert höher ist. Die Differenz zwischen den Messzeitpunkten beträgt im Mittel 1,91 U (28 d) bzw. 3,05 U (41 d). Der Vergleich der 28 d und der 41 d alten Broilern miteinander (Tab.11) zeigt tendenzielle (20 min p.m.) und signifikante (48 h p.m.) Unterschiede. Hierbei ist die Aktivität der GP in den Proben der jüngeren Broiler 20 min p.m. tendenziell niedriger und 48 h p.m. signifikant höher. Die Differenz zwischen den Messzeitpunkten beträgt 0,46 U (GP<sub>20min</sub>) bzw. 0,68 U (GP<sub>48h</sub>) beträgt.

Die gemessene Konzentration an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS; ng/ml Homogenat) zeigt bei den 28 d alten Broiler keine Unterschiede zwischen den Mastlinien bzw. zwischen den Geschlechtern. Nach 41 d Mast haben die Cobb 700 20 min p.m. mit 124,48 ng die höhere Konzentration an TBARS. Die Differenz zwischen den Linien beträgt 31,65 ng. Nach 41 d Mast unterscheiden sich die Messzeitpunkte bei allen Linien bzw. den beiden Geschlechtern signifikant. Im Mittel beträgt die Differenz zwischen der 20 min und der 48 h p.m. genommenen Probe 16,74 ng. Zwischen den 28 d und den 41 d alten Broilern (Abb.22) gibt es signifikante Unterschiede, wobei sich die Werte der beiden Altersstufen um 26,58 ng (TBARS<sub>20min</sub>) bzw. 38,36 ng (TBARS<sub>48h</sub>) unterscheiden.



12 signifikante Differenzen (P<0,05) zwischen den Altersgruppen  
xy signifikante Differenzen (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten eines Mastalters

Abb.22: Konzentration an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) (LSM ± SEM) im *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt

## Ergebnisse

Um den Zusammenhang zwischen der Konzentration an TBARS und der Aktivität der antioxidativen Enzyme zu zeigen, wurden die Korrelationen zwischen diesen Parametern berechnet. Bei der Betrachtung aller untersuchter Tiere (N = 200) konnte zwischen der 20 min und der 48 h gemessenen Konzentration an TBARS eine Korrelation von  $r = 0,26^*$  und zwischen dem  $TBARS_{48h}$  -Wert und dem  $GR_{48h}$  -Wert von  $r = 0,15^*$  ermittelt werden. Bei den 28 d alten Masttieren konnte eine Korrelation zwischen dem  $TBARS_{20min}$  - und dem  $TBARS_{48h}$  -Wert ( $r = 0,23^*$ ) sowie zwischen dem  $TBARS_{20min}$  -Wert und dem  $GR_{48h}$  -Wert ( $r = 0,22^*$ ) festgestellt werden. Eine signifikante Korrelation von  $r = 0,22^*$  besteht zwischen dem  $TBARS_{20min}$  -Wert und dem  $SOD_{20min}$  -Wert der 41 d alten Masthybriden.

Um den Zusammenhang zwischen dem Fettgehalt einer Probe und der früh- und spätpostmortalen Konzentration an TBARS darzustellen, wurde die Korrelation zwischen diesen Parametern berechnet. Für die 41 d alten Cobb 700 konnte hier ein Zusammenhang zwischen dem Fettgehalt und dem  $TBARS_{20min}$  -Wert von  $r = 0,48^*$  ermittelt werden. Die Konzentration an TBARS 48 h p.m. korreliert mit dem Fettgehalt der 28 d alten Cobb 700 ( $r = 0,64^{**}$ ) und der 41 d alten Ross 708 Hennen ( $r = 0,45^*$ ) sowie mit den der 28 d ( $r = 0,28^{**}$ ) und der 41 d ( $r = 0,27^{**}$ ) alten Broiler. Der  $TBARS_{48h}$  -Wert ist in den folgenden beiden Scatterplots mit dem Fettgehalt der 28 d (Abb.23) und der 41 d (Abb.24) in Zusammenhang gebracht. Der Vergleich zeigt, dass bei den 28 d alten Masttieren die Werte wesentlich enger beieinander liegen, wobei der Hauptanteil der Probanden in einem Bereich von 0,4 bis 1,0 % Fett und einer Konzentration von 40 bis 100 ng TBARS liegt.

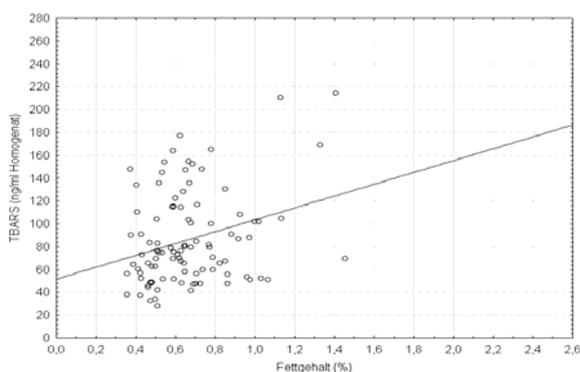


Abb.23: Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS 48 h p.m. und dem Fettgehalt von *Gallus gallus gallus* nach **28 d Mast**

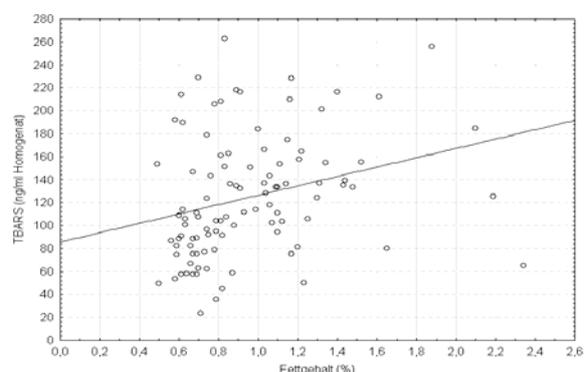


Abb.24: Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS 48 h p.m. und dem Fettgehalt von *Gallus gallus gallus* nach **41 d Mast**

## Ergebnisse

### 4.2. *Meleagris gallopavo*: Vergleich von Linie, Geschlecht und Alter

#### 4.2.1 Schlachtkörpermerkmale und Rohnährstoffe

Die Schlachtkörpermerkmale der 112 d alten Mastputen zeigen, bis auf das Schenkelgewicht, keine signifikanten Unterschiede. Bei den Big 9 ist im Vergleich zu den Big 6 das Gewicht der Schenkel niedriger. Die Differenz liegt bei 0,13 kg. In den anderen Merkmalen gibt es tendenzielle Differenzen. Hier haben die Big 6 das höhere Schlachtkörpergewicht sowie den höheren Schenkelanteil. Der *MPS*-Anteil ist bei den Big 9 höher. Zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen gibt es signifikante Unterschiede in allen Schlachtkörpermerkmalen. Hierbei haben die Hähne, mit Ausnahme des *MPS*-Anteils, die höheren Werte. Der Unterschied im Schlachtkörpergewicht beträgt 2,86 kg. Der *MPS* der Hähne ist im Vergleich zu den Hennen um 0,59 kg und die Schenkel um 1,03 kg schwerer. Der Schenkelanteil ist bei ihnen um 2,27 Punkte höher. Der Anteil des *MPS* am Schlachtkörper ist bei den Hennen um 1,87 Punkte höher. Nach 147 d Mast haben die Big 6 im Vergleich zu den Big 9 das signifikant höhere Schlachtkörpergewicht. Die Differenz zwischen den Hähnen beträgt 0,69 kg. Tendenzielle Unterschiede gibt es im Brustmuskel- und Schenkelgewicht, welche bei den Big 6 höher sind sowie in den errechneten Anteilen von *MPS* und Schenkel am Schlachtkörpergewicht. Diese sind bei den Big 9 höher.

Der Vergleich der beiden Altersstufen zeigt die signifikant niedrigeren Werte, mit Ausnahme des Schenkelanteils, bei den 112 d alten Mastputen. Das Schlachtkörpergewicht steigt in den 35 d, die zwischen den Schlachtungen liegen, im Durchschnitt um 5,95 kg an. Dies entspricht einer täglichen Zunahme von 170 g. Das Gewicht des *MPS* steigt um 1,9 kg und das der Schenkel um 1,5 kg. Dies entspricht einer Zunahme um 71 % (*MPS*) bzw. 65 % (Schenkel). Der Anteil des *MPS* am Schlachtkörper liegt nach 147 d Mast um 2,21 Punkte über dem Wert der 112 d alten Puten. Der Anteil des Schenkelmuskels ist bei den jüngeren Mastputen um 0,79 Punkte höher. Die Betrachtung der einzelnen Linien zeigt bei den Big 6 eine Zunahme des Schlachtkörpergewichtes um 5,30 kg und bei den Big 9 um 4,92 kg. Das Gewicht des *MPS* nimmt um 1,81 kg (Big 6) bzw. 1,74 kg (Big 9) zu und das der Schenkel um 1,45 kg (Big 6) bzw. 1,25 kg (Big 9). Der Anteil des *MPS* am Schlachtkörper erhöht sich bei den Big 6 um 2,74 Punkte und bei den Big 9 um 2,65 Punkte. Der Anteil des Schenkel sinkt um 1,82 (Big 6) bzw. 1,10 (Big 9).

## Ergebnisse

Die nachfolgende Tabelle (Tab.12) zeigt die ermittelten Schlachtkörpermerkmale der Puten in Abhängigkeit von der Mastlinie, dem Geschlecht und dem Alter.

Tab.12: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Schlachtkörpermerkmale von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	Schlacht- körper- gewicht [kg]	MPS- Gewicht, beide [kg]	Schenkel- gewicht, beide [kg]	MPS-Anteil [%]	Schenkel- anteil [%]
112 d	10,26 <sup>1</sup> ± 0,17	2,73 <sup>1</sup> ± 0,05	2,93 <sup>1</sup> ± 0,06	26,70 <sup>1</sup> ± 0,23	28,43 <sup>2</sup> ± 0,21
Big 9, m	10,95 <sup>a</sup> ± 0,19	2,91 <sup>a</sup> ± 0,06	3,16 <sup>a</sup> ± 0,05	26,59 <sup>a</sup> ± 0,34	28,92 <sup>a</sup> ± 0,33
Big 6, m	11,26 <sup>ay</sup> ± 0,11	2,93 <sup>ay</sup> ± 0,05	3,29 <sup>by</sup> ± 0,04	25,85 <sup>ax</sup> ± 0,32	29,25 <sup>ay</sup> ± 0,26
Big 6, w	8,40 <sup>x</sup> ± 0,18	2,34 <sup>x</sup> ± 0,08	2,26 <sup>x</sup> ± 0,04	27,72 <sup>y</sup> ± 0,47	26,98 <sup>x</sup> ± 0,29
147 d	16,21 <sup>2</sup> ± 0,14	4,69 <sup>2</sup> ± 0,07	4,47 <sup>2</sup> ± 0,04	28,91 <sup>2</sup> ± 0,28	27,63 <sup>1</sup> ± 0,21
Big 9, m	15,87 <sup>a</sup> ± 0,19	4,65 <sup>a</sup> ± 0,09	4,41 <sup>a</sup> ± 0,06	29,24 <sup>a</sup> ± 0,38	27,82 <sup>a</sup> ± 0,27
Big 6, m	16,56 <sup>b</sup> ± 0,20	4,74 <sup>a</sup> ± 0,10	4,54 <sup>a</sup> ± 0,06	28,59 <sup>a</sup> ± 0,41	27,43 <sup>a</sup> ± 0,32

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; MPS- und Schenkelanteil sind die errechneten Anteile von MPS und Schenkel (jeweils beide) am Schlachtkörpergewicht in Prozent

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

In der zweiten Untersuchung wurden Mastputen der Linie Hybrid XL und Big 700 im Alter von 106 d und 143 d geschlachtet. Der Vergleich zeigt signifikante Unterschiede zwischen den gleichaltrigen Linien sowie zwischen den Altersstufen. Für die Big 700 standen in diesem Versuch nur das Schlachtkörper- und das Brustmuskulgewicht zur Verfügung. Die Linie hat in beiden Altersstufen das signifikant niedrigere Gewicht sowie den geringeren MPS-Anteil.

## Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle (Tab.13) sind die Schlachtkörpermerkmale in Abhängigkeit von Mastlinie und Alter zusammengefasst.

Tab.13: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Schlachtkörpermerkmale von *Meleagris gallopavo* des 2. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie und dem Alter

Variablen*	Schlacht- körper- gewicht [kg]	MPS- Gewicht, beide [kg]	Schenkel- gewicht, beide [kg]	MPS-Anteil [%]	Schenkel- anteil [%]
106 d	11,67 <sup>1</sup> ± 0,12	3,33 <sup>1</sup> ± 0,05	3,59 <sup>1</sup> ± 0,05	28,61 <sup>1</sup> ± 0,36	
Hybrid XL, m	12,10 <sup>b</sup> ± 0,14	3,52 <sup>b</sup> ± 0,08	3,59 ± 0,05	29,10 <sup>b</sup> ± 0,52	29,77 <sup>1</sup> ± 0,55
Big 700, m	11,26 <sup>a</sup> ± 0,18	3,16 <sup>a</sup> ± 0,06		28,13 <sup>a</sup> ± 0,50	
143 d	16,53 <sup>2</sup> ± 0,19	4,96 <sup>2</sup> ± 0,09	4,93 <sup>2</sup> ± 0,07	29,93 <sup>2</sup> ± 0,31	
Hybrid XL, m	16,91 <sup>b</sup> ± 0,25	5,25 <sup>b</sup> ± 0,12	4,93 ± 0,07	30,98 <sup>b</sup> ± 0,44	29,22 <sup>1</sup> ± 0,35
Big 700, m	16,15 <sup>a</sup> ± 0,26	4,67 <sup>a</sup> ± 0,10		28,88 <sup>a</sup> ± 0,33	

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; MPS- und Schenkelanteil sind die errechneten Anteile von MPS und Schenkel am Schlachtkörpergewicht in Prozent  
 LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

Die Differenz zwischen den Hybrid XL und den Big 700 beträgt beim Schlachtkörpergewicht 0,84 kg (106 d) bzw. 0,75 kg (143 d). Der Unterschied im Gewicht des MPS ist nach 106 Masttagen mit 0,36 kg geringer als nach 143 d Mast mit 0,58 kg. Der Vergleich der beiden Altserstufen zeigt, dass die 106 d alten Masthybriden, das niedrigere Schlachtkörper- und Brustmuskelgewicht sowie den niedrigeren MPS-Anteil haben. Das Schlachtkörpergewicht differiert hierbei um 4,86 kg. Für die Hybrid XL entspricht dies einer täglichen Zunahme von 131 g. Das Brustmuskelgewicht unterscheidet sich um 1,63 kg. Bei den Hybrid XL steigt das Schenkelgewicht signifikant an, während der errechnete Anteil tendenziell sinkt.

## Ergebnisse

Der Vergleich der beiden Untersuchungen zeigt signifikante Unterschiede zwischen den 106 d und den 112 d alten Mastputen sowie den 143 d und 147 d alten Masttieren (Tab.12, Tab.13). Hierbei haben die 106 d bzw. 143 d alten Tiere im Vergleich zu den 112 d bzw. 147 d alten Masttieren die signifikant höheren Gewichte sowie die höheren *MPS*- und Schenkelanteile. Bei den 112 d und 147 d alten Hähnen haben die Big 6 das höchste Schlachtkörper-, *MPS*- und Schenkelgewicht. Im Vergleich hierzu haben die Hybrid XL nach 106 und 143 Masttagen das signifikant höhere Gewicht. Der Unterschied ist zwischen den 106 d alten Hybrid XL und den 112 d alten Big 6 höher als zwischen den 143 d und 147 d alten Masthybriden. Die Differenz im Schlachtkörpergewicht beträgt 1,16 kg (106 d zu 112 d) bzw. 0,35 kg (143 d zu 147 d). Die Unterschiede im Gewicht des *MPS* bzw. des Schenkel sind zwischen den jüngeren und den älteren Puten vergleichbar. Der Anteil des *MPS* am Schlachtkörpergewicht ist mit einem errechneten Anteil von 29,10 % (106 d) bzw. 30,98 % (143 d) bei den Hybrid XL am höchsten. Die Werte zeigen keinen so starken Anstieg wie dies bei den Big 6 und Big 9 der Fall ist. Hier haben die 147 d alten Hähne einen 2,69 % höheren *MPS*-Anteil im Vergleich zu den 112 d alten Tieren.

Die Zusammensetzung des Brustmuskels hinsichtlich des Gehaltes an Fett, Protein und Trockenmasse zeigt zwischen den 112 d alten Mastlinien keinen Unterschied. Eine signifikante Differenz besteht zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen im Fettgehalt. Hierbei haben die Hennen im Vergleich zu den Hähnen mit 1,10 % Fett im *MPS* einen doppelt so hohen Wert. Bei den 147 d alten Masthähnen haben die Big 9 im Vergleich zu den Big 6 den signifikant höheren Proteingehalt.

Zwischen den beiden Altersstufen (Tab.14) konnten signifikante Unterschiede im Fett- und im Proteingehalt ermittelt werden. Hier haben die 147 d alten Masttiere den signifikant höheren Fettgehalt (1,70 %) sowie den niedrigeren Proteingehalt (24,54 %). Der Unterschied zu den jüngeren Masttieren liegt bei 0,94 Punkten (Fettgehalt) bzw. 0,81 Punkte (Proteingehalt). Ein Vergleich der Mastlinien nach Ausschluss der Big 6 Hennen zeigt einen Unterschied von 1,09 Punkten im Fettgehalt. Der Proteinanteil unterscheidet sich zwischen den Altersstufen um 0,68 Punkte. Der Anteil an Trockenmasse ist mit 26,39 % (112 d) bzw. 26,50 % (147 d) zwischen den beiden Altersstufen vergleichbar.

## Ergebnisse

Tab.14: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Prozentanteile an Fett, Protein und Trockenmasse im *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* aus dem 1. Versuchsdurchgang in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	Fett [%]	Protein [%]	Trockenmasse [%]
112 d	0,76 <sup>1</sup> ± 0,04	25,35 <sup>2</sup> ± 0,05	26,39 <sup>1</sup> ± 0,06
Big 9, m	0,65 <sup>a</sup> ± 0,06	25,44 <sup>a</sup> ± 0,09	26,40 <sup>a</sup> ± 0,09
Big 6, m	0,57 <sup>ax</sup> ± 0,03	25,37 <sup>ax</sup> ± 0,07	26,28 <sup>ax</sup> ± 0,06
Big 6, w	1,10 <sup>y</sup> ± 0,08	25,22 <sup>x</sup> ± 0,07	26,52 <sup>x</sup> ± 0,14
147 d	1,70 <sup>2</sup> ± 0,07	24,54 <sup>1</sup> ± 0,09	26,50 <sup>1</sup> ± 0,08
Big 9, m	1,68 <sup>a</sup> ± 0,09	24,72 <sup>b</sup> ± 0,12	26,65 <sup>a</sup> ± 0,10
Big 6, m	1,72 <sup>a</sup> ± 0,11	24,26 <sup>a</sup> ± 0,12	26,35 <sup>a</sup> ± 0,11

\*Fett- und Proteingehalt sowie Trockenmasse bestimmt 48 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

### 4.2.2. Fleischqualitätsmerkmale

Der pH-Wert und LF, die im *MPS* (Tab.15) gemessen wurden, zeigen mit Ausnahme des LF<sub>20min</sub> -Wert der 112 d alten Putenhähne keine Unterschiede zwischen den Linien gleichen Alters. Der LF<sub>20min</sub> ist um 1,49 mS/cm im Vergleich zu den Big 9 bei den Big 6 höher. Zwischen den Geschlechtern ist mit einer Differenz von 1,3 mS/cm der LF<sub>48h</sub> -Wert bei Big 6 Hähne im Vergleich zu den Hennen höher. Tendenziell ist dies auch bei dem LF<sub>20min</sub> - und LF<sub>24h</sub> -Wert zu beobachten. Nach 147 d Mast haben die Big 6 den tendenziell niedrigeren pH-Wert sowie die höhere LF. Der Vergleich der beiden Altersgruppen (Tab.14) zeigt signifikante Unterschiede im pH-Wert. Hierbei ist bei den 112 d alten Masttieren im Vergleich zu den älteren Puten der pH<sub>20min</sub> -Wert niedriger und der pH<sub>24h</sub> -Wert höher. Die Differenz beträgt 0,36 Punkte (pH<sub>20min</sub> -Wert) bzw. 0,12 Punkte (pH<sub>24h</sub> -Wert). Die Unterschiede zwischen den pH-Werten liegen bei 0,12 (112 d) bzw. 0,60 (147 d) Punkten. Der Anstieg der LF-Werte in den 48 h p.m. ist signifikant und misst bei beiden Altersstufen knapp 8 mS/cm.

## Ergebnisse

Tab.15: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt

Variablen*	MPS-pH <sub>20min</sub>	MPS-pH <sub>24h</sub>	MPS-LF <sub>20min</sub> [mS/cm]	MPS-LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	MPS-LF <sub>48h</sub> [mS/cm]
112 d	5,96 <sup>1</sup> ± 0,04	5,84 <sup>2</sup> ± 0,01	3,56 <sup>1</sup> ± 0,27	7,21 <sup>1</sup> ± 0,29	11,02 <sup>1</sup> ± 0,25
Big 9, m	5,93 <sup>a</sup> ± 0,06	5,86 <sup>a</sup> ± 0,02	3,07 <sup>a</sup> ± 0,14	7,66 <sup>a</sup> ± 0,41	11,52 <sup>a</sup> ± 0,37
Big 6, m	5,98 <sup>ax</sup> ± 0,07	5,84 <sup>ax</sup> ± 0,02	4,56 <sup>bx</sup> ± 0,73	7,62 <sup>ax</sup> ± 0,57	11,37 <sup>ay</sup> ± 0,48
Big 6, w	5,98 <sup>x</sup> ± 0,07	5,83 <sup>x</sup> ± 0,02	3,04 <sup>x</sup> ± 0,28	6,25 <sup>x</sup> ± 0,49	10,07 <sup>x</sup> ± 0,38
147 d	6,32 <sup>2</sup> ± 0,04	5,72 <sup>1</sup> ± 0,01	3,52 <sup>1</sup> ± 0,18	7,84 <sup>1</sup> ± 0,25	11,53 <sup>1</sup> ± 0,25
Big 9, m	6,36 <sup>a</sup> ± 0,05	5,72 <sup>a</sup> ± 0,02	3,37 <sup>a</sup> ± 0,16	7,70 <sup>a</sup> ± 0,30	11,36 <sup>a</sup> ± 0,34
Big 6, m	6,28 <sup>a</sup> ± 0,07	5,71 <sup>a</sup> ± 0,02	3,68 <sup>a</sup> ± 0,31	7,97 <sup>a</sup> ± 0,41	11,69 <sup>a</sup> ± 0,38

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; MPS-pH<sub>20min</sub> / MPS-pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 20 min / 24 h p.m. im MPS; MPS-LF<sub>20min</sub> / MPS-LF<sub>24h</sub> / MPS-LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 20 min / 24 h / 48 h p.m. im MPS

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

Für die im MG (Tab.16) gemessen pH-Werte sowie für die LF konnte kein Unterschied zwischen den Mastlinien bzw. den Geschlechtern gleichen Alters ermittelt werden. Die beiden Altersstufen sind im pH<sub>24h</sub> -Wert und LF<sub>24h</sub> -Wert signifikant verschieden, wobei der pH<sub>24h</sub> -Wert bei den 112 d alten Puten höher und der LF<sub>24h</sub> -Wert niedriger ist. Die Differenz beträgt 0,23 Punkte (pH<sub>24h</sub> -Wert) sowie 0,65 mS/cm (LF<sub>24h</sub>).

## Ergebnisse

Tab.16: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) des *M. gastrocnemicus* (MG) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter sowie dem Messzeitpunkt

Variablen*	MG-pH <sub>24h</sub>	MG-LF <sub>24h</sub> [mS / cm]	MG-LF <sub>48h</sub> [mS / cm]
112 d	6,16 <sup>2</sup> ± 0,02	6,12 <sup>1</sup> ± 0,09	7,54 <sup>1</sup> ± 0,12
Big 9, m	6,16 <sup>a</sup> ± 0,03	6,14 <sup>a</sup> ± 0,13	7,49 <sup>a</sup> ± 0,17
Big 6, m	6,18 <sup>ax</sup> ± 0,03	6,10 <sup>ax</sup> ± 0,14	7,46 <sup>ax</sup> ± 0,18
Big 6, w	6,17 <sup>x</sup> ± 0,03	6,13 <sup>x</sup> ± 0,20	7,70 <sup>x</sup> ± 0,29
147 d	5,93 <sup>1</sup> ± 0,02	6,77 <sup>2</sup> ± 0,16	7,76 <sup>1</sup> ± 0,14
Big 9, m	5,93 <sup>a</sup> ± 0,03	6,67 <sup>a</sup> ± 0,24	7,77 <sup>a</sup> ± 0,20
Big 6, m	5,93 <sup>a</sup> ± 0,02	6,87 <sup>a</sup> ± 0,21	7,76 <sup>a</sup> ± 0,19

\*MG = *Musculus gastrocnemicus*; MG-pH<sub>20min</sub> / MG-pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 20 min / 24 h p.m. im MG; MG-LF<sub>20min</sub> / MG-LF<sub>24h</sub> / MG-LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 20 min / 24 h / 48 h p.m. im MG

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

Der ermittelte spätpostmortale pH-Wert (pH<sub>24h</sub> -Wert) ist im MPS im Vergleich zum MG signifikant niedriger. Die Differenz zwischen den beiden Muskeln beträgt 0,32 (28 d) bzw. 0,21 (41 d) Punkte. Die Unterschiede zwischen den beiden Altersstufen sind bei beiden Muskeln signifikant. Die ermittelten LF-Werte sind zu beiden Messzeitpunkten im MPS signifikant höher. Die Differenz zwischen den beiden Muskeln beträgt 24 h p.m. 1,09 mS/cm (28 d) bzw. 1,07 mS/cm (41 d) und 48 h p.m. 3,48 (28 d) bzw. 3,77 (41 d) mS/cm. Der Wert der 48 h p.m. im MG gemessen wurde ist dabei mit dem 24 h p.m. ermittelten Wert des MPS vergleichbar.

## Ergebnisse

Für die Linien Hybrid XL ergab der Vergleich der beiden Altersstufen signifikante Differenzen im pH<sub>24h</sub> -Wert des *MPS*. Dieser Wert ist, wie tendenziell auch der pH<sub>20min</sub> -Wert des *MPS*, bei den 143 d alten Putenhähnen niedriger. Mit einem Unterschied von 1,31 mS/cm, wobei die 106 d alten Hybrid XL den höheren Wert haben, variiert auch der LF<sub>20min</sub> -Wert des *MPS* signifikant zwischen den Altersstufen. Der im *MG* gemessene pH<sub>24h</sub> -Wert sowie der LF<sub>24h</sub> -Wert sind zwischen den 106 d und den 143 d alten Hybrid XL verschieden. Hierbei sind beide Werte bei den jüngeren Masthähnen höher. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt 0,35 Punkte (pH<sub>24h</sub> -Wert) bzw. 0,64 mS/cm (LF<sub>24h</sub>). Der pH<sub>24h</sub> -Wert des *MPS* ist bei beiden Altersgruppen vom pH<sub>24h</sub> -Wert des *MG* verschieden. Der Unterschied beträgt hier 0,39 (106 d) bzw. 0,21 (143 d) Punkte wobei die Werte, die im *MG* gemessen wurden, höher sind. Die im *MG* gemessene LF ist im Vergleich zum *MPS* 24 h p.m. tendenziell und 48 h p.m. signifikant niedriger. Die im *MPS* und im *MG* gemessenen pH- und LF-Werte sind in der nachfolgende Tabelle (Tab.17) zusammengefasst.

Tab.17: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (LF) des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) und des *M. gastrocnemicus* (*MG*) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit vom Alter

Variablen*	106 d (N = 25)		143 d (N = 25)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
<i>MPS</i> -pH <sub>20min</sub>	6,52 <sup>1</sup>	± 0,02	6,46 <sup>1</sup>	± 0,03
<i>MPS</i> -pH <sub>24h</sub>	5,88 <sup>2</sup>	± 0,05	5,71 <sup>1</sup>	± 0,02
<i>MPS</i> -LF <sub>20min</sub> [mS/cm]	4,22 <sup>2</sup>	± 0,12	2,91 <sup>1</sup>	± 0,16
<i>MPS</i> -LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	7,43 <sup>1</sup>	± 0,21	7,36 <sup>1</sup>	± 0,36
<i>MPS</i> -LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	10,48 <sup>1</sup>	± 0,34	10,66 <sup>1</sup>	± 0,41
<i>MG</i> -pH <sub>24h</sub>	6,27 <sup>2</sup>	± 0,03	5,92 <sup>1</sup>	± 0,05
<i>MG</i> -LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	7,34 <sup>2</sup>	± 0,21	6,70 <sup>1</sup>	± 0,16
<i>MG</i> -LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	8,38 <sup>1</sup>	± 0,19	8,04 <sup>1</sup>	± 0,12

\**MPS* = *Musculus pectoralis superficialis*; *MPS*-pH<sub>20min</sub> / *MPS*-pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 20 min / 24 h p.m. im *MPS*; *MPS*-LF<sub>20min</sub> / *MPS*-LF<sub>24h</sub> / *MPS*-LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 20 min / 24 h / 48 h p.m. im *MPS*; *MG* = *Musculus gastrocnemicus*; *MG*-pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 24 h p.m. im *MG*; *MG*-LF<sub>24h</sub> / *MG*-LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 24 h / 48 h p.m. im *MG*  
LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Zwischen den beiden Versuchsgruppen bestehen signifikante Unterschiede in den pH-Werten bzw. den LF-Werten des *MPS* und des *MG*. Im *MPS* der 106 d alten Hybrid XL wurde im Vergleich zu den 112 d alten Masthybriden 20 min p.m. der höhere pH-Wert und LF-Wert gemessen. Die Differenz beträgt 0,56 Punkte (pH<sub>20min</sub> - Wert) bzw. 0,66 mS/cm (LF<sub>20min</sub>). Tendenziell ist auch der pH<sub>24h</sub> -Wert und der LF<sub>24h</sub> -Wert bei den jüngeren Hybrid XL höher, der LF<sub>48h</sub> -Wert ist hier jedoch niedriger. Im *MG* der Hybrid XL wurden ebenfalls die höheren pH-Werte und LF gemessen. Der Vergleich der 106 d mit den 112 d alten Puten zeigt Unterschiede von 0,11 Punkte (pH<sub>24h</sub> -Wert), 1,22 mS/cm (LF<sub>24h</sub>) bzw. 0,84 mS/cm (LF<sub>48h</sub>). Zwischen den 143 d und den 147 d alten Mastputen sind der pH<sub>20min</sub> -Wert sowie der LF<sub>20min</sub> - und der LF<sub>48h</sub> -Wert des *MPS* signifikant verschieden. Die Differenz zwischen den Altersstufen liegt bei 0,14 Punkten (pH<sub>20min</sub> -Wert), 0,61 mS/cm (LF<sub>20min</sub>) bzw. 0,87 mS/cm (LF<sub>48h</sub>), wobei die jüngeren Masttiere die niedrigeren Werte haben.

Die 24 h p.m. an der Oberfläche des *MPS* (Tabb.18) ermittelten L\*a\*b\*-Werte zeigen keine Unterschiede zwischen den Linien gleichen Alters. Die 112 d alten Big 6 Hennen haben im Vergleich zu den Hähnen den höheren L\*<sub>24h</sub> - und b\*<sub>24h</sub> -Wert.

Tab.18: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit (L\*a\*b\*) des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	<i>MPS</i> - L* <sub>24h</sub>	<i>MPS</i> - a* <sub>24h</sub>	<i>MPS</i> - b* <sub>24h</sub>
112 d	51,59 <sup>1</sup> ± 0,31	3,60 <sup>1</sup> ± 0,10	3,51 <sup>1</sup> ± 0,13
Big 9, m	50,94 <sup>a</sup> ± 0,53	3,79 <sup>a</sup> ± 0,21	3,49 <sup>a</sup> ± 0,23
Big 6, m	51,19 <sup>ax</sup> ± 0,53	3,37 <sup>ax</sup> ± 0,14	2,98 <sup>ax</sup> ± 0,16
Big 6, w	52,77 <sup>y</sup> ± 0,50	3,63 <sup>x</sup> ± 0,15	4,10 <sup>y</sup> ± 0,23
147 d	54,30 <sup>2</sup> ± 0,33	4,95 <sup>2</sup> ± 0,12	4,72 <sup>2</sup> ± 0,15
Big 9, m	54,18 <sup>a</sup> ± 0,50	5,15 <sup>a</sup> ± 0,16	4,71 <sup>a</sup> ± 0,20
Big 6, m	54,41 <sup>a</sup> ± 0,45	4,75 <sup>a</sup> ± 0,19	4,73 <sup>a</sup> ± 0,23

\**MPS* = *Musculus pectoralis superficialis*; Helligkeit (L\*), Rotwert (a\*) und Gelbwert (b\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des *MPS* 24 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Die Differenz zwischen den Geschlechtern beträgt 1,58 Punkte ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 1,12 Punkte ( $b^*_{24h}$ ). Zwischen den 112 d und den 147 d alten Masthybriden gibt es signifikante Unterschiede. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt 2,71 Punkte im  $L^*_{24h}$ -Wert bzw. 1,25 ( $a^*_{24h}$ ) und 1,21 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte. Bei allen drei Messwerten haben die älteren Mastputen die höheren Ergebnisse.

In der zweiten Versuchsdurchführung (Tab.19) zeigt der Vergleich der Mastlinien gleichen Alters die signifikant höheren  $L^*_{24h}$ -Werte bei den Hybrid XL im Vergleich zu den Big 700. Die Differenz zwischen den Linien beträgt 2,52 (106 d) bzw. 2,35 (143 d) Punkte. Der Vergleich der beiden Altersstufen zeigt tendenzielle Unterschiede im  $L^*_{24h}$ - und  $a^*_{24h}$ -Wert, wobei die 143 d alten Masthähne die höheren Werte haben. Signifikante Unterschiede bestehen hier im  $b^*_{24h}$ -Wert, welcher mit ein Differenz von 1,13 Punkten bei den 106 d alten Puten höher ist.

Tab.19: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ ) des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* des 2. Versuchsdurchgangs 24 h p.m. in Abhängigkeit von der Linie und dem Alter

Variablen*	MPS - $L^*_{24h}$	MPS - $a^*_{24h}$	MPS - $b^*_{24h}$
106 d	53,69 <sup>1</sup> ± 0,33	3,40 <sup>1</sup> ± 0,12	5,02 <sup>2</sup> ± 0,16
Hybrid XL, m	54,95 <sup>b</sup> ± 0,48	3,30 <sup>a</sup> ± 0,18	5,11 <sup>a</sup> ± 0,24
Big 700	52,43 <sup>a</sup> ± 0,27	3,50 <sup>a</sup> ± 0,16	4,93 <sup>a</sup> ± 0,21
143 d	53,80 <sup>1</sup> ± 0,30	3,65 <sup>1</sup> ± 0,09	3,89 <sup>1</sup> ± 0,11
Hybrid XL, m	54,97 <sup>b</sup> ± 0,35	3,55 <sup>a</sup> ± 0,13	4,04 <sup>a</sup> ± 0,16
Big 700	52,62 <sup>a</sup> ± 0,36	3,76 <sup>a</sup> ± 0,14	3,74 <sup>a</sup> ± 0,16

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; Helligkeit ( $L^*$ ), Rotwert ( $a^*$ ) und Gelbwert ( $b^*$ ) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MPS 24 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Altersgruppen

Die Betrachtung der beiden Versuchsgruppen zeigt signifikante Differenzen.

## Ergebnisse

Der Vergleich der 106 d mit den 112 d alten Masthybriden zeigt den signifikant höheren  $L^*_{24h}$  - und  $b^*_{24h}$  -Wert an der *MPS*-Oberfläche der jüngeren Puten. Die Unterschiede betragen hier 2,10 ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 1,51 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte. Der  $a^*_{24h}$  -Wert ist zwischen den Altersstufen ähnlich. Der Vergleich der beiden älteren Mastgruppen miteinander zeigt einen tendenziellen Unterschied im  $L^*_{24h}$  -Wert sowie signifikante Differenzen im  $a^*_{24h}$  - und  $b^*_{24h}$  -Wert. Die 143 d alten Masttiere haben hier im Vergleich zu den 147 d alten Puten die niedrigeren Werte. Der Unterschied in den Ergebnissen beträgt 1,30 ( $a^*_{24h}$ ) bzw. 0,83 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte.

Die 24 h p.m. an der Oberfläche des *MIL* (Tab.20) ermittelten  $L^*a^*b^*$ -Werte sind bei den 112 d und 147 d alten Masthähnen innerhalb einer Altersstufe ähnlich. Der Vergleich der Geschlechter zeigt den niedrigeren  $L^*_{24h}$  - und  $b^*_{24h}$  -Wert bei den Big 6 Hennen. Die Differenz zu den Hähnen beträgt hierbei 1,85 ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 0,98 ( $b^*_{24h}$ ) Punkten. Der Vergleich der beiden Altersstufen zeigt den niedrigeren  $L^*_{24h}$  -Wert sowie den höheren  $a^*_{24h}$  -Wert bei den jüngeren Masthybriden. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt 2,67 ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 0,66 ( $a^*_{24h}$ ) Punkte.

Tab.20: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ ) des *M. iliotibialis lateralis* (*MIL*) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs 24 h p.m. in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter.

Variablen*	<i>MIL</i> - $L^*_{24h}$	<i>MIL</i> - $a^*_{24h}$	<i>MIL</i> - $b^*_{24h}$
112 d	45,91 <sup>1</sup> ± 0,30	12,37 <sup>2</sup> ± 0,17	-4,70 <sup>1</sup> ± 0,18
Big 9, m	46,57 <sup>a</sup> ± 0,42	12,56 <sup>a</sup> ± 0,22	-4,58 <sup>a</sup> ± 0,28
Big 6, m	46,38 <sup>ay</sup> ± 0,48	12,08 <sup>ax</sup> ± 0,35	-5,23 <sup>ax</sup> ± 0,32
Big 6, w	44,53 <sup>x</sup> ± 0,59	12,46 <sup>x</sup> ± 0,32	-4,25 <sup>y</sup> ± 0,28
147 d	48,58 <sup>2</sup> ± 0,35	11,71 <sup>1</sup> ± 0,18	-4,60 <sup>1</sup> ± 0,19
Big 9, m	48,56 <sup>a</sup> ± 0,43	11,53 <sup>a</sup> ± 0,23	-4,72 <sup>a</sup> ± 0,25
Big 6, m	48,60 <sup>a</sup> ± 0,55	11,88 <sup>a</sup> ± 0,29	-4,49 <sup>a</sup> ± 0,29

\**MIL* = *Musculus iliotibialis lateralis*; Helligkeit ( $L^*$ ), Rotwert ( $a^*$ ) und Gelbwert ( $b^*$ ) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des *MIL* 24 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Mastlinien gleichen Alters

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Für den 2. Versuchsdurchgang wurden die an der Oberfläche des *MIL* ermittelten Farbhelligkeitswerte der 106 d und der 143 d alten Hybrid XL verwendet (Tab.21). Der Vergleich zeigt signifikante Unterschiede im  $L^*_{24h}$  - und  $b^*_{24h}$  -Wert. Hierbei ist der  $L^*_{24h}$  -Wert bei den 143 d alten Hybrid XL höher während der  $b^*_{24h}$  -Wert niedriger ist. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt hier 3,16 ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 1,34 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte.

Tab.21: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Oberflächen-Farbhelligkeit ( $L^*a^*b^*$ ) des *M. iliotibialis lateralis* (*MIL*) der Masthähne der Linie Hybrid XL 24 h p.m. in Abhängigkeit vom Alter

Variablen* Hybrid XL	<i>MIL</i> - $L^*_{24h}$	<i>MIL</i> - $a^*_{24h}$	<i>MIL</i> - $b^*_{24h}$
106 d	47,74 <sup>1</sup> ± 0,52	13,27 <sup>1</sup> ± 0,38	2,24 <sup>2</sup> ± 0,36
143 d	50,90 <sup>2</sup> ± 0,39	13,17 <sup>1</sup> ± 0,26	0,90 <sup>1</sup> ± 0,34

\**MIL* = *Musculus iliotibialis lateralis*; Helligkeit ( $L^*$ ), Rotwert ( $a^*$ ) und Gelbwert ( $b^*$ ) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des *MIL* 24 h p.m.  
LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Altersgruppen

Der Vergleich der beiden Versuchsgruppen zeigt Unterschiede zwischen den 106 d und den 112 d sowie zwischen den 143 d und den 147 d alten Masttieren. Die jeweils jüngeren Hybrid XL haben hier den höheren  $L^*_{24h}$  - und  $b^*_{24h}$  -Wert. Im Vergleich der 106 d mit den 112 d alten Puten beträgt die Differenz der Werten 1,93 ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 6,94 ( $b^*_{24h}$ ) Punkte. Zwischen den 143 d und den 147 d alten Masthybriden liegen die Unterschiede bei 2,32 ( $L^*_{24h}$ ) bzw. 5,5 ( $b^*_{24h}$ ) Punkten. Diese beiden Altersstufen unterschieden sich zudem signifikant im  $a^*_{24h}$  -Wert, welcher bei den 143 d alten Hybrid XL höher ist. Die Differenz beträgt hier 1,46 Punkte. Mit einem Unterschied von 0,90 Punkten ist der  $a^*_{24h}$  -Wert der 106 d alten Hybrid XL im Vergleich zum  $a^*_{24h}$  -Wert der 112 d alten Puten tendenziell höher.

## Ergebnisse

Zwischen den 112 d und 147 d alten Masthähnen bestehen im TSV und im GV sowie in der Scherkraft und im Muskelfaserdurchmesser keine Unterschiede zwischen den Linien gleichen Alters (Tab.22). In der Tendenz haben die 112 d alten Big 9 den höheren TSV und GV sowie den größeren Muskelfaserdurchmesser. Ein Unterschied zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Tendenziell haben hier die Hennen den höheren TSV sowie die niedrigeren Scherkraftwerte. Der Vergleich der beiden Altersgruppen zeigt den signifikant höheren TSV sowie den größeren Muskelfaserdurchmesser bei den älteren Mastputen, welche in der Tendenz zudem den niedrigeren GV und die geringeren Scherkraftwerte haben. Die Differenz zwischen den 112 d und den 147 d alten Puten beträgt 0,10 Punkte (TSV) 16,32 µm (Muskelfaserdurchmesser).

Tab.22: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von Tropfsaft- und Grillverlust sowie Scherkraft und Muskelfaserdurchmesser des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie, dem Geschlecht und dem Alter

Variablen*	Tropfsaftverlust [%]	Grillverlust [%]	Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	Muskelfaserdurchmesser [µm]
112 d	0,59 <sup>1</sup> ± 0,03	23,73 <sup>1</sup> ± 0,39	21,85 <sup>1</sup> ± 0,52	95,25 <sup>1</sup> ± 1,04
Big 9, m	0,60 <sup>a</sup> ± 0,06	24,11 <sup>a</sup> ± 0,65	22,25 <sup>a</sup> ± 1,03	95,68 <sup>a</sup> ± 1,68
Big 6, m	0,53 <sup>ax</sup> ± 0,04	23,97 <sup>ax</sup> ± 0,65	22,42 <sup>ax</sup> ± 0,66	94,85 <sup>ax</sup> ± 2,24
Big 6, w	0,64 <sup>x</sup> ± 0,06	23,04 <sup>x</sup> ± 0,77	20,78 <sup>x</sup> ± 0,99	95,22 <sup>x</sup> ± 1,63
147 d	0,69 <sup>2</sup> ± 0,03	23,54 <sup>1</sup> ± 0,51	20,88 <sup>1</sup> ± 0,55	111,57 <sup>2</sup> ± 2,46
Big 9, m	0,68 <sup>a</sup> ± 0,04	23,52 <sup>a</sup> ± 0,75	20,38 <sup>a</sup> ± 0,81	107,68 <sup>a</sup> ± 3,06
Big 6, m	0,70 <sup>a</sup> ± 0,04	23,55 <sup>a</sup> ± 0,71	21,39 <sup>a</sup> ± 0,76	115,46 <sup>a</sup> ± 3,35

\*Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Ermittlung des Muskelfaserdurchmessers 90 min p.m.  
 LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Mastlinien gleichen Alters  
 LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Geschlechtern gleichen Alters  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Der Vergleich der Putenlinien der 2. Untersuchung zeigt signifikante Unterschiede im TSV, im GV und in der Scherkraft nach 106 d Mast, wobei die Hybrid XL die höheren Werte haben. Die Differenz zu den Big 700 beträgt 0,16 (TSV) bzw. 2,34 Punkte (GV) und 3,11 N (Scherkraft). Nach 143 d Mast ist der Unterschied im TSV und im GV ebenfalls signifikant und beträgt 0,42 (TSV) bzw. 2,36 (GV) Punkte. Die Hybrid XL haben hier die höheren Werte. Der Vergleich der 106 d und der 143 d alten Mastlinien zeigt den signifikant niedrigeren GV bei den jüngeren Masttieren, wobei der Unterschied 1,57 Punkte beträgt. In der Tendenz sind die Scherkraftwerte bei den jüngeren Puten niedriger und der TSV höher. Der Muskelfaserdurchmesser ist zwischen den 106 d und 143 d alten Hybrid XL signifikant verschieden, wobei die älteren Mastputen die höheren Werte haben. Die Differenz beträgt hier 13,47  $\mu\text{m}$ . Der ermittelten TSV und der GV sowie die Scherkraft und der Muskelfaserdurchmesser der Puten in Abhängigkeit von der Linie und dem Alter sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab.23) zusammengefasst.

Tab.23: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) von Tropfsaft- und Grillverlust sowie Scherkraft und Muskelfaserdurchmesser des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* des 2. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von der genetischen Linie und dem Alter

Variablen*	Tropfsaftverlust [%]	Grillverlust [%]	Scherkraft $F_{\text{max}}$ [N]	Muskelfaserdurchmesser [ $\mu\text{m}$ ]
106 d	0,74 <sup>1</sup> $\pm$ 0,04	22,47 <sup>1</sup> $\pm$ 0,48	24,40 <sup>1</sup> $\pm$ 0,47	
Hybrid XL, m	0,82 <sup>b</sup> $\pm$ 0,06	23,55 <sup>b</sup> $\pm$ 0,64	26,00 <sup>b</sup> $\pm$ 0,44	89,98 <sup>1</sup> $\pm$ 1,47
Big 700, m	0,66 <sup>a</sup> $\pm$ 0,05	21,21 <sup>a</sup> $\pm$ 0,66	22,89 <sup>a</sup> $\pm$ 0,64	
143 d	0,64 <sup>1</sup> $\pm$ 0,06	24,04 <sup>2</sup> $\pm$ 0,46	25,46 <sup>1</sup> $\pm$ 0,62	
Hybrid XL, m	0,85 <sup>b</sup> $\pm$ 0,09	25,22 <sup>b</sup> $\pm$ 0,68	25,30 <sup>a</sup> $\pm$ 1,19	103,45 <sup>2</sup> $\pm$ 1,53
Big 700, m	0,43 <sup>a</sup> $\pm$ 0,03	22,86 <sup>a</sup> $\pm$ 0,61	25,64 <sup>a</sup> $\pm$ 0,96	

\*Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Ermittlung des Muskelfaserdurchmessers 90 min p.m.  
 LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) innerhalb einer Altersgruppe gleichen Alters  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Der Vergleich der unterschiedlichen Altersstufen zeigt zwischen den 106 d und den 112 d alten Puten signifikante Unterschiede im TSV und in der Scherkraft, die bei den jüngeren Puten höher sind, sowie im Muskelfaserdurchmesser. Dieser ist bei den jüngeren Puten niedriger. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt 0,15 Punkte (TSV), 2,55 N (Scherkraft) und 5,27  $\mu\text{m}$  (Muskelfaser). Signifikante Unterschiede zwischen den 143 d und den 147 d alten Puten bestehen in der Scherkraft und im Muskelfaserdurchmesser. Mit einer Differenz von 4,58 N ist die Scherkraft bei den 143 d alten Puten höher, während die 147 d alten Masthybriden einen um 8,12  $\mu\text{m}$  höheren Durchmesser der Muskelfasern haben.

### 4.2.3. Entwicklung der Farbhelligkeit

#### 4.2.3.1. Entwicklung der Farbhelligkeit an der Muskeloberfläche

Bei der graphischen Darstellung sowie der Besprechung der  $L^*a^*b$ -Werte der *MPS*-Oberfläche der 147 d alten Puten werden die 20 min und 8 h p.m. ermittelten Daten aufgrund einer Funktionsstörung des Minolta-Farbmessgerätes ausgeschlossen.

Zwischen den 112 d (Abb.25) und den 147 d (Abb.26) alten Putenhähnen konnten für die  $L^*$ -Werten der *MPS*-Oberfläche keine Unterschiede ermittelt werden. Im Vergleich der Geschlechter (Abb.25) haben die Big 6 Hennen, mit Ausnahme des  $L^*_{20\text{min}}$ , die höheren Werte. Die Entwicklung der Helligkeit über die Zeit ist zwischen den Linien bzw. den Geschlechtern vergleichbar.

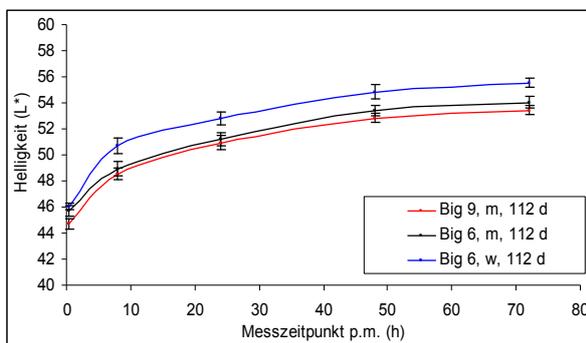


Abb.25: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) der **112 d alten Puten** über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht

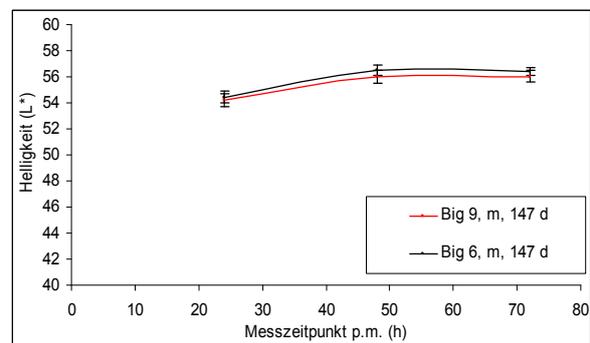


Abb.26: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) der **147 d alten Puten** über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie und dem Geschlecht

## Ergebnisse

Der Vergleich der 112 d mit den 147 d alten Puten zeigt an der Oberfläche des *MPS* die signifikant niedrigeren  $L^*$ -Werte bei den jüngeren Tieren. Die Entwicklung der Werte ist hierbei zwischen den Altersstufen vergleichbar. Bei den 112 d alten Puten kommt es zwischen dem  $L^*_{20\text{min}}$ -Wert und dem  $L^*_{24\text{h}}$ -Wert zu einem Anstieg der Werte um 6,15 Punkten, wobei bereits in den ersten 8 h p.m. eine Steigerung um 3,89 Punkte erfolgt. Bei den 147 d alten Puten ist, ausgehend vom  $L^*_{24\text{h}}$ -Wert zum  $L^*_{72\text{h}}$ -Wert hin, ein Anstieg um 2,70 (112 d) bzw. 1,91 (147 d) Punkte feststellbar. Der Vergleich der beiden Altersstufen hinsichtlich der  $L^*$ -Werte, die an der Oberfläche des MIL gemessen wurden, weist die signifikant höheren Werte, mit Ausnahme des  $L^*_{20\text{min}}$ - und  $L^*_{90\text{min}}$ -Wertes, bei den 147 d alten Puten auf. Der Verlauf der Werte zeigt in den ersten 24 h p.m. einen Anstieg. Dieser beträgt bei den 112 d alten Masthybriden 2,78 Punkte vom  $L^*_{20\text{min}}$ - zum  $L^*_{3\text{h}}$ -Wert. In den anschließenden 19 h nach der Schlachtung steigen die Werte um weitere 2,34 Punkte. Bei den 147 d alten Mastputen beträgt die Steigerung der Werte 3,86 ( $L^*_{20\text{min}}$  bis  $L^*_{3\text{h}}$ ) bzw. 3,77 ( $L^*_{3\text{h}}$  bis  $L^*_{24\text{h}}$ ) Punkte. Ausgehend vom  $L^*_{24\text{h}}$ -Wert sinken die Werte in den letzten 24 h der Messreihe um 1,62 (112 d) bzw. 0,82 (147 d) Punkte ab. Die  $L^*$ -Werte, die an der *MPS*- (Abb.27) und der *MIL*- (Abb.28) Oberfläche ermittelt wurden, sind in Abhängigkeit vom Alter der Puten in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

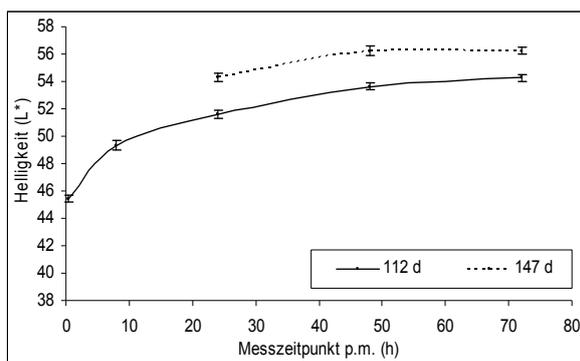


Abb.27: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Meleagris gallopavo* über 72 h

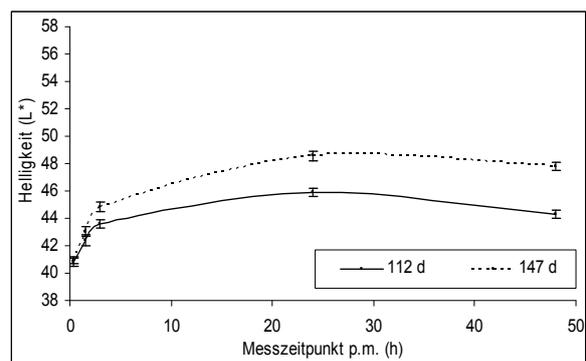


Abb.28: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) der Oberfläche des *M. iliotibialis lateralis* (*MIL*) von *Meleagris gallopavo* über 48 h

## Ergebnisse

Der Vergleich der 112 d mit den 147 d alten Puten zeigt ab 24 h p.m. die signifikant höheren  $a^*$ -Werte an der *MPS*-Oberfläche (Abb.29) der älteren Tiere. Die Differenz zwischen den Altersstufen beträgt im Mittel 1,5 Punkte. Die an der Oberfläche des *MIL* (Abb.30) ermittelten  $a^*$ -Werte sind ab 3 h p.m. bei den 112 d alten Puten höher. Die Differenzen zwischen den 28 d und den 41 d alten Puten sind an der *MPS*-Oberfläche größer. Die Entwicklung der Werte ist bei beiden Muskeln geradlinig, wobei der jeweils erste und letzte gemessene Wert einer Altersstufe vergleichbar ist.

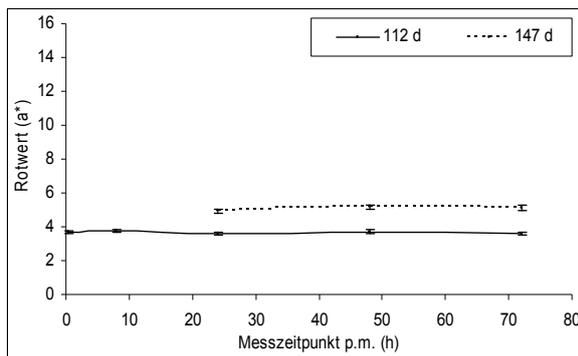


Abb.29: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Meleagris gallopavo* über 72 h

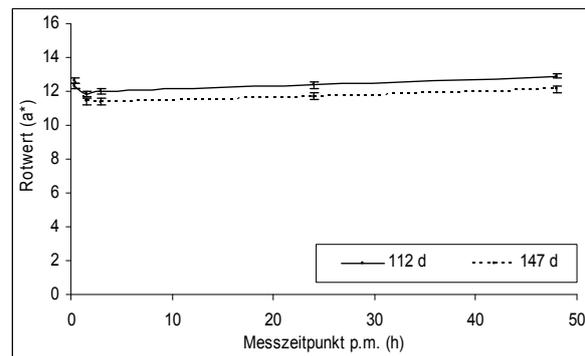


Abb.30: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. iliotibialis lateralis* (*MIL*) von *Meleagris gallopavo* über 48 h

Der Vergleich der beiden Linien des 2. Versuchsdurchgangs zeigt, mit Ausnahme des  $L^*_{20min}$ , nach 106 d und nach 143 d Mast in der Helligkeit die an der Oberfläche des *MPS* ermittelt wurde, Unterschiede zwischen den Hybrid XL und den Big 700. Die letztgenannten haben hier die niedrigeren Werte. Die Differenz zwischen den Linien beträgt im Mittel 2 Punkte, wobei der  $L^*_{20min}$ -Wert von der Berechnung ausgeschlossen wurde. Der Verlauf der  $L^*$ -Werte über die Zeit ist ab 2. Messwert zwischen den Mastlinien vergleichbar. Der Werteanstieg liegt nach 106 d Mast bei 7 (Hybrid XL) bzw. bei 5 (Big 700) Punkten und nach 143 d Mast bei 5 (Hybrid XL) bzw. bei 4 (Big 700) Punkten. In den nachfolgenden Abbildungen ist die Entwicklung der Helligkeit für die 106 d (Abb.31) und die 143 d (Abb.32) alten Puten über die Zeit und in Abhängigkeit von der Linie zusammengefasst.

## Ergebnisse

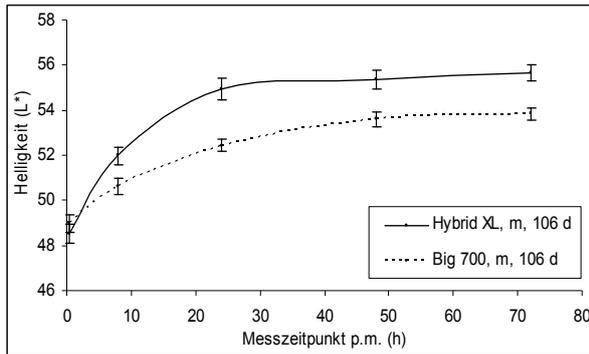


Abb.31: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des linken *M. pectoralis superficialis* (MPS) der **106 d alten Puten** über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie

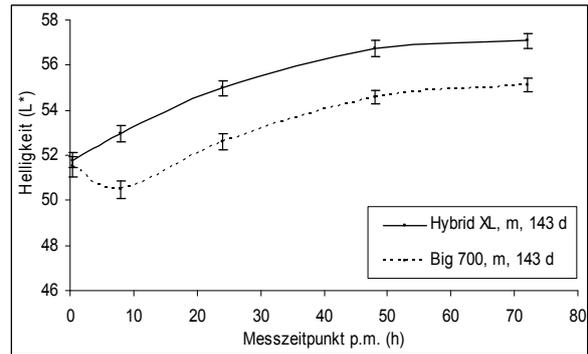


Abb.32: Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Oberfläche** des linken *M. pectoralis superficialis* (MPS) der **143 d alten Puten** über 72 h in Abhängigkeit von der Mastlinie

Der Vergleich der 106 d mit den 143 d alten Puten weist, mit Ausnahme des  $L^*_{8h}$  - und  $L^*_{24h}$  -Wert, die signifikant niedrigeren  $L^*$ -Werte an der *MPS*-Oberfläche der jüngeren Tieren auf. In der Tendenz sind auch die 8 h und 24 h p.m. gemessenen Werten bei ihnen niedriger, wobei eine stetige Erhöhung der Werte über die Zeit erkennbar ist. Hierbei steigen die  $L^*$ -Werte in den ersten 24 h p.m. um 4,94 Punkte und in den folgenden 48 h um 1,07 Punkte. Der Anstieg der  $L^*$ -Werte über die Zeit beträgt bei den 147 d alten Puten 2,15 ( $L^*_{20min} - L^*_{24h}$ ) und 2,31 ( $L^*_{24h} - L^*_{72h}$ ) Punkte. Die Entwicklung der  $L^*$ -Werte an der Oberfläche des *MIL* über 48 h p.m. wurde für die Mastlinie Hybrid XL nach 106 und 143 Masttagen bestimmt. Der Vergleich der  $L^*$ -Werte zeigt signifikante Unterschiede zwischen den 106 d und den 143 d alten Hybrid XL, wobei die älteren Masttiere 20 min und 90 min p.m. die niedrigeren und ab 3 h p.m. die höheren Werte haben. Bei den 143 d alten Masttieren steigen die Werte über die Zeit an. Der Unterschied zwischen dem  $L^*_{20min}$  und dem  $L^*_{48h}$  beträgt 9,59 Punkte. Bei den 106 d alten Hybrid XL sinken die Werte in den ersten 3 h p.m. um 6,07 Punkte ab. Ausgehend vom  $L^*_{3h}$  -Wert erfolgt ein Anstieg der Werte um 4,96 Punkte. Über die 48 h Messdauer betrachtet nimmt die Helligkeit um 1,11 Punkte ab. Die an der *MPS*- (Abb.33) und der *MIL*- (Abb.34) Oberfläche ermittelten  $L^*$ -Werte werden in den nachfolgenden Abbildungen in Abhängigkeit vom Alter der Puten gezeigt.

## Ergebnisse

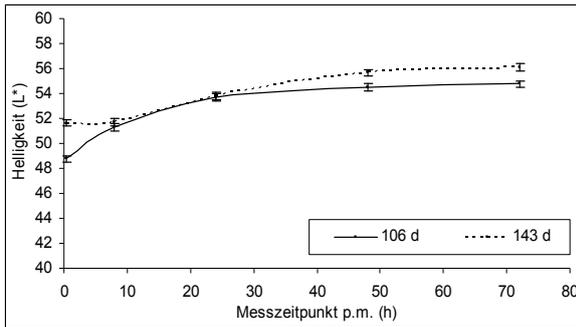


Abb.33: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* über 72 h

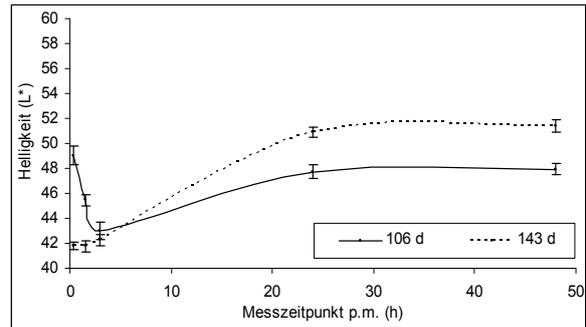


Abb.34: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. iliotibialis lateralis* (MIL) der Hybrid XL über 48 h

Nach 143 d Mast haben die Big 700 im Vergleich zu den Hybrid XL 48 h und 72 h p.m. die höheren  $a^*$ -Werte an der MPS-Oberfläche (Abb.35). Im Vergleich der beiden Altersstufen weisen die 143 d alten Puten die höheren  $a^*$ -Werte auf. Hierbei ist der Unterschied 8 h, 48 h und 72 h p.m. signifikant und 20 min und 24 h p.m. tendenziell. Die Entwicklung der  $a^*$ -Werte ist zwischen den Altersstufen ähnlich. Sie zeigt einen fast geradlinigen Verlauf, wobei der  $a^*_{20\text{min}}$  und der  $a^*_{72\text{h}}$ -Wert nur wenig differieren. Ausgehend vom  $a^*_{3\text{h}}$ -Wert besteht zwischen den 106 d und den 143 d alten Hybrid XL kein Unterschied im  $a^*$ -Wert der MIL-Oberfläche (Abb.36). Die Differenz zwischen den  $a^*_{20\text{min}}$ -Werten beträgt 1,93 Punkte, wobei die älteren Masttiere den signifikant höheren Messwert haben.

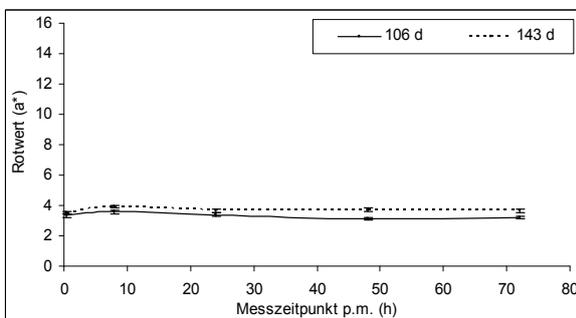


Abb.35: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. pectoralis superficialis* (MPS) der Puten über 72 h

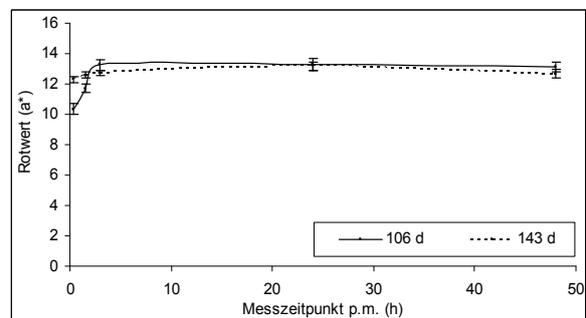


Abb.36: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der Oberfläche des *M. iliotibialis lateralis* (MIL) der Hybrid XL über 48 h

## Ergebnisse

Um, hinsichtlich der Entwicklung der Farbhelligkeit, Differenzen zwischen den beiden Versuchsdurchgängen aufzuzeigen, wurden die Daten altersabhängig (106 d und 112 d sowie 143 d und 147 d) miteinander verglichen.

Die an der Oberfläche des *MPS* ermittelten  $L^*$ -Werte sind in den ersten 48 h p.m. signifikant zwischen den 106 d und 112 d alten Masttieren verschieden. Die älteren Masthybriden haben hier die niedrigeren  $L^*$ -Werte. In der Tendenz ist dies auch beim  $L^*_{48h}$  und  $L^*_{72h}$  der Fall. Die Differenz zwischen dem  $L^*_{20min}$  und dem  $L^*_{72h}$  beträgt 7,16 (106 d) bzw. 8,85 (112 d) Punkte. Die Unterschiede im Anstieg der Werte sind auf die  $L^*_{20min}$  -Werte zurückzuführen. Dieser variiert zwischen den beiden Altersstufen um 3 Punkte. Im Vergleich der 143 d und der 147 d alten Puten miteinander haben die älteren Masttiere die tendenziell höheren  $L^*$ -Werte. Die Entwicklung der  $L^*$ -Werte über die Zeit ist zwischen den 106 d und 112 d bzw. den 143 d und den 147 d alten Masttieren vergleichbar.

Die Puten, die im 2. Versuchsdurchgang betrachtet wurden, haben die höheren  $a^*$ -Werte. Die Differenz der Altersstufen ist zwischen den 106 d und den 112 d alten Tieren gering und erst ab dem  $a^*_{48h}$  -Wert signifikant. Zwischen den 143 d und den 147 d alten Puten besteht im Mittel ein Unterschied von 1,35 Punkten. Die Entwicklung der  $a^*$ -Werte über die Zeit ist geradlinig und zwischen den jeweiligen Altersstufen vergleichbar.

Der Vergleich der  $L^*$ -Werte, die an der Oberfläche des *MIL* ermittelt wurden, zeigt zwischen den 106 und 112 d alten Masthybriden, mit Ausnahme des  $L^*_{3h}$  -Wertes, signifikante Unterschiede. Hier haben die älteren Mastputen die niedrigeren Werte. In der Entwicklung der Helligkeit über die Zeit zeigen sich gegenläufige Tendenzen. Bei den 106 d alten Mastputen kommt es in den ersten 3 h p.m. zu einem Absinken der Werte, während die  $L^*$ -Werte der 112 d alten Tiere im selben Zeitraum ansteigen. Die Differenz im  $L^*_{20min}$  beträgt 8,25 Punkte. Der  $L^*_{3h}$  -Wert ist zwischen den Altersstufen vergleichbar. Ausgehend von diesem Messwert steigen die  $L^*$ -Werte bis 24 h p.m. an. Bei den 106 d alten Masttieren ist der  $L^*_{24h}$  mit dem  $L^*_{48h}$  vergleichbar, während es bei den 112 d alten Puten zu einem Absinken um 1,62 Punkte kommt. Die Differenz 48 h p.m. liegt bei 3,63 Punkten. Bei den älteren Masttieren bestehen ebenfalls signifikante Unterschiede. Hier haben die 147 d alten Masttiere im Vergleich zu den 143 d alten Puten 90 min und 3 h p.m. die signifikant höheren und ab 24 h p.m. die niedrigeren Messwerte. Bei den 143 d alten Mastputen

## Ergebnisse

sind die Werte, die 20 min, 90 min und 3 h p.m. ermittelt wurden, miteinander vergleichbar. Die zu diesen Zeitpunkten ermittelten  $L^*$ -Werte der 147 d alten Mastputen steigen hingegen signifikant an. Ausgehend vom  $L^*_{3h}$ -Wert steigen die Werte bis 48 h p.m. um 9,10 (143 d) bzw. 2,96 (147 d) Punkte an. Der Unterschied in den beiden Altersstufen liegt 48 h p.m. bei 3,62 Punkten.

Zwischen den 106 und 112 d alten Mastputen sind der  $a^*_{20min}$ -Wert sowie der  $a^*_{3h}$ - und der  $a^*_{24h}$ -Wert signifikant verschieden. Bei den jüngeren Masthybriden ist ein Anstieg der  $a^*$ -Werte in den ersten 3 h p.m. zu sehen, während die  $a^*$ -Werte der 112 d alten Masttiere in diesem Zeitraum absinken. Ausgehend vom  $a^*_{3h}$  bis zum  $a^*_{48h}$  sinken die Werte bei den 106 d alten Mastputen leicht ab, während die der älteren Mastputen leicht steigen. Bei den 143 d und 147 d alten Mastputen sind die Werte, bis auf den  $a^*_{20min}$  und den  $a^*_{48h}$ , signifikant voneinander verschieden. Bei den älteren Masthybriden sinken die Werte in den ersten 90 min p.m. ab. Ab diesem Zeitpunkt ist die Entwicklung der  $a^*$ -Werte zwischen den Altersstufen vergleichbar.

### 4.2.3.2. Entwicklung der Farbhelligkeit am Muskelanschnitt

Bei der graphischen Darstellung sowie der Besprechung der gemessenen Werte für die Farbhelligkeit ( $L^*a^*b$ ) an der Oberfläche des *MPS* der 147 d alten Mastputen werden die 20 min und 8 h p.m. ermittelten Daten aufgrund einer Funktionsstörung des Minolta-Farbmessgerät, ausgeschlossen.

Die Entwicklung der  $L^*$ -Werte an der Oberfläche des *MPS* zeigt zwischen den 112 d alten Mastputen keine Unterschiede. In der Tendenz haben die Big 6 die höheren Werte. Bei den 147 d alten Masttieren ist der  $L^*_{24h}$ -Wert signifikant und der  $L^*_{48h}$ -Wert tendenziell zwischen den Big 6 und den Big 9 verschieden. Hierbei haben die erstgenannten die höheren Werte. Im Vergleich der Geschlechter weisen die Big 6 Hennen über den gesamten Messverlauf hinweg die höheren Werte auf. Hier ist der Unterschied zum  $L^*_{24h}$ -Wert der Big 6 Hähne signifikant und zu den anderen Werten tendenziell. Der Verlauf der Werte über den Messzeitraum ist zwischen den Linien bzw. den Geschlechtern eines Alters ähnlich und zeigt, nach einem leichten Abfall der Werte in den ersten 90 min p.m., einen Anstieg über die Zeit.

## Ergebnisse

Der Vergleich der 112 d mit den 147 d alten Puten (Abb.37) zeigt den höheren  $L^*_{24h}$  und  $L^*_{48h}$  bei den älteren Puten, wobei die Differenz zwischen den  $L^*_{48h}$ -Werten mit 3,40 Punkte signifikant ist. Der Verlauf der Werte weist bei den 112 d alten Puten in den ersten 90 min p.m. ein Absinken und dann einen Anstieg um 4,87 Punkte auf. Ausgehend vom  $L^*_{24h}$ -Wert steigen die Werte bei den 147 d alten Puten um 3,32 Punkte an. Die Entwicklung der  $L^*$ -Werte am *MPS*-Anschnitt der 106 d und der 143 d alten Hybrid XL (Abb.38) zeigt ab 3 h p.m. einen ähnlichen Verlauf. Hierbei steigen die Werte ab dem  $L^*_{3h}$ -Wert an. In den ersten 3 h p.m. ist bei den 106 d alten Hybrid XL ein Anstieg und bei den 143 d alten Hybrid XL ein Absinken der  $L^*$ -Werte zu sehen. Über den gesamten Messzeitraum betrachtet steigen die  $L^*$ -Werte der jüngeren Hybrid XL um 5,92 und die der älteren Hybrid XL um 5,13 Punkte an. Über die gesamte Zeit hinweg haben die 106 d alten Hybrid XL die niedrigeren  $L^*$ -Werte.

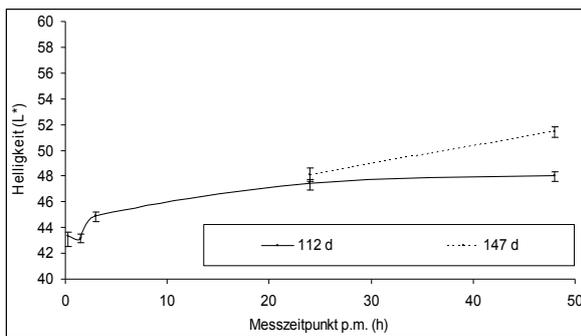


Abb.37: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Anschnittfläche** des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) von *Meleagris gallopavo* über 48 h

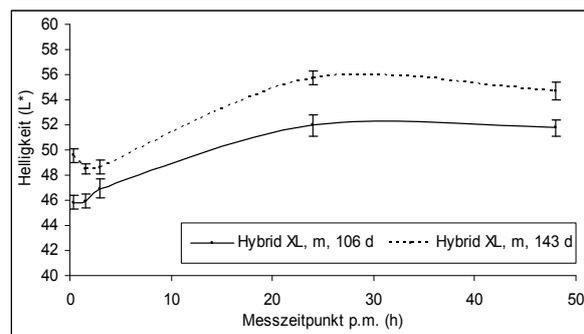


Abb.38: Altersabhängige Entwicklung der Helligkeit ( $L^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Anschnittfläche** des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) der Hybrid XL über 48 h

Der Vergleich der  $L^*$ -Werte, die an der Anschnittfläche des *MPS* ermittelt wurden, zeigt zwischen den 106 und 112 d alten Masthybriden signifikante Unterschiede. Hierbei haben die älteren Mastputen die niedrigeren Werte. In der Entwicklung sind beide Altergruppen miteinander vergleichbar. Bei beiden kommt es in den ersten 90min p.m. zu einem Absinken der Werte, gefolgt von einem Anstieg bis zum Messzeitpunkt 48 h p.m.. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt 20 min p.m. 2,51 und 48 h p.m. 3,73 Punkte. Der Anstieg über die Zeit ist mit 5,29 (106 d) bzw. 4,70 (112 d) Punkten zwischen den beiden Altersgruppen vergleichbar.

## Ergebnisse

Die 143 d und 147 d alten Mastputen sind ab dem Messzeitpunkt 24 h p.m. signifikant voneinander verschieden. Hierbei haben die 143 d alten Masttiere die höheren Werte. Ausgehend vom  $L^*_{24h}$ -Wert kommt es bei dieser Altersgruppe zu einem Absinken der Messwerte, während die  $L^*$ -Werte der 147 d alten Masthybriden steigen. Die Differenz zwischen den beiden Altersstufen beträgt 24 h p.m. 7,62 und 48 h p.m. 3,25 Punkte.

Zwischen den 112 d und den 147 d alten Puten gibt es Differenzen im  $a^*$ -Wert des Muskelanschnittes (Abb.39). Die älteren Puten haben im Vergleich zu den jüngeren den signifikant höheren  $a^*_{24h}$ - und  $a^*_{48h}$ -Wert. Hierbei sinken die Werte über die Zeit bei den erstgenannten um 0,88 Punkte ab. Bei den 112 d alten Masthybriden ist ein geradliniger Anstieg der Werte über die Zeit zu sehen. Die Differenz des  $a^*_{20min}$  zum  $a^*_{48h}$  beträgt 0,55 Punkte. Die  $a^*$ -Werte der Hybrid XL (Abb.40) sind über den gesamten Messzeitraum hinweg bei den jüngeren Puten niedriger. In den ersten 3 h p.m. sinken die  $a^*$ -Werte bei den 106 d alten Hybrid XL ab und steigen dann, ausgehend vom  $a^*_{3h}$ , an. Insgesamt sind der  $a^*_{20min}$  und der  $a^*_{48h}$  miteinander vergleichbar. Bei den 143 d alten Hybrid XL ist ein Absinken der Werte in den ersten 90 min p.m zu beobachten. Ausgehend von  $a^*_{90min}$  steigen die Werte bis 24 h p.m. an. In den letzten 24 h der Messung kommt es zu einem Absinken der Messwerte.

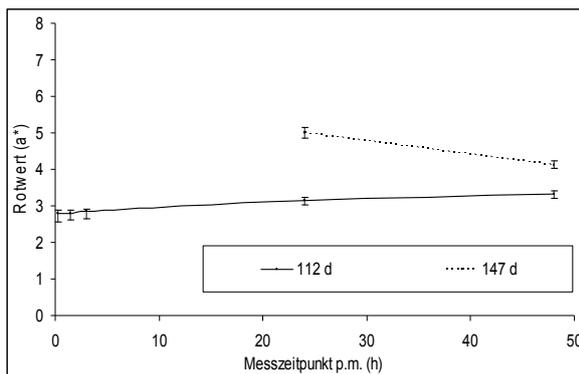


Abb.39: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Anschnittfläche** des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* über 48 h

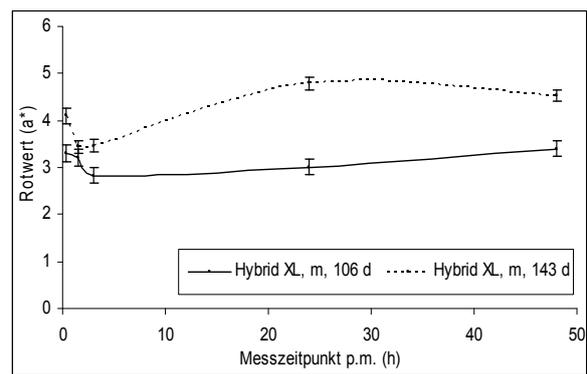


Abb.40: Altersabhängige Entwicklung des Rotwertes ( $a^*$ ) (LSM  $\pm$  SEM) an der **Anschnittfläche** des *M. pectoralis superficialis* (MPS) der Hybrid XL über 48 h

## Ergebnisse

Der Vergleich der  $a^*$ -Werte zeigt zwischen den 106 d und den 112 d bzw. den 143 d und den 147 d alten Puten Ähnlichkeiten. Mit Ausnahme des  $a^*_{20\text{min}}$  und des  $a^*_{90\text{min}}$  der 106 d und der 112 d alten Masttiere gibt es keine Differenzen. Bis 3 h p.m. sinken die Werte der 106 d alten Masttiere ab, während die Werte der 112 d alten Mastputen in diesem Zeitraum vergleichbar sind. Ab dem  $a^*_{3\text{h}}$  ist die Entwicklung der Werte zwischen diesen beiden Altersstufen ähnlich. Bei den 143 d alten Mastputen ist im Vergleich zu den 147 d alten Masthybriden der  $a^*_{24\text{h}}$  niedriger und der  $a^*_{48\text{h}}$  höher.

### 4.2.4. Myoglobingehalt und Anteil der Myoglobinvarianten

Der Vergleich der Gesamtmenge an Myoglobin sowie der Anteile an Oxymyoglobin und Metmyoglobin zeigt nach 112 d Mast keine Unterschiede zwischen den Big 6 und den Big 9. Zwischen den Linien besteht ein tendenzieller Unterschied im Myoglobingehalt von 0,05 mg/g ( $Mb_{20\text{min}}$ ) bzw. 0,01 mg/g ( $Mb_{48\text{h}}$ ). Hierbei haben die Big 6 20 min p.m. den höheren und 48 h p.m. den niedrigeren Gehalt an Myoglobin. Zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen besteht ein tendenzieller Unterschied von 0,03 mg/g ( $Mb_{20\text{min}}$ ) bzw. 0,06 mg/g ( $Mb_{48\text{h}}$ ), wobei die Hähne den höheren Wert haben. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten der Big 9 und der Big 6 Hähne bzw. der Big 6 Hennen bestehen nicht, jedoch ist der Myoglobingehalt frühpostmortal höher. Nach 147 Masttagen besteht zwischen den Big 6 und den Big 9 kein Unterschied im Anteil der Myoglobinvarianten. Im Gesamtmyoglobingehalt besteht zwischen den Linien ein tendenzieller Unterschied von 0,07 mg/g ( $Mb_{20\text{min}}$ ) bzw. 0,07 mg/g ( $Mb_{48\text{h}}$ ), wobei die Big 6 die höheren Werte haben. Der Vergleich der beiden Messezeitpunkte zeigt eine Differenz von 0,03 mg/g (Big 6) bzw. 0,07 mg/g (Big 9), die jedoch statistisch nicht abgesichert werden kann. Zwischen den beiden Altersstufen (Tab.24) bestehen im Myoglobingehalt sowie den einzelnen Myoglobinvarianten signifikante Unterschiede. Hierbei haben die 147 d alten Puten, mit einem Unterschied von 0,205 mg/g ( $Mb_{20\text{min}}$ ) bzw. 0,186 mg/g ( $Mb_{48\text{h}}$ ), die höheren Werte. Die 112 d alten Puten haben den höheren Anteil an Oxymyoglobin und den niedrigeren Anteil an Metmyoglobin. Die Differenz zwischen den beiden Alterstufen beträgt im Oxymyoglobin-Anteil 4,38 ( $\text{OxyMb}_{20\text{min}}$ ) bzw. 1,98 ( $\text{OxyMb}_{48\text{h}}$ ) Prozentpunkte. Der Anteil an Metmyoglobin unterscheidet sich um 3,62

## Ergebnisse

(MetMb<sub>20min</sub>) bzw. 2,15 (MetMb<sub>48h</sub>) Prozentpunkte. Der Vergleich der beiden Messzeitpunkte zeigt eine Abnahme des Gesamtmyoglobingehaltes sowie des Metmyoglobin-Anteils. Der Anteil an Oxymyoglobin steigt. Die Differenz zwischen den 20 min und den 48 h p.m. ermittelten Werten ist bei den 147 d alten Puten signifikant und bei den 112 d alten Puten tendenziell.

Tab.24: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des Myoglobingehaltes (Mb) sowie des Anteils an Metmyoglobin (MetMb) und Oxymyoglobin (OxyMb) 20 min und 48 h p.m. im *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit vom Alter und dem Messzeitpunkt

Variablen*	112 d (N = 75)		147 d (N = 50)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
Mb <sub>20min</sub> [mg/g]	0,247 <sup>1x</sup>	± 0,03	0,452 <sup>2x</sup>	± 0,05
Mb <sub>48h</sub> [mg/g]	0,231 <sup>1x</sup>	± 0,04	0,417 <sup>2x</sup>	± 0,05
OxyMb <sub>20min</sub> [%]	24,13 <sup>2x</sup>	± 0,71	19,75 <sup>1x</sup>	± 0,72
OxyMb <sub>48h</sub> [%]	24,45 <sup>2x</sup>	± 0,79	22,47 <sup>1y</sup>	± 0,93
MetMb <sub>20min</sub> [%]	54,55 <sup>1x</sup>	± 0,80	58,17 <sup>2y</sup>	± 0,93
MetMb <sub>48h</sub> [%]	52,69 <sup>1x</sup>	± 1,38	54,84 <sup>2x</sup>	± 1,03

\*Mb<sub>20min</sub> / Mb<sub>48h</sub> = Gesamtmenge an Myoglobin in mg pro g Muskel gemessen 20 min / 48 h p.m.;  
 OxyMb<sub>20min</sub> / OxyMb<sub>48h</sub> = Prozentualer Anteil an Oxymyoglobin gemessen 20 min / 48 h p.m.;  
 MetMb<sub>20min</sub> / MetMb<sub>48h</sub> = Prozentualer Anteil an Metmyoglobin gemessen 20 min / 48 h p.m.  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppe  
 LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz

Zwischen den 106 d und 143 d alten Hybrid XL (Tab.25) bestehen Unterschiede im Anteil an Metmyoglobin, wobei die jüngeren Masttiere die höheren Messwerte haben. In der Tendenz hat diese Altersgruppe den niedrigeren Anteil an Oxymyoglobin sowie die niedrigere Konzentration an Myoglobin. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten konnten nicht ermittelt werden. In den 20 min p.m. genommen Proben ist bei beiden Altersgruppen der höhere Anteil an Oxymyoglobin sowie der niedrigere Anteil an Metmyoglobin vorhanden.

## Ergebnisse

Tab.25: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) des Myoglobingehaltes (Mb) sowie des Anteils an Metmyoglobin (MetMb) und Oxymyoglobin (OxyMb) 20 min und 48 h p.m. im *M. pectoralis superficialis* (MPS) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit vom Alter und dem Messzeitpunkt

Variablen* Hybrid XL	106 d (N = 25)		143 d (N = 25)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
Mb <sub>20min</sub> [mg/g]	0,189 <sup>1x</sup>	± 0,04	0,296 <sup>1x</sup>	± 0,04
Mb <sub>48h</sub> [mg/g]	0,199 <sup>1x</sup>	± 0,05	0,309 <sup>1x</sup>	± 0,05
OxyMb <sub>20min</sub> [%]	27,13 <sup>1x</sup>	± 2,71	30,14 <sup>1x</sup>	± 1,26
OxyMb <sub>48h</sub> [%]	23,44 <sup>1x</sup>	± 1,02	28,14 <sup>1x</sup>	± 1,35
MetMb <sub>20min</sub> [%]	53,14 <sup>2x</sup>	± 1,91	46,49 <sup>1x</sup>	± 1,28
MetMb <sub>48h</sub> [%]	56,87 <sup>2x</sup>	± 1,39	48,50 <sup>1x</sup>	± 1,13

\*Mb<sub>20min</sub> / Mb<sub>48h</sub> = Gesamtmenge an Myoglobin in mg pro g Muskel gemessen 20 min / 48 h p.m.;  
 OxyMb<sub>20min</sub> / OxyMb<sub>48h</sub> = Prozentualer Anteil an Oxymyoglobin gemessen 20 min / 48 h p.m.;  
 MetMb<sub>20min</sub> / MetMb<sub>48h</sub> = Prozentualer Anteil an Metmyoglobin gemessen 20 min / 48 h p.m.  
 LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppe  
 LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz

Zwischen den 106 d alten Hybrid XL und den 112 d Puten ist kein Unterschied feststellbar. Die Differenz im Myoglobingehalt beträgt 0,06 mg/g (Mb<sub>20min</sub>) bzw. 0,03 mg/g (Mb<sub>48h</sub>), wobei die 112 d alten Tieren die höheren Werte haben. Bei den 143 d alten Hybrid XL und den 147 d alten Mastputen bestehen immer signifikante Unterschiede. Die 143 d alten Hybrid XL haben den niedrigere Myoglobingehalt sowie den höheren Anteil an Oxy- und den geringeren Anteil an Metmyoglobin. Die Differenz im Myoglobingehalt beträgt 0,16 mg/g (Mb<sub>20min</sub>) bzw. 0,11 mg/g (Mb<sub>48h</sub>). Der Anteil an den Myoglobinvarianten unterscheidet sich um 10,39 (OxyMb<sub>20min</sub>) und 5,67 (OxyMb<sub>48h</sub>) Punkte bzw. 11,68 (MetMb<sub>20min</sub>) und 6,34 (MetMb<sub>48h</sub>) Punkte.

## Ergebnisse

Um den Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Myoglobin und der Farbelligkeit an der Oberfläche und am Anschnitt des Brustmuskels zu ermitteln, wurden die Korrelationen zwischen diesen Parametern berechnet.

Für die nachfolgende Berechnung wurden die  $L^*$ - und  $a^*$ -Werte verwendet, die an der Oberfläche des Brustmuskels ermittelt wurden. Die Betrachtung der frühpostmortal gewonnenen Ergebnisse zeigt keine Korrelation mit dem  $L^*_{20min}$ -Wert. Der  $a^*_{20min}$ -Wert weist, bei Verwendung aller Messdaten, einen  $r = 0,33^*$  mit dem Myoglobingehalt auf. Die Betrachtung der spätpostmortal gewonnenen Ergebnisse zeigt keine Korrelation des  $L^*$ -Wertes mit den Myoglobin-Werten bei separater Betrachtung der Altersgruppen. Wenn alle Probanden in die Berechnung einbezogen werden besteht eine negative Korrelation des  $L^*_{48h}$ -Wertes mit dem Anteil an Oxymyoglobin ( $r = -0,27^*$ ). Zwischen dem  $a^*_{48h}$ -Wert der 112 d alten Mastputen und dem Anteil an Oxymyoglobin in diesen Proben besteht eine negative Korrelation von  $r = -0,44^*$ . Die Myoglobin-Konzentration in den Proben der 147 d alten Mastputen ist positiv mit dem  $a^*_{48h}$ -Wert korreliert ( $r = 0,35^*$ ).

Für die folgende Berechnung wurden die  $L^*$ - und  $a^*$ -Werte verwendet, die am Anschnitt des Brustmuskels ermittelt wurden. Hierbei zeigt die Betrachtung der frühpostmortal ermittelten Ergebnisse eine signifikante Korrelation des  $L^*_{20min}$ -Wert mit dem Anteil an Oxy- ( $r = 0,35^*$ ) und Metmyoglobin ( $r = -0,34^*$ ) in den Proben der 147 d alten Mastputen. Bei Verwendung aller Daten ist der  $a^*$ -Wert signifikant mit dem Anteil an Metmyoglobin korreliert ( $r = 0,28^*$ ). Bei Verwendung aller Daten der spätpostmortalen Farbelligkeitsmessung besteht eine signifikante negative Korrelation des  $L^*_{48h}$ -Werts mit dem Anteil an Oxymyoglobin ( $r = -0,28^*$ ). Der 48 h p.m. an der Anschnittfläche des Brustmuskels gemessene  $a^*$ -Wert zeigt keine Korrelation zur Myoglobin-Konzentration oder zum Anteil der Myoglobinvarianten.

Für die 106 d und 143 d alten Hybrid XL wurde ebenfalls die Korrelation zwischen dem Gehalt an Myoglobin und der Farbelligkeit des *MPS* ermittelt. Die Berechnung mit den  $L^*$ - und  $a^*$ -Werten, die an der Oberfläche des Brustmuskels ermittelt wurden, zeigt bei Betrachtung der frühpostmortal gewonnenen Ergebnisse keine Korrelation mit der Konzentration an Myoglobin oder dem Anteil der Myoglobinvarianten. Bei den spätpostmortal gewonnenen Ergebnissen besteht ebenfalls keine Korrelation zwischen dem  $L^*$ -Wert und dem Myoglobin Parametern.

## Ergebnisse

Zwischen dem  $a^*_{48h}$  -Wert der 106 d alten Mastputen und dem Anteil an Metmyoglobin in diesen Proben besteht eine negative Korrelation von  $r = -0,79^*$ . Nach der Zusammenfassung aller Daten besteht ebenfalls eine Korrelation zwischen dem  $a^*_{48h}$  -Wert und dem Anteil an Metmyoglobin ( $r = -0,43^*$ ).

Für die nachfolgende Berechnung wurden die  $L^*$ - und  $a^*$ -Werte verwendet, die an der Anschnittfläche des Brustmuskels ermittelt wurden. Hierbei zeigt die Betrachtung der frühpostmortal ermittelten Ergebnisse keine Korrelation des  $L^*$ - oder  $a^*$ -Wertes mit der Konzentration an Myoglobin in den untersuchten Proben. Der Anteil an Oxymyoglobin der in den Proben der 106 d alten Masttieren gemessen wurde, weist eine signifikante Korrelation ( $r = 0,76^*$ ) zum  $L^*$ -Wert auf. Bei Verwendung aller Daten ist der  $L^*$ -Wert signifikant mit dem Anteil an Oxymyoglobin ( $r = 0,43^*$ ) und dem Anteil an Metmyoglobin korreliert ( $r = -0,39^*$ ). Die Betrachtung der spätpostmortal ermittelten Ergebnisse zeigt keine Korrelation des  $L^*$ -Wertes mit der Konzentration an Myoglobin oder dem Anteil an Myoglobinvarianten. Bei Verwendung aller Daten besteht eine signifikante Korrelation des  $a^*_{48h}$  -Werts mit dem Myoglobingehalt ( $r = 0,37^*$ ) und dem Anteil an Metmyoglobin ( $r = -0,38^*$ ). Bei den 106 d alten Hybrid XL ist der  $a^*$ -Wert signifikant mit dem Anteil an Metmyoglobin korreliert ( $r = -0,73^*$ ).

### 4.2.5. Mitochondriale Atmungskapazität

Der Vergleich der Ergebnisse der 112 d und der 147 d alten Puten hinsichtlich der mitochondrialen Atmungsaktivität zeigt keine Unterschiede zwischen den Big 6 und den Big 9 gleichen Alters. Zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Die Hennen haben tendenziell die höhere Pyruvat/Malat State-3-Atmung, Succinat/Rotenon State-3-Atmung und State-4-Atmung. Der Vergleich der beiden Mastalter (Tab.26) zeigt die signifikant höhere State-4-Atmung sowie den niedrigeren RCI bei den 112 d alten Mastputen. Die Differenz liegt hier bei  $0,97 \text{ pmol O}_2/\text{min}\cdot\text{mg}$  (State-4-Atmung) bzw. 1,81 Punkten (RCI). Die Pyruvat/Malat State-3-Atmung und die Succinat/Rotenon State-3-Atmung sind vergleichbar.

## Ergebnisse

Tab.26: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Pyruvat/Malat State-3-Atmung, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und des Respiratorischen Kontrollindex (RCI) des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit vom Mastalter

Variablen*	112 d (N = 75)		147 d (N = 50)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
mitochondriale Atmungsaktivität in pmol O <sub>2</sub> /min*mg				
Pyruvat/Malat State-3-Atmung	8,37 <sup>1</sup>	± 0,45	8,40 <sup>1</sup>	± 0,50
Succinat/Rotenon State-3-Atmung	6,26 <sup>1</sup>	± 0,26	6,04 <sup>1</sup>	± 0,25
State-4-Atmung	2,81 <sup>2</sup>	± 0,10	1,84 <sup>1</sup>	± 0,09
RCI	3,28 <sup>1</sup>	± 0,26	5,09 <sup>2</sup>	± 0,50

\*die Pyruvat/Malat-State-3-Atmung wurde ermittelt mit den Substraten Pyruvat und Malat; die Succinat/Rotenon State-3-Atmung wurde ermittelt mit den Substraten Succinat und Rotenon; die State-4-Atmung wurde ermittelt mit dem Substrat Oligomycin; der Respiratorische Kontrollindex (RCI) wurde errechnet aus der Division der Pyruvat/Malat-State-3-Atmung mit der State-4-Atmung LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppe

Der Vergleich der 106 d mit den 143 d alten Hybrid XL (Tab.27) zeigt die signifikant höhere Succinat/Rotenon State-3-Atmung bei den älteren Mastputen. Die Differenz der Werte beträgt 1,58 pmol/s\*mg. In der Tendenz ist die Pyruvat/Malat State-3-Atmung sowie der RCI ebenfalls bei dieser Altersgruppe höher.

Tab.27: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Pyruvat/Malat State-3-Atmung, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und des Respiratorischen Kontrollindex (RCI) des *M. pectoralis superficialis* (MPS) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit vom Alter

Variablen*	Pyruvat/Malat State-3-Atmung [pmol/s*mg]	Succinat/Rotenon State-3-Atmung [pmol/s*mg]	State-4-Atmung [pmol/s*mg]	RCI
Hybrid XL				
106 d	7,62 <sup>1</sup> ± 0,79	3,80 <sup>1</sup> ± 0,42	1,52 <sup>1</sup> ± 0,19	5,72 <sup>1</sup> ± 0,61
143 d	8,35 <sup>1</sup> ± 0,73	5,38 <sup>2</sup> ± 0,40	1,21 <sup>1</sup> ± 0,12	6,82 <sup>1</sup> ± 0,60

\*die Pyruvat/Malat-State-3-Atmung wurde ermittelt mit den Substraten Pyruvat und Malat in pmol/s\*mg; die Succinat/Rotenon State-3-Atmung wurde ermittelt mit den Substraten Succinat und Rotenon in pmol/s\*mg; die State-4-Atmung wurde ermittelt mit dem Substrat Oligomycin in pmol/s\*mg; der Respiratorische Kontrollindex (RCI) wurde errechnet aus der Division der Pyruvat/Malat State-3-Atmung mit der State-4-Atmung LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

## Ergebnisse

Der Vergleich der beiden unterschiedlichen Versuche miteinander zeigt zwischen den 106 d und 112 d alten Mastputen signifikante Differenzen. Hier haben die jüngeren Masttiere die niedrigere Succinat/Rotenon State-3-Atmung und State-4-Atmung sowie den höheren RCI. In der Tendenz ist bei ihnen auch die Pyruvat/Malat State-3-Atmung niedriger. Die Differenz in der Pyruvat/Malat State-3-Atmung beträgt 0,75 pmol/s\*mg und in der Succinat/Rotenon State-3-Atmung 2,46 pmol/s\*mg. Der RCI variiert um 2,44 Punkte. Signifikante Unterschiede zwischen den 143 d und den 147 d alten Mastputen bestehen in der State-4-Atmung, die bei den jüngeren Hybriden niedriger ist, sowie im RCI. Dieser ist bei den älteren Mastputen niedriger, wobei die Differenz 1,73 Punkte beträgt. In der Tendenz ist die Pyruvat/Malat State-3-Atmung und die Succinat/Rotenon State-3-Atmung bei den 143 d alten Hybrid XL im Vergleich zu den 147 d alten Mastputen niedriger.

### 4.2.6. Antioxidative Enzyme und Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen

Bei den 112 d alten Masthybriden unterscheiden sich die Big 6 und Big 9 signifikant im SOD<sub>20min</sub>-Wert, welcher bei den Big 6 höher ist. Die Aktivität der anderen Enzyme ist zwischen den beiden Linien vergleichbar. Der Vergleich der Big 6 Hähne und Hennen zeigt keine Unterschiede. Zwischen den Messzeitpunkten gibt es außer in der Aktivität der SOD aller Gruppen sowie der GR der Big 6 signifikante Unterschiede. Hier ist die GR bei den Big 9 und den Big 6 Hennen 20 min p.m. höher, während die GP zu diesem Zeitpunkt bei den Big 6 und Big 9 Hähnen und den Big 6 Hennen niedriger ist. Zwischen den 147 d alten Big 6 und Big 9 gibt es keine Unterschiede in der Aktivität der antioxidativen Enzyme. Zwischen den Messzeitpunkten können, außer in der Aktivität der SOD, signifikante Unterschiede ermittelt werden. Hier ist die ermittelte Aktivität der GR 20 min p.m. höher, während die Aktivität der GP zu diesem Messzeitpunkt niedriger ist.

Zwischen den 112 d und 147 d alten Masthybriden (Tab.28) gibt es, bis auf den GP<sub>20min</sub>-Wert, signifikante Unterschiede. Hierbei wird in den Proben der 112 d alten Mastputen die höhere Aktivität der antioxidativen Enzyme gemessen. Zwischen den 20 min und 48 h p.m. genommenen Proben gibt es ebenfalls, mit Ausnahme der Aktivität der SOD, signifikante Unterschiede. Hierbei ist die Aktivität der GR 20 min p.m. höher, während die Aktivität der GP zu diesem Messzeitpunkt niedriger ist.

## Ergebnisse

Tab.28: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Aktivität der antioxidativen Enzyme (Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-Reduktase (GR) Glutathion-Peroxidase (GP)) im *M. pectoralis superficialis* (MPS) der Puten des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt

Variablen*	112 d (N = 75)		147 d (N = 50)	
	LSM	SEM	LSM	SEM
SOD <sub>20min</sub> [U/g]	127,49 <sup>2x</sup>	5,28	79,68 <sup>1x</sup>	6,26
SOD <sub>48h</sub> [U/g]	129,54 <sup>2x</sup>	6,04	100,92 <sup>1x</sup>	6,67
GR <sub>20min</sub> [U/g]	3,62 <sup>2y</sup>	0,18	3,00 <sup>1y</sup>	0,20
GR <sub>48h</sub> [U/g]	2,80 <sup>2x</sup>	0,11	2,10 <sup>1x</sup>	0,13
GP <sub>20min</sub> [U/g]	4,82 <sup>1x</sup>	0,40	3,93 <sup>1x</sup>	0,35
GP <sub>48h</sub> [U/g]	8,83 <sup>2y</sup>	0,64	6,78 <sup>1y</sup>	0,59

\*SOD<sub>20min</sub> / SOD<sub>48h</sub> = Aktivität der Superoxid-Dismutase gemessen 20 min / 48 h p.m.; GR<sub>20min</sub> / GR<sub>48h</sub> = Aktivität der Glutathion-Reduktase gemessen 20 min / 48 h p.m.; GP<sub>20min</sub> / GP<sub>48h</sub> = Aktivität der Glutathion-Peroxidase gemessen 20 min / 48 h p.m.

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Reihe unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppen

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz

Die Aktivität der SOD (U/g Protein) 20 min p.m. ist bei den 112 d alten Masthähnen verschieden, wobei für die Big 6 die höheren Werte ermittelt wurde. Tendenziell ist bei den Big 6 auch 48 h p.m. die Aktivität höher. Der Unterschied zwischen den Linien beträgt 21,82 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 14,01 U (SOD<sub>48h</sub>). Im Vergleich zu den Big 6 Hähnen haben die Hennen 20 min p.m. die tendenziell höhere Aktivität. Hier beträgt die Differenz 9,81 U. Die Proben, die 48 h p.m. genommen wurden, sind mit einer Differenz von 0,84 U ähnlich. Unterschiede zwischen den 20 min und den 48 h p.m. genommenen Proben sind bei den Big 6 und Big 9 Hähnen sowie bei den Big 6 Hennen tendenziell. Hierbei ist der SOD<sub>20min</sub> -Wert bei den Big 6 und den Big 9 Hähnen höher, während er bei den Big 6 Hennen niedriger ist. Die Differenz zwischen den Messzeiten beträgt 11,60 U (Big 9) bzw. 3,79 U (Big 6 Hähne) und 5,18 U (Big 6 Hennen). Nach 147 d Mast ist zu beiden Messzeitpunkten die Aktivität in den Proben der Big 9 im Vergleich zu denen der Big 6 tendenziell höher. Hierbei beträgt die Differenz zwischen den Linien 18,64 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 25,00 U (SOD<sub>48h</sub>).

## Ergebnisse

Der Vergleich der beiden Messzeitpunkte miteinander zeigt die tendenziell höhere Aktivität in den 48 h p.m. genommenen Proben. Hier haben die Big 9 mit 24,40 U die höhere Differenz zwischen den Messzeitpunkten im Vergleich zu den Big 6 (18,08 U). Der Vergleich der beiden Altersgruppen (Tab.28) miteinander zeigt, dass die Aktivität in den Proben der 112 d alten Masthybriden zu beiden Messezeitpunkten signifikant höher ist. Hierbei beträgt die Differenz zwischen den Altersstufen 47,81 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 28,62 U (SOD<sub>48h</sub>). Die beiden Proben einer Altersstufe sind tendenziell verschieden, wobei die Aktivität 48 h p.m. höher ist. Der Unterschied zwischen den Messezeiten beträgt 2,05 U (112 d) bzw. 21,24 U (147 d).

In der Aktivität der GR (U/g Protein) gibt es keine Unterschiede zwischen den Linien eines Alters oder den Geschlechtern. Tendenziell ist nach 112 d Mast die Aktivität in den Proben der Big 6 Hähne im Vergleich zu den Big 9 bzw. den Hennen höher. Die Differenz zwischen den Linien beträgt 0,33 U (GR<sub>20min</sub>) bzw. 0,45 U (GR<sub>48h</sub>) und zwischen den Geschlechtern 0,24 U (GR<sub>20min</sub>) bzw. 0,21 U (GR<sub>48h</sub>). Nach 147 d Mast haben die Big 6 20 min p.m. den höheren und 48 h p.m. die niedrigere Aktivität. Die Differenz zu den Big 9 beträgt 0,57 U (GR<sub>20min</sub>) bzw. 0,04 U (GR<sub>48h</sub>). Im Vergleich der Messzeiten ist der 20 min p.m. Wert, mit Ausnahme der GR<sub>20min</sub>, immer höher. Der Vergleich der Proben einer Altersstufe (Tab.28) zeigt die höhere Aktivität 20 min p.m.. Der Unterschied zwischen den Messzeiten beträgt 0,82 U (112 d) bzw. 0,90 U (147 d). Der Vergleich der Altersgruppen zeigt die höhere Aktivität in den Proben der 112 d alten Puten. Die Differenz beträgt 0,62 U (GR<sub>20min</sub>) bzw. 0,70 U (GR<sub>48h</sub>).

Die Aktivität der GP (U/g Protein) ist zwischen den Linien eines Alters vergleichbar. Die Differenz nach 112 d Mast beträgt 0,34 U (GP<sub>20min</sub>) bzw. 1,35 U (GP<sub>48h</sub>). Hierbei ist 20 min p.m. die Aktivität in den Proben der Big 6 höher und 48 h niedriger. Nach 147 d Mast haben die Big 6 zu beiden Messzeiten die höhere Aktivität. Die Differenz beträgt 1,30 U (GP<sub>20min</sub>) bzw. 0,63 U (GP<sub>48h</sub>). Der Vergleich der Geschlechter zeigt die tendenziell höhere Aktivität bei den Big 6 Hennen. Der Unterschied beträgt 0,56 U (GP<sub>20min</sub>) bzw. 0,76 U (GP<sub>48h</sub>). Der Vergleich der Messen einer Altersgruppe (Tab.28) zeigt die signifikant höhere Aktivität 48 h p.m.. Die Differenz zwischen den 20 min und den 48 h p.m. genommenen Proben liegt bei 4,01 U (112 d) bzw. 2,85 U (147 d). Im Vergleich der beiden Altersstufen haben die 112 d die höhere Aktivität. Hierbei ist die Differenz 20 min tendenziell (0,89 U) und 48 h signifikant (2,05 U).

## Ergebnisse

Bei den Hybrid XL (Tab.29) ist die Aktivität der SOD in den Proben der 106 d alten Masthähnen mit 15,96 U (SOD<sub>20min</sub>) bzw. 0,81 U (SOD<sub>48h</sub>) tendenziell höher. Der Vergleich der Proben zeigt bei beiden Altersgruppen die tendenziell höhere Aktivität 48 h p.m.. Die Aktivität der GR und der GP ist zu beiden Messzeitpunkten in den Proben der 143 d alten Hybrid XL höher. Die Differenz in der Aktivität der GR beträgt 1,41 U (GR<sub>20min</sub>) bzw. 0,65 U (GR<sub>48h</sub>) und in der Aktivität der GP 2,17 U (GP<sub>20min</sub>) bzw. 1,60 U (GP<sub>48h</sub>). Die Aktivität der GR und der GP ist bei beiden Altersgruppen zwischen den Messungen verschieden. Hierbei ist die Aktivität der GR 20 min p.m. und die Aktivität der GP 48 h p.m. höher.

Tab.29: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) der Aktivität der antioxidativen Enzyme (Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-Reduktase (GR) Glutathion-Peroxidase (GP)) im *M. pectoralis superficialis* (MPS) der Masthähne der Linie Hybrid XL in Abhängigkeit von Alter und Messzeitpunkt

Variablen* Hybrid XL	SOD <sub>20min</sub> [U/g]	SOD <sub>48h</sub> [U/g]	GR <sub>20min</sub> [U/g]	GR <sub>48h</sub> [U/g]	GP <sub>20min</sub> [U/g]	GP <sub>48h</sub> [U/g]
106 d	110,04 <sup>1x</sup> ± 10,31	115,65 <sup>1x</sup> ± 9,51	3,81 <sup>1y</sup> ± 0,22	2,03 <sup>1x</sup> ± 0,17	2,92 <sup>1x</sup> ± 0,25	6,18 <sup>1y</sup> ± 0,51
143 d	95,08 <sup>1x</sup> ± 10,60	114,84 <sup>1x</sup> ± 10,62	5,22 <sup>2y</sup> ± 0,39	2,68 <sup>2x</sup> ± 0,19	5,09 <sup>2x</sup> ± 0,49	7,78 <sup>2y</sup> ± 0,62

\*SOD<sub>20min</sub> / SOD<sub>48h</sub> = Aktivität der Superoxid-Dismutase gemessen 20 min / 48 h p.m.; GR<sub>20min</sub> / GR<sub>48h</sub> = Aktivität der Glutathion-Reduktase gemessen 20 min / 48 h p.m.; GP<sub>20min</sub> / GP<sub>48h</sub> = Aktivität der Glutathion-Peroxidase gemessen 20 min / 48 h p.m.

LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Altersgruppe

LSM<sup>xy</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Messzeitpunkten einer nachgewiesenen Substanz

Der Vergleich zwischen den 106 d und den 112 d alten Puten zeigt Unterschiede in der GR<sub>48h</sub> und der GP zu beiden Messzeitpunkten, wobei die Aktivität bei den 106 d alten Hybrid XL niedriger ist. Die Aktivität der SOD sowie der GR<sub>20min</sub> sind zwischen den Altersstufen vergleichbar. In der Tendenz haben die 106 d alten Hybrid XL die niedrigere Aktivität der SOD sowie die höhere Aktivität der GR zum Messzeitpunkt 20 min. Zwischen den 143 d und den 147 d alten Mastputen gibt es signifikante Unterschiede in der GR, wobei die 143 d alten Hybrid XL die höhere Aktivität haben. Die GP sowie die SOD 20 min p.m. ist bei ihnen tendenziell höher, wohingegen die SOD 48 h p.m. tendenziell niedriger im Vergleich zu den 147 d alten Mastputen ist.

## Ergebnisse

Die Konzentration an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS; ng/ml Homogenat) zeigt keine Unterschiede zwischen den Linien gleichen Alters oder den Geschlechtern. Zwischen den beiden Altersstufen gibt es tendenzielle Unterschiede, wobei die 147 d alten Masthähne mit 81,95 ng (TBARS<sub>20min</sub>) bzw. 89,74 ng (TBARS<sub>48h</sub>) die niedrigeren Werte haben. Die 112 d alten Masttiere haben mit 87,20 ng (TBARS<sub>20min</sub>) bzw. 97,17 ng (TBARS<sub>48h</sub>) einen um 6,41 % bzw. 8,28 % höhere Konzentration an TBARS im *MPS*. Tendenzielle Unterschiede konnten auch zwischen den 20 min und den 48 h p.m. genommenen Proben festgestellt werden, wobei die TBARS<sub>20min</sub> -Werte niedriger sind.

Der Vergleich der Hybrid XL zeigt signifikante Unterschiede in der Konzentration des TBARS zwischen den Probe der 106 d und 143 d alten Puten. Hierbei haben die jüngeren Masthähne eine um 93,42 ng (TBARS<sub>20min</sub>) bzw. 60,95 ng (TBARS<sub>48h</sub>) niedrigere Konzentration. Bei den 147 d alten Hybrid XL beträgt der Unterschied in der Konzentration an TBARS 20 min und 48 h p.m. 51,75 ng und ist somit signifikant. Hierbei ist die Menge an TBARS im Durchschnitt in den 20 min p.m. genommenen Proben höher. In der Tendenz ist dies auch bei den 106 d alten Masttieren der Fall. Hier beträgt die Differenz zwischen den Messzeitpunkten 19,28 ng.

Der Vergleich zwischen den 106 d und den 112 d alten Masttieren zeigt signifikante Unterschiede in der Konzentration an TBARS 20 min p.m., wobei die älteren Puten die niedrigeren Werte haben. Der Unterschied beträgt hier 30,51 ng. Der 48 h p.m. gemessene Wert ist zwischen den beiden Altersstufen vergleichbar. Signifikante Unterschiede zu beiden Messezeitpunkten zeigt der Vergleich der 143 d mit den 147 d alten Puten. Hier haben die älteren Masthähne ebenfalls die niedrigeren Werte. Die Differenz beträgt hier 129,18 ng (TBARS<sub>20min</sub>) bzw. 69,64 ng (TBARS<sub>48h</sub>).

Um den Zusammenhang zwischen der Konzentration an TBARS und der Aktivität der antioxidativen Enzyme zu ermitteln, wurden die Korrelationen zwischen diesen Parametern berechnet. Zwischen dem TBARS<sub>20min</sub> -Wert und dem TBARS<sub>48h</sub> -Wert der 112 d und der 147 d alten Puten besteht eine Korrelation von 0,61<sup>\*\*\*</sup> (112 d) sowie von 0,51<sup>\*\*\*</sup> bei der altersunabhängigen Betrachtung. Zwischen dem TBARS<sub>20min</sub> -Wert und dem SOD<sub>48h</sub> -Wert besteht ein Zusammenhang von  $r = 0,26^{**}$ , bei Verwendung aller Daten, und von  $r = 0,36^{**}$  für die Daten der 112 d alten Puten.

## Ergebnisse

Für die Konzentration an TBARS in den Proben der Hybrid XL kann, unter Einbeziehung aller Daten unabhängig vom Alter der Hybrid XL, eine Korrelation von  $r = 0,42^{**}$  ermittelt werden. Unter Verwendung aller Ergebnisse besteht ein negativer Zusammenhang zwischen dem  $TBARS_{20min}$  und dem  $SOD_{20min}$  -Wert ( $r = -0,33^*$ ) sowie eine positive Korrelation zu dem  $GR_{48h}$  - und dem  $GP_{20min}$  -Wert ( $r = 0,39^{**}$ ). Die 48 h p.m. ermittelte Konzentration an TBARS ist, bei Verwendung aller Daten sowie der Daten der 143 d alten Hybrid XL, negativ mit dem  $SOD_{20min}$  - und dem  $SOD_{48h}$  -Wert korreliert. Der Korrelationskoeffizient liegt hier bei  $r = -0,49^*$  (143 d) und  $r = 0,39^{**}$  bzw.  $r = 0,35^*$ . Eine positive Korrelation besteht mit dem  $GR_{48h}$  -Wert für die Daten aller Hybrid XL ( $r = 0,43^{**}$ ) und für die 106 d alten Hybrid XL ( $r = 0,46^*$ ).

Die Konzentration an TBARS ist ein Maß für die im Fleisch ablaufende Lipidoxidation. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Fettgehalt des Fleisches und der Lipidoxidation nachzuweisen, wurden die Korrelationen zwischen diesen beiden Parametern berechnet. Zwischen dem Fettgehalt der einzelnen Linien bzw. Geschlechter sowie den beiden Altersstufen und der jeweiligen Konzentration an TBARS konnte, bis auf die nachfolgende Ausnahme, keine statistisch zu sichernder Zusammenhang berechnet werden. Zwischen dem Fettgehalt der 147 d alten Puten und dem  $TBARS_{20min}$  -Wert besteht ein Korrelation von  $r = 0,30^*$ .

In den nachfolgenden Abbildungen ist das Verhältnis zwischen der Konzentration an TBARS in den 48 h p.m. genommenen Proben und dem Fettgehalt der 112 d (Abb.41) und der 147 d (Abb.42) alten Masthybriden mittels Scatterplot dargestellt.

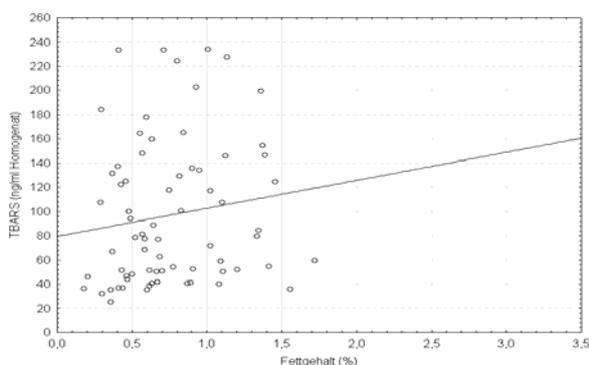


Abb.41: Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS in den 48 h p.m. genommenen Proben und dem Fettgehalt im *MPS* der **112 d alten Puten**

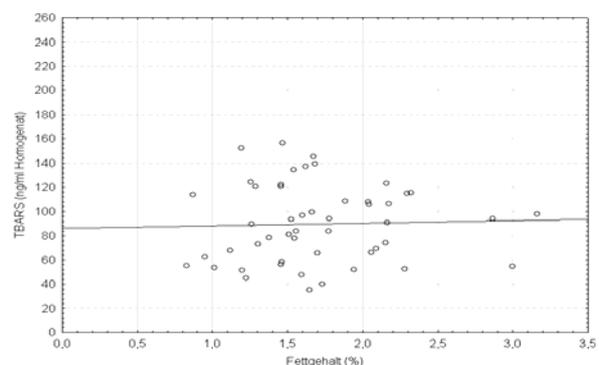


Abb.42: Scatterplot zwischen der Konzentration an TBARS in den 48 h p.m. genommenen Proben und dem Fettgehalt im *MPS* der **147 d alten Puten**

## Ergebnisse

Hierbei ist zu sehen, dass bei den 112 d alten Masttieren der Fettgehalt niedriger ist, die Konzentrationen an TBARS jedoch mehr streut, als dies bei den 147 d alten Puten der Fall ist. Die 112 d alten Probanden liegen in einem Bereich bis 1,5 % Fett und einer Konzentration von 20 bis 240 ng Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen. Bei den 147 d alten Puten reicht der ermittelte Fettgehalt von 1 bis 3 % Fett und der Konzentration an TBARS liegt bei 40 bis 160 ng.

### **4.3. Einfluss der Farbhelligkeit auf die Fleischqualität**

Um den Einfluss der Farbhelligkeit auf die untersuchten Parameter darzustellen wurde der 24 h p.m. ermittelte L\*-Wert der MPS-Oberfläche verwendet. Im ersten Schritt wurde für beide Spezies die altersabhängige Häufigkeitsverteilung ermittelt und die Normalverteilung überprüft. Anschließend wurde der mittlere  $L^*_{24h}$ -Wert und die berechnete Standardabweichung zur Definierung von Helligkeitsgruppen verwendet. Die mittlere Helligkeitsgruppe wurde als Gruppe mit normaler Helligkeit definiert und beinhaltete alle Werte um den Mittelwert plus / minus einer Standardabweichung. Werte unterhalb dieses Bereiches wurden als „dunkler als normal“ und Werte oberhalb als „heller als normal“ definiert. Um zu zeigen in welchem Maß die ermittelten Parameter der Fleischbeschaffenheit sowie die der mitochondriale Atmung und der antioxidativen Kapazität von der Farbhelligkeit beeinflusst werden, wurden die gruppenabhängigen Mittelwerte berechnet.

Nachfolgen sind die altersabhängigen Ergebnisse von *Gallus gallus gallus* und *Meleagris gallopavo* dargestellt. Um Unterschiede zwischen den Spezies herauszuarbeiten wurden die Ergebnisse der Ross 308 und der Big 6, welche in den Voruntersuchungen ermittelt wurden, verwendet.

Der Vergleich von *Gallus gallus gallus* nach 28 d und 41 d Mast zeigt im Histogramm (Abb.43) eine Rechtsverschiebung der älteren Tiere, ausgehend von der Verteilung der jüngeren Masthybriden. Innerhalb eines Alters sind die Werte normalverteilt. Der  $L^*_{24h}$ -Wert beträgt  $51,13 \pm 2,17$  (28 d) und  $52,87 \pm 2,46$  (41 d). Die mittlere Helligkeitsgruppe liegt somit bei 48,96 - 53,30 (28 d) bzw. 50,41 - 55,33 (41 d).

## Ergebnisse

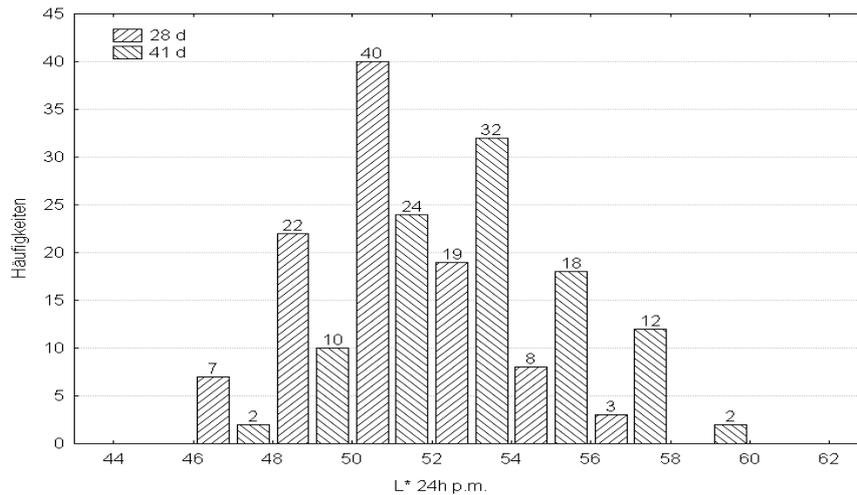


Abb.43: Häufigkeitsverteilung des  $L^*_{24h}$  -Wertes der Brustmuskelloberfläche von *Gallus gallus gallus* nach 28 d und 41 d Mast

Der Vergleich der Helligkeitsgruppen in der die 28 d alten Broiler eingeteilt wurden, zeigt signifikante Unterschiede im  $pH_{24h}$  -Wert, im  $LF_{24h}$  - und  $LF_{48h}$  -Wert sowie im TSV und in der Scherkraft. Für die 41 d alten Broiler ergab die Einteilung in die Helligkeitsgruppen signifikante Differenzen im errechneten Anteil des *MPS* am Schlachtkörpergewicht, im  $pH_{24h}$  -Wert sowie im GV. Bei den 28 d alten Broiler ist der pH-Wert zwischen allen drei Gruppen verschieden, wobei die niedrigsten Werte diejenigen Probanden haben, die in der „hellen“ Gruppe zusammengefasst sind und die höchsten Werte für die „dunkle“ Gruppe ermittelt wurden. Bei der LF haben die Probanden mit dem „hellen“ *MPS* zu beiden Messzeiten die höchsten Werte. Der TSV ist in dieser Gruppe im Vergleich zu den anderen beiden Helligkeitsgruppen ebenfalls höher. Signifikante Unterschiede zwischen allen drei Gruppen konnte für die Scherkraft ermittelt werden, wobei Probanden mit „hellem“ *MPS* die höchsten und Probanden mit „dunklem“ *MPS* die niedrigsten Werte haben. Bei den 41 d alten Broiler ist der *MPS*-Anteil sowie der GV bei den Probanden, die in der „dunklen“ Gruppe zusammengefasst sind, signifikant niedriger. Der  $pH_{24h}$  -Wert unterscheidet sich zwischen allen drei Gruppen, wobei die niedrigsten Werte im *MPS* der „hellen“ Gruppe und die höchsten Werte im *MPS* der „dunklen“ Gruppe gemessen wurde. Tendenziell haben die 41 d alten Broiler mit „hellem“ *MPS* die höchste LF sowie den höchsten TSV. Im *MPS* der Probanden mit „dunklem“ *MPS* wurden die niedrigste LF sowie der geringere TSV gemessen.

## Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle (Tab.30) sind die berechneten Mittelwerte ausgewählter Parameter der Fleischbeschaffenheit zusammengefasst.

Tab.30: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* nach 28 d und 41 d Mast in Abhängigkeit vom L\*<sub>24h</sub>-Wert der MPS-Oberfläche

Variablen*		„dunkel“		„normal“		„hell“	
		LSM	SEM	LSM	SEM	LSM	SEM
MPS-Gewicht, beide [g]	28 d <sup>1</sup>	196,02 <sup>a</sup>	6,93	198,98 <sup>a</sup>	2,72	194,20 <sup>a</sup>	7,58
	41 d <sup>2</sup>	438,64 <sup>a</sup>	11,20	458,76 <sup>a</sup>	6,93	447,66 <sup>a</sup>	19,60
MPS-Anteil [%]	28 d <sup>1</sup>	19,32 <sup>a</sup>	0,31	19,71 <sup>a</sup>	0,17	18,82 <sup>a</sup>	0,44
	41 d <sup>2</sup>	21,58 <sup>a</sup>	0,42	22,71 <sup>b</sup>	0,17	22,33 <sup>ab</sup>	0,34
pH <sub>24h</sub> -Wert	28 d <sup>1</sup>	6,04 <sup>c</sup>	0,03	5,93 <sup>b</sup>	0,01	5,75 <sup>a</sup>	0,03
	41 d <sup>1</sup>	6,10 <sup>c</sup>	0,03	5,93 <sup>b</sup>	0,01	5,81 <sup>a</sup>	0,02
LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	28 d <sup>1</sup>	6,08 <sup>a</sup>	0,44	6,19 <sup>a</sup>	0,21	7,83 <sup>b</sup>	0,54
	41 d <sup>2</sup>	7,35 <sup>a</sup>	0,53	7,42 <sup>a</sup>	0,18	7,90 <sup>a</sup>	0,36
LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	28 d <sup>1</sup>	8,00 <sup>a</sup>	0,48	8,19 <sup>a</sup>	0,22	9,70 <sup>b</sup>	0,66
	41 d <sup>2</sup>	9,29 <sup>a</sup>	0,44	9,52 <sup>a</sup>	0,19	9,98 <sup>a</sup>	0,35
a* <sub>24h</sub>	28 d <sup>2</sup>	3,67 <sup>a</sup>	0,17	3,48 <sup>a</sup>	0,09	3,50 <sup>a</sup>	0,31
	41 d <sup>1</sup>	2,72 <sup>a</sup>	0,18	2,26 <sup>a</sup>	0,09	2,42 <sup>a</sup>	0,13
Tropfsaftverlust [%]	28 d <sup>2</sup>	1,16 <sup>a</sup>	0,05	1,25 <sup>a</sup>	0,03	1,56 <sup>b</sup>	0,06
	41 d <sup>1</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,08	0,77 <sup>a</sup>	0,03	0,81 <sup>a</sup>	0,05
Grillverlust [%]	28 d <sup>1</sup>	23,01 <sup>a</sup>	0,80	24,40 <sup>a</sup>	0,42	24,99 <sup>a</sup>	0,68
	41 d <sup>2</sup>	24,56 <sup>a</sup>	1,08	27,02 <sup>b</sup>	0,41	27,63 <sup>b</sup>	0,61
Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	28 d <sup>1</sup>	19,69 <sup>a</sup>	0,91	22,09 <sup>b</sup>	0,46	25,91 <sup>c</sup>	1,50
	41 d <sup>2</sup>	23,59 <sup>a</sup>	1,29	25,50 <sup>a</sup>	0,50	24,85 <sup>a</sup>	1,12

\*MPS = *M. pectoralis superficialis*; MPS-Anteil ist die errechneten Anteile von MPS am Schlachtkörpergewicht in Prozent; pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 24 h p.m.; LF<sub>24h</sub> / LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 24 h / 48 h p.m.; Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Rotwert (a\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MPS 24 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P<0,05) Altersgruppe<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen unterscheiden sich signifikant (P<0,05) im jeweiligen Merkmal

## Ergebnisse

Neben der Betrachtung der Merkmale für die Fleischbeschaffenheit wurden auch die Parameter der mitochondrialen Atmung und der oxidativen Kapazität in die drei Helligkeitsgruppen sortiert. Die Ergebnisse der 28 d alten Broiler zeigten in der mitochondrialen Atmung (Pyruvat/Malat State-3-Atmung, Rotenon/Succinat State-3-Atmung und State-4-Atmung) keine Unterschiede zwischen den Helligkeitsgruppen. Bei den 41 d alten Masthybriden haben diejenigen Probanden mit der „normalen“ MPS-Färbung im Vergleich zu den „hellen“ MPS die signifikant höheren Pyruvat/Malat State-3-Atmung. Bei den jüngeren Masttieren unterscheiden sich in diesem Wert die „hellen“ und die „dunklen“ MPS tendenziell voneinander. Bei den antioxidativen Enzymen haben die 28 d alten Broiler mit dem „hellen“ MPS 20 min p.m. die signifikant höhere GR und 48 h p.m. die signifikant höhere SOD Aktivität. Die 41 d alten Masttiere mit dem „hellem“ MPS haben im Vergleich zu der „normalen“ Gruppe 20 min p.m. die signifikant höheren Gehalt an TBARS.

Die Häufigkeitsverteilung für die Ergebnisse von *Meleagris gallopavo* (Abb.44) zeigt, ausgehend von den Daten der 112 d alten Puten, bei den 147 d alten Puten eine Verschiebung der Werte nach rechts. Innerhalb eines Alters sind die Werte normalverteilt. Der errechnete  $L^*_{24h}$ -Wert liegt bei  $51,59 \pm 2,26$  (112 d) bzw.  $54,30 \pm 2,32$  (147 d). Der Bereich der „normalen“ Helligkeit liegt zwischen 48,97 - 54,22 (112 d) bzw. 51,98 - 56,62 (147 d).

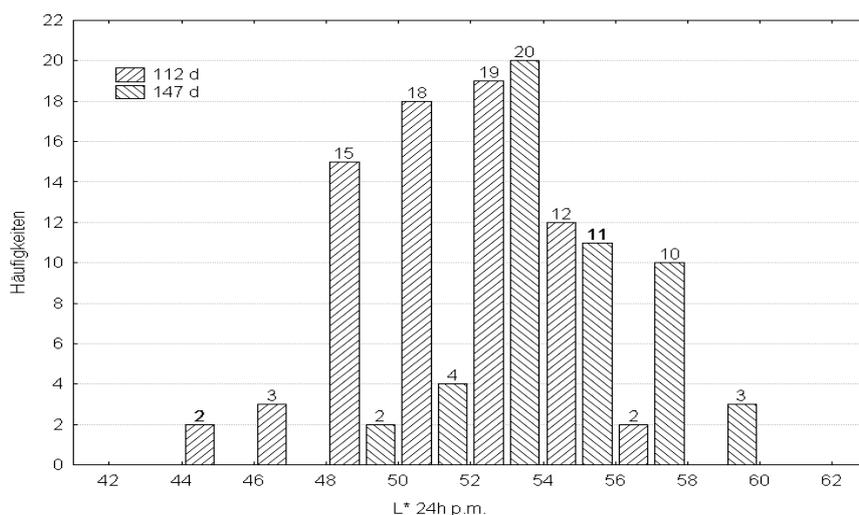


Abb.44: Häufigkeitsverteilung des  $L^*_{24h}$ -Wertes der Brustmuskelloberfläche von *Meleagris gallopavo* nach 112 d und 147 d Mast

## Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle (Tab.31) sind die berechneten Mittelwerte (LSM) mit Standardfehler (SEM) einiger ausgewählter Parameter der Fleischbeschaffenheit in Abhängigkeit vom Alter der Puten und von der Farbhelligkeitsgruppe dargestellt.

Tab.31: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Meleagris gallopavo* nach 112 d und 147 d Mast in Abhängigkeit vom  $L^*_{24h}$  -Wert der MPS-Oberfläche

Variablen*		„dunkel“		„normal“		„hell“	
		LSM	SEM	LSM	SEM	LSM	SEM
MPS-Gewicht, beide [g]	112 d <sup>1</sup>	2630,2 <sup>a</sup>	71,02	2780,3 <sup>a</sup>	66,94	2672,8 <sup>a</sup>	120,30
	147 d <sup>2</sup>	4465,7 <sup>a</sup>	160,93	4749,1 <sup>a</sup>	79,99	4645,0 <sup>a</sup>	108,11
MPS-Anteil [%]	112 d <sup>1</sup>	25,09 <sup>a</sup>	0,50	26,83 <sup>b</sup>	0,28	27,29 <sup>b</sup>	0,35
	147 d <sup>2</sup>	28,35 <sup>a</sup>	0,75	28,97 <sup>a</sup>	0,35	29,16 <sup>a</sup>	0,55
pH <sub>24h</sub> -Wert	112 d <sup>1</sup>	5,88 <sup>a</sup>	0,02	5,85 <sup>a</sup>	0,01	5,80 <sup>a</sup>	0,02
	147 d <sup>2</sup>	5,75 <sup>a</sup>	0,01	5,71 <sup>a</sup>	0,01	5,72 <sup>a</sup>	0,01
LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	112 d <sup>1</sup>	8,07 <sup>a</sup>	1,09	7,15 <sup>a</sup>	0,32	6,80 <sup>a</sup>	0,68
	147 d <sup>1</sup>	6,73 <sup>a</sup>	0,37	8,16 <sup>a</sup>	0,32	7,39 <sup>a</sup>	0,24
LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	112 d <sup>1</sup>	11,57 <sup>a</sup>	0,84	11,04 <sup>a</sup>	0,26	10,55 <sup>a</sup>	0,64
	147 d <sup>1</sup>	11,19 <sup>a</sup>	0,60	11,71 <sup>a</sup>	0,33	11,00 <sup>a</sup>	0,40
a* <sub>24h</sub>	112 d <sup>1</sup>	3,76 <sup>a</sup>	0,29	3,63 <sup>a</sup>	0,12	3,37 <sup>a</sup>	0,16
	147 d <sup>2</sup>	4,95 <sup>a</sup>	0,28	4,99 <sup>a</sup>	0,15	4,75 <sup>a</sup>	0,36
Tropfsaftverlust [%]	112 d <sup>1</sup>	0,48 <sup>a</sup>	0,06	0,62 <sup>a</sup>	0,04	0,57 <sup>a</sup>	0,04
	147 d <sup>2</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,09	0,69 <sup>a</sup>	0,03	0,74 <sup>a</sup>	0,10
Grillverlust [%]	112 d <sup>1</sup>	21,65 <sup>a</sup>	1,29	24,26 <sup>a</sup>	0,43	23,42 <sup>a</sup>	0,93
	147 d <sup>1</sup>	21,65 <sup>a</sup>	1,88	23,36 <sup>a</sup>	0,56	25,96 <sup>a</sup>	0,75
Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	112 d <sup>1</sup>	24,25 <sup>a</sup>	1,28	21,84 <sup>a</sup>	0,63	20,19 <sup>a</sup>	1,16
	147 d <sup>1</sup>	19,38 <sup>a</sup>	0,81	20,80 <sup>a</sup>	0,69	22,54 <sup>a</sup>	1,41

\*MPS = *M. pectoralis superficialis*; MPS-Anteil ist die errechneten Anteile von MPS am Schlachtkörpergewicht in Prozent; pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 24 h p.m.; LF<sub>24h</sub> / LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 24 h p.m. / 48 h p.m.; Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Rotwert (a\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MPS 24 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P<0,05)

Altersgruppe<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen unterscheiden sich signifikant (P<0,05) im jeweiligen Merkmal

## Ergebnisse

Der Vergleich der drei Helligkeitsgruppen zeigt bei dem ermittelten *MPS*-Anteil der 112 d alten Puten Unterschiede. Hier haben die Probanden mit „dunklem“ *MPS* einen niedrigeren Anteil. Tendenziell sind diese Unterschiede auch bei den 147 d alten Puten vorhanden. Bei den 112 d alten Puten gibt es tendenzielle Unterschiede zwischen den drei Helligkeitsgruppen auch im  $pH_{24h}$ -Wert, im  $LF_{24h}$ - und  $LF_{48h}$ -Wert sowie im  $a^*_{24h}$ -Wert und in der Scherkraft. Hier haben die Probanden mit „dunklem“ *MPS* den höchsten und die Probanden mit „hellem“ *MPS* den niedrigsten Wert. Bei den 147 d alten Puten sind der TSV und der GV sowie die Scherkraft zwischen den einzelnen Helligkeitsgruppen tendenziell voneinander verschieden. Hier haben die Probanden aus der „dunklen“ Gruppe die niedrigsten Werte und die Probanden der „hellen“ Gruppe die höchsten.

Ein Einfluss des  $L^*_{24h}$ -Wertes auf die mitochondrialen Atmung sowie die Aktivität der antioxidativen Enzyme, konnte, mit nachfolgender Ausnahme, nicht festgestellt werden. Bei den 112 d alten Puten besteht ein signifikanter Unterschied im  $TBARS_{20min}$ -Wert. Die Differenz liegt bei 43,91 ng, wobei die Probanden mit „dunklem“ *MPS* die geringere Konzentration aufweisen.

Der Vergleich der beiden Spezies zeigte eine Verschiebung der Ergebnisse von *Meleagris gallopavo* (Big 6), ausgehend von der Daten von *Gallus gallus gallus* (Ross 308), nach links (Abb.45). Innerhalb einer Spezies sind die Werte normalverteilt. Der mittlere  $L^*_{24h}$ -Wert von *Gallus gallus gallus* (Broiler) liegt bei  $52,51 \pm 2,43$  und bei *Meleagris gallopavo* (Puten) bei  $50,96 \pm 2,43$ .

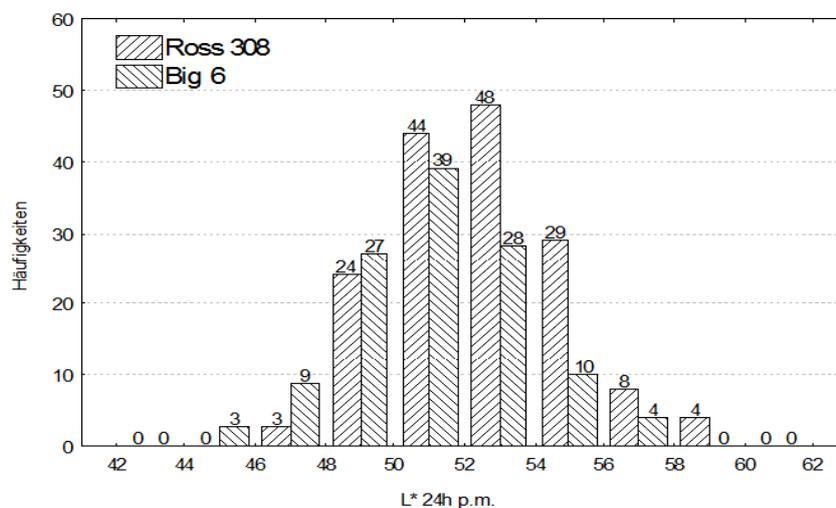


Abb.45: Häufigkeitsverteilung des  $L^*_{24h}$ -Wert der Brustmuskelloberfläche von *Gallus gallus gallus* (Ross 308) und *Meleagris gallopavo* (Big 6)

## Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle (Tab.32) sind die berechneten Mittelwerte (LSM) und Standardfehler (SEM) einiger ausgewählter Parameter der Fleischbeschaffenheit in Abhängigkeit von der Farbhelligkeitsgruppe zusammengefasst.

Tab.32: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* (Ross 308) und *Meleagris gallopavo* (Big 6) in Abhängigkeit vom  $L^*_{24h}$ -Wert der MPS-Oberfläche

Variablen*		„dunkel“		„normal“		„hell“	
		LSM	SEM	LSM	SEM	LSM	SEM
MPS-Gewicht, beide [g]	Ross 308	211,3 <sup>a</sup>	6,71	215,5 <sup>a</sup>	3,44	214,3 <sup>a</sup>	6,67
	Big 6	4202,6 <sup>a</sup>	173,84	4372,9 <sup>a</sup>	77,89	4439,1 <sup>a</sup>	159,22
MPS-Anteil [%]	Ross 308	18,27 <sup>a</sup>	0,33	18,34 <sup>a</sup>	0,14	18,36 <sup>a</sup>	0,29
	Big 6	27,40 <sup>a</sup>	0,69	27,91 <sup>a</sup>	0,39	27,96 <sup>a</sup>	0,59
pH <sub>24h</sub> -Wert	Ross 308 <sup>2</sup>	6,08 <sup>c</sup>	0,03	5,96 <sup>b</sup>	0,01	5,82 <sup>a</sup>	0,03
	Big 6 <sup>1</sup>	5,78 <sup>b</sup>	0,03	5,70 <sup>ab</sup>	0,02	5,66 <sup>a</sup>	0,03
LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	Ross 308 <sup>1</sup>	5,21 <sup>a</sup>	0,30	4,87 <sup>a</sup>	0,14	4,73 <sup>a</sup>	0,23
	Big 6 <sup>2</sup>	9,60 <sup>a</sup>	0,54	9,68 <sup>a</sup>	0,24	8,97 <sup>a</sup>	0,47
LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	Ross 308 <sup>1</sup>	8,89 <sup>a</sup>	0,45	9,18 <sup>a</sup>	0,21	9,68 <sup>a</sup>	0,51
	Big 6 <sup>2</sup>	11,42 <sup>a</sup>	0,54	11,82 <sup>a</sup>	0,20	11,80 <sup>a</sup>	0,37
a* <sub>24h</sub>	Ross 308 <sup>1</sup>	3,08 <sup>a</sup>	0,15	2,90 <sup>a</sup>	0,09	3,14 <sup>a</sup>	0,16
	Big 6 <sup>2</sup>	3,87 <sup>a</sup>	0,20	3,67 <sup>a</sup>	0,10	3,51 <sup>a</sup>	0,18
Tropfsaftverlust [%]	Ross 308 <sup>2</sup>	2,22 <sup>a</sup>	0,14	2,47 <sup>a</sup>	0,07	2,89 <sup>b</sup>	0,15
	Big 6 <sup>1</sup>	0,78 <sup>a</sup>	0,08	0,98 <sup>b</sup>	0,04	1,01 <sup>b</sup>	0,08
Grillverlust [%]	Ross 308 <sup>1</sup>	18,92 <sup>a</sup>	0,84	19,57 <sup>a</sup>	0,46	18,26 <sup>a</sup>	0,98
	Big 6 <sup>2</sup>	28,46 <sup>a</sup>	0,99	27,60 <sup>a</sup>	0,40	28,97 <sup>a</sup>	0,99
Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	Ross 308 <sup>1</sup>	34,64 <sup>b</sup>	2,25	30,10 <sup>ab</sup>	1,23	25,48 <sup>a</sup>	2,25
	Big 6 <sup>1</sup>	41,27 <sup>b</sup>	3,04	30,30 <sup>a</sup>	1,33	29,99 <sup>a</sup>	2,72

\*MPS = *M. pectoralis superficialis*; MPS-Anteil ist die errechneten Anteile von MPS am Schlachtkörpergewicht in Prozent; pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 24 h p.m.; LF<sub>24h</sub> / LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 24 h p.m. / 48 h p.m.; Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Rotwert (a\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MPS 24 h p.m.

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P<0,05)

Spezies<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Zahlen unterscheiden sich signifikant (P<0,05) im jeweiligen Merkmal

## Ergebnisse

Die mittlere Helligkeitsgruppe liegt in einem Bereich von 50,09 - 54,93 (Ross 308) bzw. von 48,54 - 53,38 (Big 6). Der Vergleich der drei Helligkeitsgruppen einer Spezies zeigt keine Unterschiede im Brustmuskeltgewicht oder im errechneten Anteil des *MPS* am Schlachtkörpergewicht. Der im *MPS* der Ross 308 gemessene  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert weist signifikante Unterschiede zwischen den 3 Gruppen auf, wobei die „dunklen“ *MPS* die höchsten und die „hellen“ *MPS* die niedrigsten pH-Werte haben. Bei den Big 6 sind nur die Werte der „hellen“ und der „dunklen“ *MPS* signifikant voneinander verschieden. Der Vergleich der Spezies zeigt die signifikant niedrigeren Werte bei den Big 6. Für die LF konnten innerhalb einer Spezies keine signifikanten Unterschiede zwischen den Helligkeitsgruppen ermittelt werden. Zu allen dargestellten Messzeitpunkten haben die Ross 308 die signifikant höheren Messwerte. Beim TSV zeigen sich bei beiden Spezies signifikante Unterschiede zwischen der „dunklen“ Gruppe (niedrigere Werte) und der „hellen“ Gruppe (höhere Werte). Umgekehrt ist es bei den ermittelten Scherkraftwerten. Hier hat die „helle“ Gruppe im Vergleich zur „dunklen“ Gruppe bei beiden Spezies die signifikant niedrigeren Werte. Für den  $a^*_{24\text{h}}$ -Wert sowie den GV konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Helligkeitsgruppen einer Spezies ermittelt werden.

Für die mitochondriale Atmung (Pyruvat/Malat State-3-Atmung und State-4-Atmung) konnte kein Unterschied zwischen den Helligkeitsgruppen ermittelt werden. Bei der Pyruvat/Malat State-3-Atmung haben die Probanden, die in der „normalen“ Helligkeitsgruppe zusammengefasst sind, die tendenziell höchsten Ergebnisse und Probanden in der „dunklen“ Gruppe die niedrigsten. Die Aktivität der antioxidativen Enzyme, die in den 48 h p.m. gewonnenen Proben der Ross 308 gemessen wurde, zeigt signifikante Unterschiede zwischen der „dunklen“ und der „hellen“ Gruppe. Die Differenz liegt hier bei 29,13 U ( $\text{SOD}_{48\text{h}}$ ), 0,67 U ( $\text{GR}_{48\text{h}}$ ) bzw. 0,98 U ( $\text{GP}_{48\text{h}}$ ), wobei die Aktivität bei den Probanden mit höheren  $L^*_{24\text{h}}$ -Werte ebenfalls höher ist. Bei den Big 6 konnte für die  $\text{SOD}_{48\text{h}}$  eine signifikante Differenz von 39,51 U zwischen der „dunklen“ und der „hellen“ Gruppe ermittelt werden. Hierbei ist in den Proben der letztgenannten die höhere Aktivität messbar. Die  $\text{GR}_{48\text{h}}$ -Werte und die  $\text{GP}_{48\text{h}}$ -Werte sind zwischen den Gruppen beider Spezies vergleichbar. Der  $\text{TBARS}_{48\text{h}}$ -Wert ist bei den Ross 308 tendenziell in der „dunklen“ Gruppe und bei den Big 6 in der „hellen“ Gruppe höher.

## Ergebnisse

### 4.4. Einfluss des pH-Wertes auf die Fleischqualität

Um den Einfluss des pH-Wertes auf die Parameter der Fleischbeschaffenheit, der mitochondrialen Atmungskapazität und des antioxidativen Status darzustellen, wurde die Korrelation des pH<sub>20min</sub> -Wert bzw. des pH<sub>24h</sub> -Wert des *MPS* mit ausgewählten Merkmalen dieses Muskels berechnet.

Die Ergebnisse für *Gallus gallus gallus* (Tab.33) zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem früh- und dem spätpostmortalen pH-Wert.

Tab.33: Zusammenhang zwischen dem pH<sub>20min</sub> -Wert bzw. dem pH<sub>24h</sub> -Wert des *M. pectoralis superficialis* (*MPS*) und ausgewählter Parameter der Fleischqualität des *MPS* von *Gallus gallus gallus* in Abhängigkeit vom Mastalter

Variablen*	pH <sub>20min</sub> -Wert			pH <sub>24h</sub> -Wert		
	alle (N=200)	28d (N=100)	41 d (N=100)	alle (N=200)	28d (N=100)	41 d (N=100)
LF <sub>20min</sub> [mS/cm]	-0,43***	-0,50***	-0,23**	0,10	0,12	0,10
LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	-0,30***	-0,52***	-0,35***	-0,31***	-0,38***	-0,25**
LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	-0,29***	-0,55***	-0,32**	-0,27***	-0,32**	-0,23**
pH <sub>20min</sub> -Wert				0,18*	0,18*	0,19*
pH <sub>24h</sub> -Wert	0,18*	0,18*	0,19*			
Tropfsaftverlust [%]	-0,26***	-0,03	-0,15	-0,29***	-0,39***	-0,34**
Grillverlust [%]	0,07	0,17	-0,18	-0,10	-0,08	-0,14
Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	0,01	-0,12	-0,09	-0,32***	-0,39***	-0,29**
Muskelfaser- durchmesser [µm]	0,33***	0,30*	0,11	-0,04	0,09	0,08
L* <sub>24h</sub>	-0,03	-0,20*	-0,12	-0,56***	-0,58***	-0,63***
a* <sub>24h</sub>	-0,32***	0,05	-0,40***	-0,17*	-0,32**	-0,06
b* <sub>24h</sub>	-0,23**	-0,07	-0,24**	-0,49***	-0,50***	-0,51***

\**MPS* = *Musculus pectoralis superficialis*; pH<sub>20min</sub> / pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 20 min / 24 h p.m. im *MPS*; LF<sub>20min</sub> / LF<sub>24h</sub> / LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 20 min / 24 h / 48 h p.m. im *MPS*; Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Ermittlung des Muskelfaserdurchmessers 90 min p.m.; Helligkeit (L\*), Rotwert (a\*) und Gelbwert (b\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des *MPS* 24 h p.m. Signifikanter Korrelationskoeffizient (\* P<0,05); (\*\* P<0,01); (\*\*\*) P<0,001)

## Ergebnisse

Bei allen drei Gruppen (alle, 28 d, 41 d) besteht eine negative Korrelation zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und dem  $\text{LF}_{20\text{min}}$  -Wert sowie zwischen den früh- und dem spätpostmortalen pH-Wert und dem  $\text{LF}_{24}$  - und  $\text{LF}_{48\text{h}}$  -Wert. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten liegen zwischen  $r = 0,23^{**}$  und  $r = 0,55^{***}$ . Der  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert der 41 d alten Masttiere ist negativ mit dem  $a^*$ - und dem  $b^*$ -Wert korreliert. Dies ist auch bei der Zusammenfassung der beiden Altersgruppen der Fall. Hier besteht zudem zum TSV ein negative und zum Muskelfaserdurchmesser eine positive Beziehung. Der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert ist bei allen Gruppen negativ mit dem TSV und der Scherkraft sowie dem  $L^*$  - und dem  $b^*$ -Wert korreliert. Ein negativer Zusammenhang besteht zudem zum  $a^*$ -Wert der 28 d alten Masthybriden sowie bei Betrachtung aller Ergebnisse.

Bei der Betrachtung aller Masttiere, unabhängig vom Alter, zeigt sich eine positive Korrelation zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und den Myoglobingehalt, dem Oxymyoglobin sowie den 20 min p.m. gemessenen TBARS. Hierbei liegt der Korrelationskoeffizient zwischen  $r = 0,19^*$  und  $r = 0,35^{***}$ . Eine negative Korrelation von  $r = -0,17^*$  bis  $r = -0,35^{***}$  besteht zum Anteil an Metmyoglobin, der Succinat/Rotenon State-3-Atmung und der State-4-Atmung sowie zur Aktivität der antioxidativen Enzyme in den 20 min p.m. genommenen Proben. Für die 28 d alten Masttiere konnte eine positive Korrelation von  $r = 0,31^*$  zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und den 48 h p.m. gemessenen Oxymyoglobin ermittelt werden sowie eine negative Korrelation zwischen  $r = -0,29^{**}$  und  $r = -0,38^{***}$  mit der Succinat/Rotenon State-3-Atmung, der State-4-Atmung und der Aktivität der  $\text{GR}_{20\text{min}}$  und der  $\text{GP}_{20\text{min}}$ . Bei den 41 d alten Masttieren konnte eine negative Korrelation zwischen dem frühpostmortalen pH-Wert und der  $\text{SOD}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,21^*$ ) sowie der  $\text{GP}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,30^*$ ) ermittelt werden. Der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert zeigt nur wenige signifikante Korrelation zu den untersuchten Parametern. Für alle Masttiere zusammen sowie für die 28 d alten Masthybriden im Einzelnen konnte eine negative Korrelation ( $r = -0,22^*$  bis  $r = -0,33^*$ ) zwischen dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert und dem  $\text{OxyMb}_{48\text{h}}$  sowie der  $\text{SOD}_{48\text{h}}$  errechnet werden. Der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert der 41 d alten Tiere ist mit dem Anteil an Metmyoglobin zum Messzeitpunkt 48 h p.m. korreliert ( $r = -0,26^*$ ).

## Ergebnisse

Um den Einfluss des pH-Wertes versuchsabhängig darzustellen, wurde in der ersten Analyse die Daten der 112 d und der 147 d alten Puten verwendet und für die zweite die Daten der 106 d und der 143 d alten Hybrid XL.

Die Ergebnisse der 112 d und der 147 d alten Masthybriden (Tab.34) zeigen Unterschiede in der Korrelation in Abhängigkeit vom betrachteten pH-Wert.

Tab.34: Zusammenhang zwischen dem pH<sub>20min</sub> -Wert und dem pH<sub>24h</sub> -Wert des *M. pectoralis superficialis* (MPS) und ausgewählter Parameter der Fleischqualität des MPS von *Meleagris gallopavo* des 1. Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit vom Mastalter

Variablen*	pH <sub>20min</sub> -Wert			pH <sub>24h</sub> -Wert		
	alle (N=125)	112 d (N=75)	147 d (N=50)	alle (N=125)	112 d (N=75)	147 d (N=50)
LF <sub>20min</sub> [mS/cm]	-0,40***	-0,49***	-0,36**	0,01	-0,02	0,01
LF <sub>24h</sub> [mS/cm]	-0,43***	-0,50***	-0,72***	-0,06	-0,06	0,12
LF <sub>48h</sub> [mS/cm]	-0,40***	-0,49***	-0,60***	0,02	-0,02	0,17
pH <sub>20min</sub> -Wert				-0,42***	-0,28*	-0,08
pH <sub>24h</sub> -Wert	-0,42***	-0,28*	-0,08			
Tropfsaftverlust [%]	0,24**	0,05	0,28*	-0,24**	-0,05	-0,26
Grillverlust [%]	-0,26*	-0,02	-0,33*	0,03	0,03	0,01
Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	0,01	0,07	0,04	0,07	0,14	0,31*
Muskelfaser- durchmesser [µm]	0,36***	0,05	0,33	-0,18	0,19	-0,23
L* <sub>24h</sub>	0,23*	0,12	0,20	-0,44***	-0,22*	-0,30*
a* <sub>24h</sub>	-0,19*	-0,14	-0,25	-0,39***	-0,01	-0,16
b* <sub>24h</sub>	0,30**	0,15	0,04	-0,49***	-0,30*	-0,29

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; pH<sub>20min</sub> / pH<sub>24h</sub> = pH-Wert gemessen 20 min / 24 h p.m. im MPS; LF<sub>20min</sub> / LF<sub>24h</sub> / LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 20 min / 24 h / 48 h p.m. im MPS; Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h; Ermittlung des Muskelfaserdurchmessers 90 min p.m.; Helligkeit (L\*), Rotwert (a\*) und Gelbwert (b\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) des MPS 24h p.m. Signifikanter Korrelationskoeffizient (\* P<0,05); (\*\* P<0,01); (\*\*\*) P<0,001)

## Ergebnisse

Der  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert steht hierbei bei allen drei Datensätzen (alle, 112 d, 147 d) negativ mit dem  $\text{LF}_{20\text{min}}$  -, dem  $\text{LF}_{24\text{h}}$  - und dem  $\text{LF}_{48\text{h}}$  -Wert im Zusammenhang. Für den  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert konnte keine signifikante Korrelation zu diesen Werten berechnet werden. Des Weiteren besteht zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert eine negative Beziehung, jedoch nur in der Gruppe, in der beide Alterstufen zusammengefasst sind sowie bei den 112 d alten Masttieren. Die Betrachtung aller Daten sowie der Daten der 147 d alten Puten zeigt eine positive Korrelation des  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert mit dem TSV, welcher jedoch im negativen Zusammenhang mit dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert steht. Eine positive Beziehung besteht für die eben genannten beiden Datensätze zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und dem GV. Die Farbhelligkeit, die 24 h p.m. ( $L^*a^*b^*_{24\text{h}}$  -Wert) an der Oberfläche des *MPS* gemessen wurde und der  $\text{pH}_{20\text{min}}$  - bzw.  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert zeigen eine signifikante Korrelation bei Betrachtung des altersunabhängigen Datensatzes. Zwischen dem  $L^*a^*b^*$ -Werten und dem spätpostmortalen pH-Wert besteht eine negative Beziehung ebenso wie zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und dem  $a^*_{24\text{h}}$  -Wert. Die getrennte Betrachtung der Altersgruppen zeigt keinen Zusammenhang zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und den  $L^*a^*b^*$ -Werten der *MPS*-Oberfläche. Zwischen dem  $L^*_{24\text{h}}$  - und dem  $b^*_{24\text{h}}$  -Wert und dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert besteht eine signifikante negative Korrelation.

Bei der altersunabhängigen Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich eine positive Korrelation zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und dem  $\text{MetMb}_{20\text{min}}$  ( $r = 0,31^*$ ) sowie der Pyruvat/Malat State-3-Atmung ( $r = 0,21^*$ ). Eine negative Korrelation besteht zum  $\text{OxyMb}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,40^{**}$ ) und der State-4-Atmung ( $r = -0,29^*$ ) sowie den TBARS ( $\text{TBARS}_{20\text{min}}$   $r = -0,25^*$ ;  $\text{TBARS}_{48\text{h}}$   $r = -0,30^*$ ). Zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert besteht bei den 112 d alten Masttiere eine negative Korrelation zu den TBARS ( $\text{TBARS}_{20\text{min}}$   $r = -0,33^*$ ;  $\text{TBARS}_{48\text{h}}$   $r = -0,36^*$ ) und bei den 147 d alten Masthybriden zum  $\text{OxyMb}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,36^*$ ). Der spätpostmortale pH-Wert zeigt, bei Einbeziehung aller Messergebnisse, eine negative Korrelation zum  $\text{Mb}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,30^*$ ) und zur State-4-Atmung ( $r = -0,29^*$ ) sowie zu den TBARS ( $\text{TBARS}_{20\text{min}}$   $r = -0,25^*$ ;  $\text{TBARS}_{48\text{h}}$   $r = -0,30^*$ ). Eine positive Korrelation besteht hingegen mit der Pyruvat/Malat State-3-Atmung ( $r = 0,21^*$ ). Bei den 112 d alten Masttieren ist der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert positiv mit der  $\text{GR}_{20\text{min}}$  ( $r = 0,35^*$ ) und der  $\text{GP}_{20\text{min}}$  ( $r = 0,39^*$ ) korreliert. Die  $\text{GP}_{20\text{min}}$  ist hingegen bei den 147 d alten Masttieren negativ mit dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert korreliert ( $r = -0,54^{**}$ ).

## Ergebnisse

Die Verwendung der Ergebnisse der 106 d bzw. 143 d alten Hybrid XL zeigt nur wenige signifikante Zusammenhänge zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  - bzw. dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert und den untersuchten Parametern der Fleischbeschaffenheit. Unter Verwendung aller Daten besteht eine Beziehung zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und der  $\text{LF}_{20\text{min}}$  sowie zwischen dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert und der  $\text{LF}_{20\text{min}}$  ( $r = 0,28^*$ ). Bei den 143 d alten Hybrid XL korreliert der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert mit dem  $\text{LF}_{24\text{h}}$  ( $r = -0,50^*$ ) und dem  $\text{LF}_{48\text{h}}$  ( $r = -0,47^*$ ).

Die Betrachtung unabhängig vom Alter zeigt eine positive Korrelation zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und der Pyruvat/Malat State-3-Atmung ( $r = 0,30^*$ ). Eine negative Korrelation besteht mit dem  $\text{OxyMb}_{48\text{h}}$  ( $r = -0,36^*$ ) sowie der  $\text{GR}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,30^*$ ) und der  $\text{GP}_{48\text{h}}$  ( $r = 0,46^{**}$ ). Bei den 106 d alten Hybrid XL kann eine negative Korrelation zwischen dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert und dem  $\text{TBARS}_{48\text{h}}$  ( $r = -0,44^*$ ) gezeigt werden. Der frühpostmortale pH-Wert ist bei den 143 d alten Puten negativ mit der State-4-Atmung ( $r = -0,53^*$ ) und der  $\text{GP}_{48\text{h}}$  ( $r = -0,63^*$ ) korreliert. Der  $\text{pH}_{48\text{h}}$  -Wert und der  $\text{MetMb}_{48\text{h}}$  -Wert zeigen bei Verwendung aller Ergebnisse eine signifikante Korrelation von  $r = 0,45^*$  sowie eine Korrelation von  $r = 0,47^*$  bei getrennter Betrachtung der 143 d alten Hybrid XL. Eine negative Korrelation besteht zudem zu den  $\text{TBARS}_{20\text{min}}$  ( $r = -0,35^*$ ) bei Verwendung aller Daten.

Um den Einfluss des pH-Wertes noch näher zu betrachten, wurde eine Einteilung in pH-Gruppen vorgenommen. Hierfür wurden die Ergebnisse der Ross 308 und der Big 6, welche in den Voruntersuchungen ermittelt wurden, verwendet. Der früh- und der spätpostmortale pH-Wert wurden anhand des jeweiligen Mittelwertes in zwei Gruppen gegliedert.

Für die Ross 308 wurde für die Gruppe „pH-Wert niedrig“ ein LSM von  $6,30 \pm 0,01$  (SEM) und für die Gruppe „pH-Wert hoch“ ein LSM von  $6,58 \pm 0,01$  (SEM) ermittelt. Bei den Big 6 lag der LSM für den niedrigen pH-Wert bei  $6,40 \pm 0,02$  (SEM) und für den hohen pH-Wert bei  $6,76 \pm 0,01$  (SEM). Die Einteilung der Parameter der Fleischbeschaffenheit anhand des  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Werts zeigt wenige Unterschiede zwischen den beiden pH-Gruppen innerhalb oder zwischen den Spezies.

Bei den Ross 308 konnten signifikante Unterschiede im *MPS*-Gewicht aufgezeigt werden, wobei die Probanden der pH2-Gruppe die signifikant höheren Werte haben.

## Ergebnisse

Tendenziell höher ist bei ihnen auch das Schlachtkörpergewicht. Signifikant verschieden zwischen den pH-Gruppen sind der  $a^*_{24h}$  - und der  $b^*_{24h}$  -Wert der *MPS*-Oberfläche sowie der  $a^*_{24h}$  -Wert, der am *MPS*-Anschnitt ermittelt wurde. Hier haben die Probanden aus der „pH-Wert niedrig“ -Gruppe die höheren Werte. Dies gilt tendenziell auch für den  $L^*_{24h}$  -Wert der *MPS*-Oberfläche sowie für den 24 h p.m. ermittelten  $L^*$ - und  $b^*$ -Wert des *MPS*-Anschnitt. Bei den Probanden mit dem niedrigeren  $pH_{20min}$  -Wert ist tendenziell der  $pH_{24h}$  -Wert, der  $LF_{20min}$  -Wert, der GV und die Scherkraft niedriger. Der  $LF_{24h}$  - und der  $LF_{48h}$  -Wert sowie der TSV sind hier höher. Der Vergleich der beiden pH-Gruppen, die für die Puten ermittelt wurden, zeigen signifikante Unterschiede im  $LF_{24h}$  - und  $LF_{48h}$  -Wert. Hier haben die Probanden mit dem niedrigeren pH-Wert die höheren Werte. Der  $LF_{20min}$  -Wert ist hier tendenziell niedriger. Ebenfalls tendenziell niedriger sind der TSV und die Scherkraft. Die Farbhelligkeit, die 24 h an der Oberfläche und am Anschnitt des *MPS* ermittelt wurde, zeigt signifikante Unterschiede im  $a^*_{24h}$  -Wert der *MPS*-Oberfläche. Hier haben die Probanden mit dem niedrigeren pH-Wert die höheren Werte. Ebenfalls höher, wobei die Unterschiede tendenziell sind, sind der  $L^*_{24h}$  - und der  $b^*_{24h}$  -Wert der Oberfläche sowie der  $L^*a^*b^*_{24h}$  -Wert des Muskelanschnitts.

Die Einteilung nach dem  $pH_{20min}$  -Wert zeigte für die mitochondriale Atmungskapazität, die antioxidative Enzyme und die Lipidoxidation signifikante Unterschiede zwischen den beiden Spezies innerhalb einer pH-Gruppe. Diese Differenzen sind auf die Unterschiede in den einzelnen Parametern zurückzuführen. So haben die Ross 308 im Vergleich zu den Big 6 die höhere Pyruvat/Malat State-3-Atmung, 20 min p.m. die höhere sowie 48 h p.m. die niedriger SOD-, GR- und GP-Aktivität. Die Konzentration an TBARS ist zu beiden Messzeitpunkten bei den Ross 308 niedriger. Zwischen der „pH-Wert niedrig“ - und der „pH-Wert hoch“ -Gruppe einer Spezies konnte, bis auf die State-4-Atmung der Ross 308, kein Unterschied ermittelt werden. Die Differenz liegt hier bei 1,35 pmol/s\*mg, wobei in den Proben derjenigen Probanden, die in der Gruppe mit hohem pH-Wert zusammengefasst sind, die höhere Atmungsrate ermittelt werden konnte.

In der zweiten Berechnung wurde der  $pH_{24h}$  -Wert (Tab.35) verwendet, um die Einteilung in die pH-Gruppen vorzunehmen. Bei dem Vergleich der Ergebnisse zeigen sich signifikante und tendenzielle Unterschiede zwischen den beiden pH-Wert -Gruppe einer Spezies.

## Ergebnisse

Tab.35: Mittelwert (LSM) und Standardfehler (SEM) ausgewählter Merkmale der Fleischbeschaffenheit des *M. pectoralis superficialis* (MPS) von *Gallus gallus gallus* (Ross 308) und *Meleagris gallopavo* (Big 6) nach Gruppierung in niedrigen und hohen pH-Wert ausgehend vom LSM des pH<sub>24h</sub>-Wert der jeweiligen Spezies

Variablen*	„pH-Wert niedrig“ - Gruppe		„pH-Wert hoch“ - Gruppe	
	Ross 308 (5,84 ± 0,01)	Big 6 (5,60 ± 0,01)	Ross 308 (6,08 ± 0,01)	Big 6 (5,82 ± 0,01)
Schlachtkörpergewicht [g]	1155,03 <sup>a</sup> ± 15,27	16000,33 <sup>b</sup> ± 167,08	1179,35 <sup>a</sup> ± 15,01	15164,00 <sup>a</sup> ± 189,66
MPS - Gewicht, beide [g]	210,04 <sup>a</sup> ± 3,73	4518,20 <sup>b</sup> ± 83,73	219,27 <sup>a</sup> ± 4,07	4197,60 <sup>a</sup> ± 94,90
LF <sub>24h</sub> [mS / cm]	4,98 <sup>a1</sup> ± 0,16	9,57 <sup>a2</sup> ± 0,26	4,84 <sup>a1</sup> ± 0,17	9,55 <sup>a2</sup> ± 0,31
LF <sub>48h</sub> [mS / cm]	9,63 <sup>b1</sup> ± 0,26	11,95 <sup>a2</sup> ± 0,21	8,79 <sup>a1</sup> ± 0,24	11,57 <sup>a2</sup> ± 0,27
Tropfsaftverlust [%]	2,70 <sup>b2</sup> ± 0,09	1,10 <sup>b1</sup> ± 0,05	2,29 <sup>a2</sup> ± 0,07	0,82 <sup>a1</sup> ± 0,04
Grillverlust [%]	18,70 <sup>a1</sup> ± 0,55	28,53 <sup>a2</sup> ± 0,44	19,82 <sup>a1</sup> ± 0,51	27,37 <sup>a2</sup> ± 0,55
Scherkraft F <sub>max</sub> [N]	28,34 <sup>a1</sup> ± 1,40	33,10 <sup>a1</sup> ± 1,80	31,92 <sup>a1</sup> ± 1,43	29,90 <sup>a1</sup> ± 1,39
L* <sub>24h</sub> (Oberfläche MPS)	53,52 <sup>b2</sup> ± 0,26	51,75 <sup>b1</sup> ± 0,32	51,50 <sup>a2</sup> ± 0,24	50,16 <sup>a1</sup> ± 0,28
a* <sub>24h</sub> (Oberfläche MPS)	3,24 <sup>b1</sup> ± 0,11	3,56 <sup>a1</sup> ± 0,11	2,72 <sup>a1</sup> ± 0,09	3,79 <sup>a2</sup> ± 0,12
b* <sub>24h</sub> (Oberfläche MPS)	7,15 <sup>b2</sup> ± 0,15	3,87 <sup>a1</sup> ± 0,13	6,16 <sup>a2</sup> ± 0,11	3,91 <sup>a1</sup> ± 0,15
L* <sub>24h</sub> (Anschnitt MPS)	50,70 <sup>b1</sup> ± 0,36	54,28 <sup>b2</sup> ± 0,33	49,31 <sup>a1</sup> ± 0,32	51,56 <sup>a2</sup> ± 0,38
a* <sub>24h</sub> (Anschnitt MPS)	2,21 <sup>a1</sup> ± 0,10	3,74 <sup>a2</sup> ± 0,11	2,10 <sup>a1</sup> ± 0,09	4,13 <sup>b2</sup> ± 0,12
b* <sub>24h</sub> (Anschnitt MPS)	3,03 <sup>a2</sup> ± 0,14	2,41 <sup>b1</sup> ± 0,10	2,90 <sup>a2</sup> ± 0,16	2,04 <sup>a1</sup> ± 0,13

\*MPS = *Musculus pectoralis superficialis*; MPS-Gewicht der Big 6 ist der verdoppelte Wert des gewogenen linken MPS; LF<sub>24h</sub> / LF<sub>48h</sub> = elektrische Leitfähigkeit gemessen 24 h / 48 h p.m.; Helligkeit (L\*), Rotwert (a\*) und Gelbwert (b\*) gemessen an der Innenseite (Knochenseite) und der Anschnittfläche des MPS 24 h p.m.; Tropfsaftverlust ermittelt über 64 h

LSM<sup>ab</sup> mit unterschiedlichen Zahlen in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen dem niedrigen („pH-Wert niedrig“-Gruppe) und dem hohen („pH-Wert hoch“-Gruppe) innerhalb einer Spezies  
LSM<sup>12</sup> mit unterschiedlichen Buchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P<0,05) zwischen den Spezies innerhalb einer pH-Gruppe

## Ergebnisse

Der Vergleich der beiden pH-Gruppen zeigt bei den Ross 308 signifikante Unterschiede im  $LF_{48h}$  -Wert, im TSV und in der Farbhelligkeit, die an der Muskeloberfläche gemessen wurde sowie im  $L^*_{24h}$  -Wert. Hierbei sind die Werte derjenigen Probanden höher, die in der Gruppe mit niedrigem pH-Wert zusammengefasst sind. In der Tendenz ist dies auch beim Brustmuskeltgewicht, dem  $LF_{24h}$  -Wert sowie dem  $a^*_{24h}$  - und dem  $b^*_{24h}$  - Wert des Muskelanschnittes zu sehen. Das Schlachtkörpergewicht, der GV und die Scherkraft sind hingegen tendenziell bei den Probanden mit höherem pH-Wert höher. Bei den Big 6 konnten signifikante Unterschiede zwischen den pH-Gruppen für das Schlachtkörper- und Brustmuskeltgewicht, den TSV und den  $L^*_{24h}$  -Wert der Muskeloberfläche sowie die 24 h p.m. gemessenen  $L^*a^*b^*$ -Werte des Muskelanschnittes ermittelt werden. Die Probanden aus der Gruppe mit niedrigem pH-Wert haben hier, mit Ausnahme des  $a^*_{24h}$  -Wert des Muskelanschnittes, die höheren Werte. Dieser Wert ist bei den Probanden aus der „pH-Wert hoch“ -Gruppe höher. In der Tendenz ist bei den Big 6 mit niedrigem pH-Wert der  $LF_{24h}$  - und der  $LF_{48h}$  -Wert sowie der GV und die Scherkraft höher. Der  $a^*_{24h}$  - und der  $b^*_{24h}$  -Wert ist hier niedriger.

Um den Einfluss des  $pH_{24h}$  -wertes auf die mitochondriale Atmungskapazität, die antioxidativen Enzyme und die Lipidoxidation zu untersuchen, wurden für diese Parameter ebenfalls die Mittelwerte (LSM) und Standardfehler (SEM) in Abhängigkeit von der Einordnung in die pH-Gruppen berechnet. Bei den Ross 308 gibt es in der Pyruvat/Malat State-3-Atmung und der State-4-Atmung signifikante Unterschiede zwischen den Probanden mit niedrigem und hohem pH-Wert. Hierbei ist die State-3-Atmung bei den Probanden mit niedrigem pH-Wert höher, die State-4-Atmung hingegen niedriger. Bei den Big 6 ist die mitochondriale Atmungsaktivität bei den Probanden mit den niedrigeren pH-Wert ebenfalls geringer. Bei den antioxidativen Enzymen ist ein tendenzieller Unterschied zu erkennen. Hier haben die Ross 308 aus der „pH-Wert niedrig“ -Gruppe im Vergleich zu denjenigen Probanden der „pH-Wert hoch“ -Gruppe die niedrigere SOD-Aktivität und die höhere GR- und GP-Aktivität. Bei den Big 6 haben die Probanden mit dem niedrigeren pH-Wert die höhere SOD- und GP-Aktivität, jedoch die niedrigere Aktivität der GR. Die Konzentration an TBARS ist bei beiden Spezies bei den Probanden, die den niedrigeren pH-Wert haben, höher.

## Ergebnisse

### 4.5. Multivariate Analyse

In der multivariaten Analyse wurde mit Hilfe von einigen der zuvor besprochenen Parameter untersucht, ob eine altersabhängige Trennung von *Gallus gallus gallus* bzw. *Meleagris gallopavo* möglich ist. Für die 1. Berechnung wurden jeweils die ermittelten Daten für pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit, Tropfsaft- und Grillverlustes, Scherkraft sowie die 24 h p.m. gemessenen L\*- und a\*-Werte verwendet. In der Hauptkomponentenanalyse wurde der Einfluss der verwendeten Parameter auf die 1. und 2. Hauptkomponente sowie die sich daraus ergebende räumliche Verteilung der Probanden berechnet.

Bei der Berechnung der altersabhängige Trennung von *Gallus gallus gallus* wird die 1. Hauptkomponente durch den L\*<sub>24h</sub>, den pH<sub>24h</sub> - Wert, den LF<sub>24h</sub> und die Scherkraft bestimmt. Diese Parameter erklären 27,16 % der Varianz zwischen den Altersstufen. Die 2. Hauptkomponente erklärt 23,71 % der Varianz und wird erklärt durch den TSV, den a\*<sub>24h</sub> und den pH<sub>20min</sub> -Wert. Die 28 d alten Masttiere (Kennnummer 1) gruppieren sich in dieser Berechnung hauptsächlich oberhalb und die 41 d alten Broiler (Kennnummer 2) unterhalb der Nulllinie der 2. Hauptkomponente und unterschieden sich somit im TSV und a\*<sub>24h</sub> -Wert sowie pH<sub>20min</sub> -Wert.

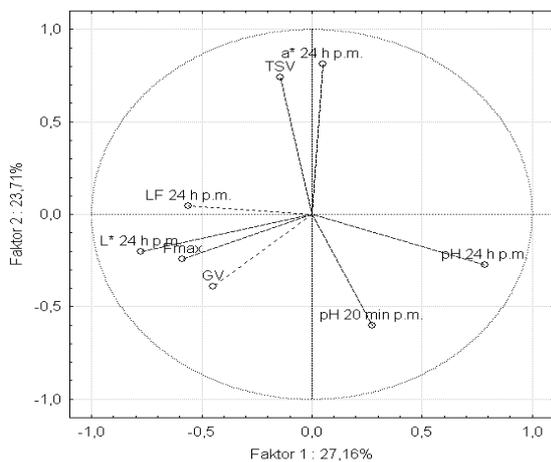


Abb.46: Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), pH<sub>20min</sub> und pH<sub>24h</sub> - Wert, elektrische Leitfähigkeit (LF<sub>24h</sub>), Scherkraft (F<sub>max</sub>) sowie Helligkeit (L\*<sub>24h</sub>) und Rotwert (a\*<sub>24h</sub>) von *Gallus gallus gallus* nach 28 d und 41 d Mast

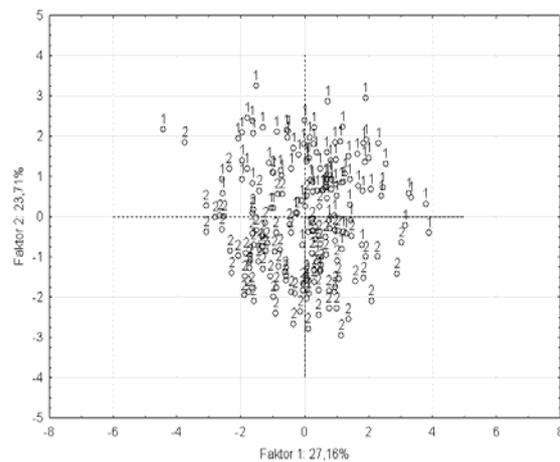


Abb.47: Einfluss des Tropfsaftverlustes (TSV), des Rotwertes (a\*<sub>24h</sub>) sowie des pH<sub>20min</sub> -Wert auf die altersabhängige Verteilung von *Gallus gallus gallus* (28 d - Kennnummer 1; 41 d - Kennnummer 2)

## Ergebnisse

Bei den 112 d und 147 d alten Puten wird die 1. Hauptkomponente durch den  $L^*_{24h}$  - und den  $a^*_{24h}$  -Wert sowie den  $pH_{20min}$  - und  $pH_{24h}$  -Wert definiert, während die 2. Hauptkomponente durch die Scherkraft ( $F_{max}$ ) und den GV dargestellt ist. Die 1. Hauptkomponente erklärt in dieser Berechnung 27,09 % der Varianz und die 2. Hauptkomponente 18,08 %. In der räumliche Verteilung gruppieren sich die 112 d alten Masttiere (Kennnummer 1) rechts und die 147 d alten Puten (Kennnummer 2) links der Nulllinie der 1. Hauptkomponente. Die Differenzierung der Altersstufen erfolgt über den  $L^*_{24h}$  - und den  $a^*_{24h}$  -Wert, sowie den  $pH_{20min}$  - und den  $pH_{24h}$  -Wert.

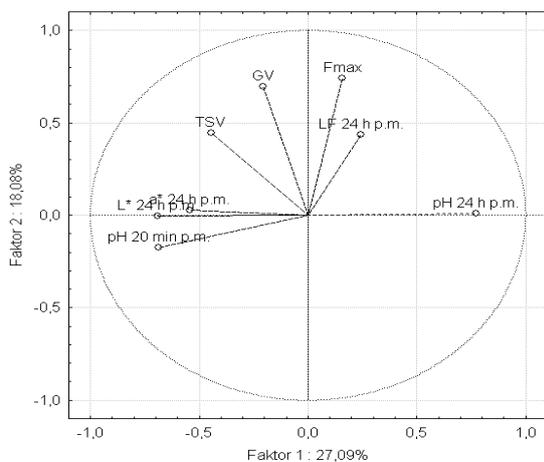


Abb.48: Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV),  $pH_{20min}$  und  $pH_{24h}$  - Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $LF_{24h}$ ), Scherkraft ( $F_{max}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24h}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24h}$ ) von *Meleagris gallopavo* nach 112 d und 147 d Mast

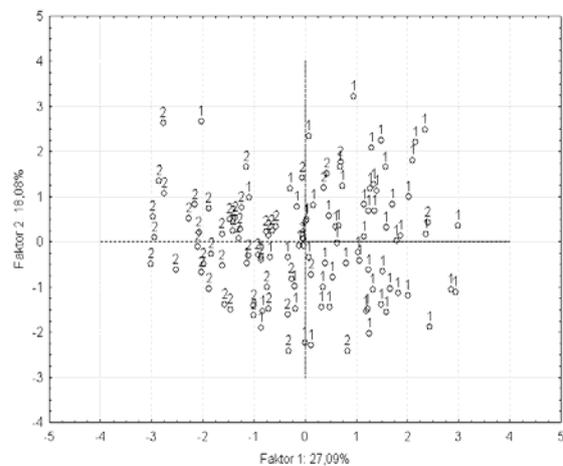


Abb.49: Einfluss der Helligkeit ( $L^*_{24h}$ ) und des Rotwertes ( $a^*_{24h}$ ), sowie des  $pH_{20min}$  - und des  $pH_{24h}$  -Wert auf die altersabhängige Verteilung von *Meleagris gallopavo* (112 d - Kennnummer 1; 147 d - Kennnummer 2)

In den nachfolgenden beiden Analysen wurde der altersabhängige Vergleich von *Meleagris gallopavo* mit den Daten der 106 d und der 112 d sowie der 143 d und der 147 d alten Probanden durchgeführt. Die Alterstufen 106 d und 143 d werden hierbei von den Hybrid XL repräsentiert.

Mit den Daten der 106 d und der 112 d alten Puten wird die 1. Hauptkomponente durch den  $L^*_{24h}$ , den TSV und den  $pH_{20min}$  -Wert definiert, wobei diese beiden Parameter 23,83 % der Varianz erklären. Die 2. Hauptkomponente erklärt 18,11 %

## Ergebnisse

der Varianz und wird durch den  $LF_{24h}$  und den GV bestimmt. Die Trennung der Probanden erfolgt über die Nulllinie der 2. Hauptkomponente mittels der Parameter  $L^*_{24h}$ , TSV und  $pH_{20min}$  -Wert. Diese Werte sind bei den 106 d alten Hybrid XL (Kennnummer 1), welche rechts neben der Nulllinie angeordnet sind, höher, im Vergleich zu den 112 d alten Puten (Kennnummer 2).

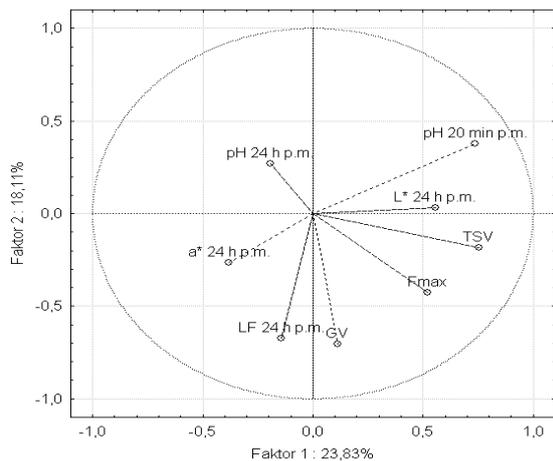


Abb.50: Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV),  $pH_{20min}$  und  $pH_{24h}$  -Wert, elektrische Leitfähigkeit ( $LF_{24h}$ ), Scherkraft ( $F_{max}$ ) sowie Helligkeit ( $L^*_{24h}$ ) und Rotwert ( $a^*_{24h}$ ) von *Meleagris gallopavo* nach 106 d und 112 d Mast

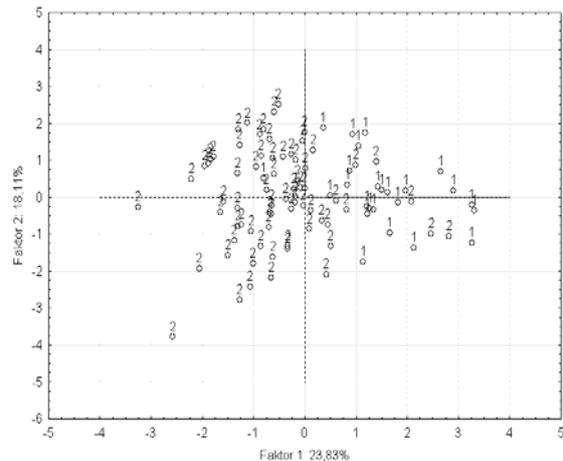


Abb.51: Einfluss der Helligkeit ( $L^*_{24h}$ ), des Tropfsaftverlustes (TSV) und des  $pH_{20min}$  -Wertes auf die altersabhängige Verteilung von *Meleagris gallopavo* (106 d - Kennnummer 1; 112 d - Kennnummer 2)

Die Berechnung der 1. Hauptkomponente mit den Daten der 143 d und der 147 d alten Puten zeigt, dass diese über die Parameter  $a^*_{24h}$ , GV und TSV, 27,89 % der Varianz erklärt. Die 2. Hauptkomponente wird durch den  $pH_{24h}$  -Wert und den  $LF_{24h}$  definiert und erklärt 19,41 % der Varianz. Die Trennung der Probanden erfolgt entlang der Nulllinie der 1. Hauptkomponente über den  $a^*_{24h}$  -Wert. Die Trennung der Probanden der beiden Altersstufen erfolgt über den  $a^*_{24h}$  -Wert, der bei den 147 d alten Puten (Kennnummer 2) höher ist sowie den GV und den TSV. Diese Parameter sind bei den älteren Masthybriden niedriger.

## Ergebnisse

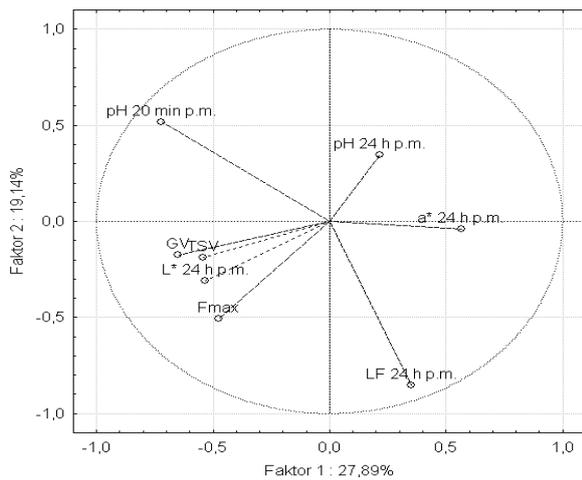


Abb.52: Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), pH<sub>20min</sub> und pH<sub>24h</sub> - Wert, elektrische Leitfähigkeit (LF<sub>24h</sub>), Scherkraft (F<sub>max</sub>) sowie Helligkeit (L\*<sub>24h</sub>) und Rotwert (a\*<sub>24h</sub>) von *Meleagris gallopavo* nach 143 d und 147 d Mast

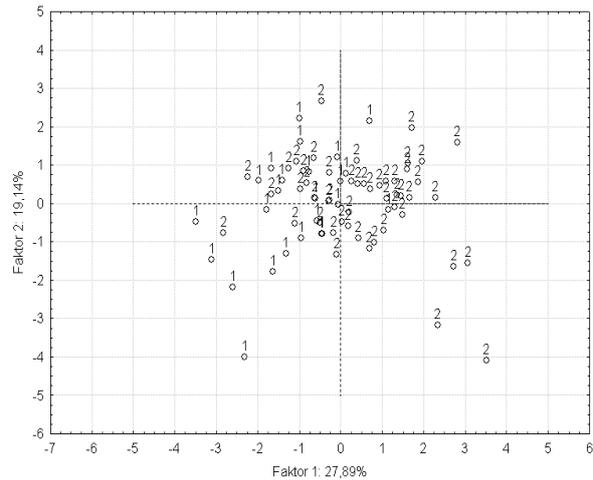


Abb.53: Einfluss des Rotwert (a\*<sub>24h</sub>), des Tropfsaftverlustes (TSV) und des Grillverlustes (GV) auf die altersabhängige Verteilung von *Meleagris gallopavo* (143 d - Kennnummer 1; 147 d - Kennnummer 2)

Um Unterschiede zwischen *Gallus gallus gallus* und *Meleagris gallopavo* darzustellen, wurde für diese beiden Spezies unter Verwendung der Daten der Ross 308 und der Big ebenfalls eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt.

Die 1. Hauptkomponente erklärt in dieser Berechnung eine Varianz von 40,35 % und wird hauptsächlich durch den GV und den LF<sub>24h</sub> sowie den TSV bestimmt. Die 2. Hauptkomponente, welche 17,02 % der Varianz erklärt, wird durch den L\*<sub>24h</sub> -Wert und den pH<sub>20min</sub> -Wert definiert. Die Verteilung der Probanden zeigt eine klare Trennung der Spezies durch die Nulllinie der 1. Hauptkomponente aufgrund des Unterschiedes im GV und den LF<sub>24h</sub>, wobei diese Werte bei *Gallus gallus gallus* niedriger sind. Der TSV ist hingegen bei *Meleagris gallopavo* niedriger.

## Ergebnisse

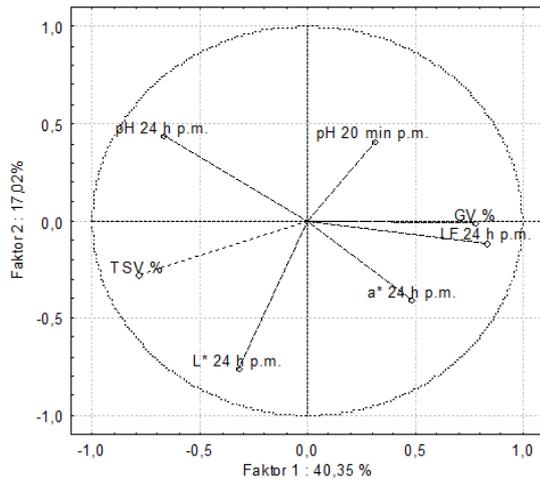


Abb.54: Hauptkomponentenanalyse mit den Parametern Tropfsaftverlust (TSV), Grillverlust (GV), pH<sub>20min</sub> und pH<sub>24h</sub> - Wert, elektrische Leitfähigkeit (LF<sub>24h</sub>), Scherkraft (F<sub>max</sub>) sowie Helligkeit (L\*<sub>24h</sub>) und Rotwert (a\*<sub>24h</sub>) von *Gallus gallus gallus* und *Meleagris gallopavo*

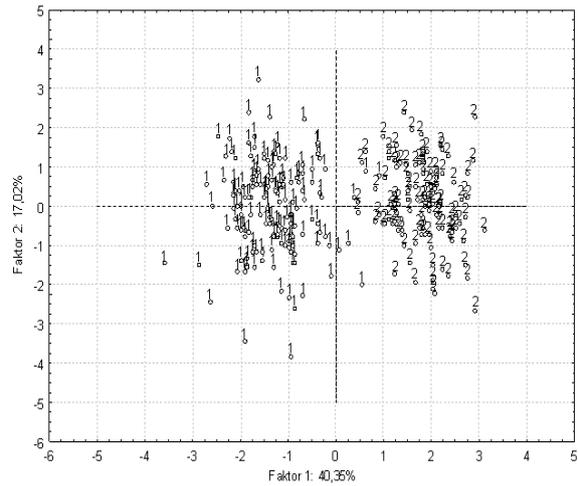


Abb.55: Einfluss des Tropfsaftverlustes (TSV), des Rotwertes (a\*<sub>24h</sub>) sowie des pH<sub>20min</sub> - Wertes auf die altersabhängige Verteilung von *Gallus gallus gallus* (Kennnummer 1) und *Meleagris gallopavo* (Kennnummer 2)

## Diskussion

### V. Diskussion

#### 5.1. Schlachtkörpermerkmale und Rohnährstoffe

Der Vergleich der eigenen Ergebnisse mit Daten aus der Literatur (Ristic and Korthas, 1987; Lehmann et al., 1997; Smith et al., 2002; Goliomytis et al., 2003; Branscheid et al., 2004; Reddish and Lilburn 2004a; Reddish and Lilburn 2004b; Fanatico et al. 2005; Lemme et al., 2006; Fanatico et al. 2007; Wang et al. 2009; Werner et al., 2009) zeigt Differenzen. Unterschiede in den Ergebnissen verschiedener Studien können durch Abweichungen in der Haltung und der Fütterung sowie im Schlachalter der Masttiere begründet sein. Die Handhabung der Schlachtkörper wie z.B. die Zerlegung, kann Variationen im Gewicht der Teilstücke und somit in den Anteilen bewirken. Auch die verwendeten Mastlinien unterscheiden sich zwischen den einzelnen Studien. Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Leistungsdaten entsprechen in ihrer Gesamtheit den Daten der Zuchtunternehmen (AVIAGEN, 2008; Cobb-Vantress, 2008; (HENDRIX GENETICS, 2009).

Der Vergleich der Broilerlinien bzw. der Geschlechter mit der Literatur ist nicht einfach. Speziell für die noch recht junge Mastlinie Ross 708 gibt es nur wenige Veröffentlichungen, welche die Mastleistung und die Fleischqualität zum Gegenstand haben. Die Herstellerdaten der Ross 308 und der Ross 708 (AVIAGEN, 2008) sowie der Cobb 700 (Cobb-Vantress, 2008) zeigen Übereinstimmungen mit den in dieser Studie ermittelten Schlachtkörpermerkmalen. Schnell wachsende Masthybriden, wie die Ross und die Cobb, sind im Vergleich zu ursprünglichen Haushühnern oder Legehennen speziell auf den Ansatz von großen Muskelmassen an Brust und Schenkel gezüchtet (Sandercock et al., 2009). Hierbei ist die Linie Ross 708 im Vergleich zu den Ross 308 und den Cobb 700 am stärksten selektiert. Das Schlachtkörpergewicht steigt bei den Ross 708 um 1120,30 g und bei den Cobb 700 um 948 g sind. Der Vergleich der Standardfehler zeigt, dass innerhalb einer Linie die Unterschiede im Gewicht mit dem Alter zunehmen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Ross 708 für eine Mast über 41 d am vorteilhaftesten ist, da sie die höchste Gewichtszunahme über die Zeit aufweist. Dies ist insofern sinnvoll, da die voll ausgemästeten Broiler zerlegt werden und dann als Teilstücke in den Handel kommen. Der Vergleich der ermittelten Rohnährstoffe weist zwischen den Linien nur wenige Unterschiede auf. Zwischen den beiden Altersstufen gibt es Differenzen im Fettgehalt, nicht jedoch im Proteingehalt und dem Anteil an Trockenmasse.

## Diskussion

Fanatico et al. (2007) verglichen in ihrer Arbeit schnell und langsam wachsende Masthähnchen sowie den Einfluss der Auslaufhaltung auf die Linien. Der Proteingehalt war hier bei der schnell wachsenden Linie niedriger als bei den langsam wachsenden Masttieren. Daneben war bei beiden Linien ein höherer Proteingehalt messbar wenn die Tiere Zugang zum Auslauf hatten. Der Fettgehalt war bei den schnell wachsenden Tieren signifikant höher. Der von Fanatico et al. (2007) ermittelte Fettgehalt lag mit 8,5 % (schnelle Linie) bzw. 4,5 % (langsame Linie) über dem Wert der in der vorliegenden Arbeit ermittelt wurde. Ein Unterschied zwischen den beiden Studien ist das Alter der Masttiere. In der Studie von Fanatico et al. (2007) wurde die schnell wachsende Linie nach 56 d (Hähne) bzw. 63 d (Hennen) und die langsam wachsende Linie nach 84 d (Hähne) bzw. 91 d (Hennen) geschlachtet. Unterschiede zwischen schnell und langsam wachsenden Linien zeigte auch Castellini (2005). Der Vergleich erfolgte zwischen schnell und langsam wachsenden Linien, die unter ökologischen Bedingungen und eine schnell wachsende Linie, die unter konventionellen Bedingungen gemästet wurde. Bei letztgenannter wurde ein Fettgehalt von 1,5 % ermittelt. Unter ökologischen Bedingungen lag der Fettgehalt im *MPS* bei 0,5 % (schnelle Linie) bzw. 0,8 % (langsame Linie). Ein Grund für Unterschiede im Fettgehalt ist neben einer Differenz in der Fütterung und der Haltung der Tiere auch das allometrische Wachstum des Masttieres. Während der Entwicklung des Tieres wird das Fett erst spät in den Muskel eingelagert. Schnell wachsende Linien, welche früh geschlachtet werden, haben hierbei einen geringeren Fettgehalt als langsam wachsende Mastlinien. Durch Bewegung, wie dies bei einer Auslaufhaltung der Fall ist, wird die Einlagerung von Fett ebenfalls verzögert. Die Differenz zwischen den 28 d und den 41 d alten Broilern in der vorliegenden Arbeit zeigt, dass die Einlagerung des Fettes bei den konventionellen Mastlinien bereits sehr früh erfolgt, jedoch insgesamt gering ist. Geschlechtsspezifische Differenzen zeigten sich in den eigenen Untersuchungen erst nach 41 d Mast. Hier haben die Ross 708 Hähne den niedrigeren Proteingehalt, aber auch das höhere Gewicht. Eine getrennte Mast und Schlachtung der Hähne und Hennen dieser Linien ist hier aus ökonomischer Sicht sinnvoll. Die Zerlegung der Schlachtkörper erfolgt bei den Broiler automatisch. Gewichtsunterschieden zwischen Schlachtkörpern haben zur Folge, dass es beim Entbeinen zu einer Beschädigung des Knochens kommen kann, oder, dass das Fleisch nicht vollständig abgelöst wird. In beiden Fällen ist eine optimale Nutzung der Schlachtkörper nicht möglich.

## Diskussion

Für die hier vorliegende Arbeit wurden Mastputen schnell wachsender Linien verwendet. Im Vergleich mit den Leistungsdaten, die von AVIAGEN (2008) für die Linien Big 6 und Big 9 veröffentlicht wurden, sind die in dieser Arbeit ermittelten Schlachtkörpermerkmale niedriger. Der Anteil des Brustmuskels am Schlachtkörpergewicht ist jedoch höher. Der Vergleich der für die Mastlinien Big 700 und Hybrid XL ermittelten Daten mit denen des jeweiligen Zuchtunternehmens (AVIAGEN, 2008; HENDRIX GENETICS, 2009) zeigt Übereinstimmungen. Bei dem Abgleich der gemessenen Schlachtkörpermerkmale mit der Literatur sind die Unterschiede zwischen den Studien zu beachten. Innerhalb eines Rahmens sind die eigenen Daten mit Ergebnissen anderer Studien vergleichbar (Lehmann et al., 1997; Branscheid et al., 2004; Lemme et al., 2006; Werner et al., 2008, 2009). Die Betrachtung der verwendeten Mastlinien zeigt signifikante Unterschiede zwischen der Mastlinie der Firma HENDRIX GENETICS (Hybrid XL) und den Linien der Firma AVIAGEN (Big 6, Big 9, Big 700). Die Hybrid XL haben die höheren Anteile an Brust und Schenkel, jedoch zeigen die Big 6 und die Big 9 eine stärkere Zunahme des Brustmuskengewichts über die Zeit. Für die Hybrid XL lohnt eine Steigerung der Mastdauer von 106 d auf 143 d aufgrund der allgemeinen Gewichtszunahme. Bei den anderen Linien steht eher die Erhöhung des Brustmuskelanteils im Vordergrund. Unterschiede zeigen sich auch zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen, wobei die Hennen den signifikant höheren *MPS*-Anteil haben. Aufgrund der Differenz von 2,86 kg im Schlachtkörpergewicht der Hähne und Hennen ist es sinnvoll, die Tiere sowohl getrennt zu Mästen und zu Schlachten. Eine Mischung der Teilstücke (Brust, Schenkel) der Hähne und Hennen ist aufgrund der großen Unterschiede im Gewicht unvorteilhaft. Der große Brustmuskel der Hähne ist hierbei besser für einen Vertrieb in Form von „Schnitzeln“ geeignet, während der kleinere Brustmuskel der Hennen eher komplett an den Verbraucher abgegeben wird. Auch im Fettgehalt unterscheiden sich die Geschlechter. Nach 112 d Mast wurde im *MPS* der Hennen ein Gehalt von 1,10 % Fett und im *MPS* der Hähne von 0,57 % Fett ermittelt. Im Vergleich hierzu konnten Werner et al. (2008) im *MPS* von 154 d alten Hähnen einen Fettgehalt von 1,05 % messen. Ein Fettanteil von 0,72 % im Brustmuskel von 16 Wochen alten Hennen und von 1,06 % bei 14 d älteren Tieren ermittelten Ristic et al. (2008) in ihrer Untersuchung. Im Brustmuskel von 154 d alten Hähnen haben sie einen Fettgehalt von 2,12 % gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass Hennen schneller Fett ansetzten als Hähne und somit nicht für die Langmast geeignet sind.

## Diskussion

### 5.2. Fleischqualitätsmerkmale

Der Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit Daten anderer Untersuchungen, die sich mit der Fleischbeschaffenheit von Broilern (Van Laack et al., 2000; Berri et al., 2001; Qiao et al., 2002; Woelfel et al., 2002; Debut et al., 2003; Bianchi et al., 2006; Nissen and Young, 2006; Fanatico et al., 2007; Jiang et al., 2007; Berri et al., 2007; Werner et al., 2009) und Puten (Ristic and Korthas, 1987; Lehmann et al., 1997; Owens et al., 2000; Fernandez et al., 2001; Hahn et al., 2001; Le Bihan-Duval et al., 2003; Updike et al., 2005; Fraqueza et al., 2006; Lemme et al., 2006; Werner et al., 2008; Laudadio et al., 2009) befasst haben, ist nur bedingt zulässig. Unterschiede in der Versuchsdurchführung z.B. in der Probenahme aber auch die verwendeten Messgeräte, können einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Differenzen im Probenmaterial, wie der Linie und dem Alter der Masttiere aber auch der verwendete Muskel, können die Ergebnisse beeinflussen (Bianchi and Fletcher, 2002). Innerhalb eines gewissen Rahmens sind die Ergebnisse aus den zuvor genannten Studien mit denen der hier vorliegenden Arbeit vergleichbar.

Hinsichtlich der Fleischbeschaffenheit der untersuchten Probanden zeigten sich mehr Unterschiede zwischen den jeweiligen Altersstufen einer Spezies als zwischen den Linien bzw. den Geschlechtern gleichen Alters. Die Betrachtung der multivariaten Analyse zeigt, dass eine Trennung der unterschiedlichen aber gleichaltrigen Linien einer Spezies nicht möglich ist. Jedoch können die untersuchten Parameter der Fleischbeschaffenheit verwendet werden um die Ross 308 von den Big 6 sowie die verschiedenen Altersstufen der beiden Spezies voneinander zu trennen. Für die multivariate Analyse wurden der  $\text{pH}_{20\text{min}}$  - und der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert, der  $\text{LF}_{24\text{h}}$  -Wert, der TSV und der GV sowie der  $L^*_{24\text{h}}$  - und der  $a^*_{24\text{h}}$  -Wert verwendet. Die deutlichste Trennung konnte bei dem Vergleich der Ross 308 mit den Big 6 gezeigt werden. Hierbei haben der GV und der  $\text{LF}_{24\text{h}}$  -Wert, welche bei den Ross 308 niedriger sind, sowie der TSV, der bei den Ross 308 höher ist, den stärksten Einfluss. Der  $L^*_{24\text{h}}$  -Wert ist für die 2. Hauptkomponente entscheidend. Die Verteilung der Probanden zeigt, dass in diesem Wert eine große Streuung vorhanden ist, die ermittelten Werte jedoch gleichmäßig um den Mittelwert verteilt sind. Dies ist auch im Histogramm zu sehen, welches für den  $L^*_{24\text{h}}$  -Wert erstellt wurde, und das eine Normalverteilung der Werte sowie den niedrigeren  $L^*_{24\text{h}}$  -Wert bei den Big 6 zeigt. Bei den Broilerlinien haben der Tropfsaftverlust und der  $a^*_{24\text{h}}$  -Wert sowie der  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert den stärksten Einfluss und ermöglichen die Trennung der beiden Altersstufen.

## Diskussion

Der  $L^*_{24h}$ -Wert zeigt eine starke Streuung, die durch die Verteilung der gleichaltrigen Probanden entlang der Nulllinie der 2. Hauptkomponente sichtbar wird. Bei den 112 d und den 147 d alten Puten ist der  $L^*_{24h}$ -Wert für die Trennung der Altersstufen nutzbar. Die Trennung der 106 d von den 112 d bzw. der 143 d von den 147 d alten Puten zeigt, dass die Differenz zwischen den Hybrid XL und den B.U.T. Linien (Big 6, Big 9, Big 700) größer ist, als zwischen den Linien von B.U.T..

Betrachtet man die beiden Geflügelarten, ist ein wichtiger Unterschied das höhere Brustmuskelgewicht der Puten und der damit verbundene größere Durchmesser der Muskelfasern (Remignon et al., 1996; Hoving-Bolink et al., 2000; Opalka et al., 2004; Berri et al., 2007). Der Brustmuskel von Geflügel besteht fast vollständig aus den schnellen glykolytischen Fasern, wodurch ein Einfluss durch eine ungleichmäßige Verteilung der Fasertypen, und damit auch der Faserdurchmesser, nur gering ist (Berri et al., 2007). Beim Schwein konnte gezeigt werden, dass der Durchmesser der Muskelfasern einen Einfluss auf verschiedene Fleischqualitätsparameter hat. So ist ein großer Muskelfaserdurchmesser mit einem niedrigeren pH-Wert zum Messzeitpunkt 45 min p.m., einem höheren TSV und einem höheren  $L^*$ -Wert korreliert. In diesem Zusammenhang zeigten Rehfeldt et al. (2004), dass bei einem höheren Anteil an schnellen glykolytischen Fasern der pH-Wert nach der Schlachtung, aufgrund der schneller ablaufenden anaeroben Glykolyse, auch schneller sinkt. Der pH-Wert wird wegen seiner hohen Korrelation mit anderen Parametern der Fleischbeschaffenheit, wie der elektrischen Leitfähigkeit, dem Tropfsaftverlust und der Farbhelligkeit, als eines der wichtigsten Merkmale für die Bestimmung der Fleischqualität betrachtet (Hahn et al., 2001; Fraqueza et al., 2006; Berri et al., 2007). Beeinflusst wird der pH-Wert hauptsächlich durch Stoffwechselprozesse, die unmittelbar vor, während und nach der Schlachtung im Organismus ablaufen, wobei die Anreicherung von Laktat im Wesentlichen postmortal erfolgt. Differenzen im spätpostmortalen pH-Wert können durch Unterschiede des Organismus hinsichtlich seiner Glykogenreserven und des prämortalen Stresses hervorgerufen werden (Berri et al., 2007). Von verschiedenen Autoren (Barbut, 1996; Sosnicki et al., 1998; Rathgeber et al., 1999; Strasburg and Chiang, 2009) wird das Auftreten einer abweichenden Fleischbeschaffenheit, wie einem reduzierten Wasserbindevermögen oder einer hellere Fleischfarbe, mit einer erhöhten postmortalen Glykolyse und somit einem postmortal schneller abfallenden pH-Wert in Verbindung gebracht. Verschiedene Autoren (Ristic and Korthas 1987;

## Diskussion

Owens et al., 2000; Van Laack et al., 2000; Berri et al., 2001, 2005, 2007; Fernandez et al., 2001; Hahn et al., 2001; Updike et al., 2005; Bianchi et al., 2006; Fraqueza et al., 2006; Mehaffey et al., 2006) haben gezeigt, dass bei dem Vergleich von Broiler und Puten die letztgenannten den niedrigeren spätpostmortalen pH-Wert haben, wie dies auch in der vorliegenden Arbeit der Fall ist. Es wird vermutet, dass der niedrigere pH-Wert auf ein höheres glykolytisches Potential und somit eine gesteigerte Laktatbildung in der Muskulatur der Puten zurückgeführt werden kann. Untersuchungen an Broiler und Puten hinsichtlich der Konzentration von Glykogen und Laktat im Muskel scheinen diese Vermutung zu bestätigen (Santé and Fernandez, 2000; Van Laack et al., 2000; Berri et al., 2001, 2007; Fernandez et al., 2001; Savenije et al., 2002; El Rammouz et al., 2004).

Weniger Einfluss als auf die elektrische Leitfähigkeit und den TSV hat der pH-Wert auf die Farbhelligkeit des Fleisches, obwohl er mit dem L\*- und dem a\*- Wert negativ korreliert ist (Fraqueza et al., 2006; Berri et al., 2007). Der L\*- und der a\*- Wert werden vor allem durch die Konzentration an Häm-haltigen Proteinen, wie dem Myoglobin und auch dem Hämoglobin, bestimmt. Für die Farbgebung im Fleisch sind die Anteile an den verschiedenen Myoglobinvarianten ausschlaggebend (Mancini and Hunt, 2005). Die unterschiedlichen Rotfärbungen der Varianten werden hierbei durch die Reaktion des Eisens mit Sauerstoff bzw. durch die Oxidation des Eisens hervorgerufen. Bei Broiler und Puten konnten Boulianne and King (1998) und Fraqueza et al. (2006) eine positive Korrelation zwischen dem Gehalt an Myoglobin und den Farbhelligkeitswerten L\* und a\* zeigen. Verschiedene Autoren, die in ihren Untersuchungen die Konzentration von Myoglobin oder Häm bestimmt haben (Pikul et al., 1982; Fleming et al., 1991; Boulianne and King, 1998; Mercier et al., 1998; Kranen et al., 1999; Lombardi-Boccia et al., 2002), konnten zeigen, dass die Konzentration dieser Substanzen in Putenfleisch höher ist im Vergleich zu Broilerfleisch. Unterschiede zwischen dem Brustmuskel und dem Schenkel lassen sich durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Muskulatur hinsichtlich der Muskelfasern erklären. Während die Brustmuskulatur zu fast 100 % aus glykolytischen Muskelfasern besteht (Berri et al., 2007), enthält der Schenkel mehr oxidative. Die Energiegewinnung in diesen Muskelfasern erfordert eine höhere Konzentration an Mitochondrien, und um die Versorgung mit Sauerstoff zu gewährleisten, mehr Myoglobin. Optisch ist der höhere Myoglobingehalt an der dunklen Farbe des Schenkels, wie z.B. dem *M. iliotibialis lateralis* (MIL), sichtbar.

## Diskussion

Veröffentlichungen, in denen verschiedene Altersstufen einer Geflügelspezies miteinander verglichen wurden, sind selten. In einer Studie von Mehaffey et al. (2006), in der die Fleischbeschaffenheit von Broiler nach 42 und nach 49 Tagen Mast untersucht wurde, konnten tendenzielle Unterschiede gezeigt werden. Hierbei hatten die älteren Masthybriden den niedrigeren TSV und den höheren GV sowie die höheren Scherkraftwerte. Dies entspricht den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Die Farbhelligkeitswerte sind hier zwischen den Altersstufen verschieden, wobei die älteren Masttiere das hellere Brustmuskelfleisch haben, während Mehaffey et al. (2006) keine Unterschiede ermitteln konnten. Santiago et al. (2005), die in ihrer Studie 42 und 53 d alte Masthybriden untersuchten, haben für die älteren Tiere ebenfalls den niedrigeren TSV und den höheren GV ermittelt, sowie vergleichbare Farbhelligkeitswerte. Im Unterschied zu der vorliegenden Arbeit, in der die 41 d alten Broiler die signifikant höheren  $\text{pH}_{20\text{min}}$ -Wert haben, sind die pH-Werte in der Studie von Santiago et al. (2005) zwischen den Altersstufen vergleichbar. Im Gegensatz zu den eben angesprochenen Veröffentlichungen sowie der hier vorliegenden Arbeit konnten Sandercock et al. (2001) in ihrer Studie keinen altersabhängigen Unterschiede im Wasserbindevermögen oder in der Farbhelligkeit finden. Bei ihrem Vergleich von 35 bis 69 d alten Masthybriden zeigte sich jedoch ein signifikant niedrigerer  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert bei den älteren Broilern. Berri et al. (2007) konnten zeigen, dass ein höherer Muskelfaserdurchmesser mit einem niedrigeren TSV verbunden ist. Dies stimmt mit der vorliegenden Arbeit überein, da hier die älteren Masttiere einen signifikant höheren Faserdurchmesser haben als die jüngeren Broiler. Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen einem höheren Faserdurchmesser und einem höheren  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert gezeigt werden, wie dies in einer Studie von Berri et al. (2001) der Fall war. Die mögliche Beeinflussung des Muskelfaserdurchmessers durch den pH-Wert kann nur gezeigt werden, wenn der Zeitpunkt der Probennahme und der Messzeitpunkt des pH-Wertes übereinstimmen. In dieser Studie wurden die Proben für die histologische Untersuchung 90 min p.m genommen, ein Vergleich mit dem  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert ist dadurch wenig sinnvoll. Zwischen dem frühpostmortalem pH-Wert ( $\text{pH}_{20\text{min}}$ -Wert) und dem Muskelfaserdurchmesser besteht hingegen eine signifikante Korrelation ( $r = 0,33^{***}$ ). Berri et al. (2001) zeigten in ihrer Untersuchung, dass Broiler mit unterschiedlichem Brustmuskeltgewicht, wobei der Muskelfaserdurchmesser bei den schwereren Tieren größer war, vergleichbare Tropfsaftverluste haben. Der  $L^*$ -Wert und der pH-Wert waren hier bei den schwereren Tieren höher.

## Diskussion

Ein wichtiges Ergebnis aus der eigenen Untersuchung ist der Nachweis des geringeren TSV bei den älteren Broilern im Vergleich zu den jüngeren Masttieren. In mehreren Studien (El Rammouz et al., 2004; Fraqueza et al., 2006; Berri et al., 2007) sowie in der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass der  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert mit dem TSV negativ korreliert ist. In der eigenen Arbeit konnte im Vergleich der beiden Altersstufen ein signifikanter Unterschied im TSV, nicht aber im  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert gezeigt werden. Man kann daher davon ausgehen, dass der TSV auch durch andere Faktoren, wie der chemischen Zusammensetzung (Proteingehalt, Salzgehalt in den Zellen) oder dem Faserdurchmesser beeinflusst wird. Myofibrilläre Proteine, wie das Kollagen, binden die meiste der im Gewebe vorhandenen Flüssigkeit. Während der Fleischbildung wird diese aus der Muskulatur freigesetzt. Dies geschieht durch die Schrumpfung der Myofibrillen und die Proteolyse der Costamere, welche das Sarkomer mit dem Zytoskelett verbinden (Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). Ein höherer Anteil an Protein, wie er bei älteren Broilern nachgewiesen wurde (Berri et al., 2001), kann hierbei das bessere Wasserbindungsvermögen bei den älteren Masttieren erklären. In eigenen Untersuchungen konnte ein tendenzieller Unterschied im Proteingehalt des *MPS* nachgewiesen werden, wobei die 41 d alten Masttiere einen Proteingehalt von 25 % haben. Die ermittelte Konzentration an Protein ist höher im Vergleich mit der Studie von Berri et al. (2001). In ihrer Studie hatten die Broiler, welche auf ein höheres *MPS*-Gewicht selektiert wurden, einen höheren Proteingehalt als eine unselektierte Linie. Der Proteingehalt lag hier nach 6 Wochen Mast bei 23 %. Eine Beeinflussung des TSV durch die Muskelfaserdicke konnten Berri et al. (2007) ebenfalls zeigen, wobei in ihrer Arbeit der TSV mit zunehmender Größe der Muskelfasern sinkt. Der höhere Grillverlust, der bei den älteren Masttieren ermittelt wurde, ist durch den niedrigeren TSV derselben Mastgruppe bedingt. Bei der Ermittlung des GV wird durch die Wärme des Grills eine strukturelle Veränderung des Gewebes bewirkt, während der Tropfsaft ohne Einwirkung einer äußeren Kraft, außer der Schwerkraft, aus dem Gewebe verdrängt wird (Offer and Cousins, 1992; Honikel, 1998; Fiedler et al., 1999). Der höhere Gehalt an Protein im *MPS* älterer Masttiere kann mehr Wasser binden, setzt aber gleichzeitig unter Einwirkung von Hitze durch die Denaturierung des Proteins mehr Wasser frei. Die Unterschiede in der Scherkraft wurden von Nakanura et al. (2004) und Purslow (2005) auf den höheren Anteil von Bindegewebe im *MPS* der älteren Masttiere zurückgeführt, wodurch dieses „zäher“ ist als das Fleisch jüngerer Broiler.

## Diskussion

Die niedrigeren  $a^*$ -Werte, die bei den älteren Broilern nachgewiesen werden konnten, spiegeln eine Änderung in der Häm-Konzentration im Muskel wieder. Boulainne and King (1995) und Clark et al. (1997) konnten in ihren Untersuchungen im *MPS* älterer Broiler, und Berri et al. (2001) im *MPS* schwerer Broiler, welche alle einen niedrigeren  $a^*$ -Werte aufwiesen, auch weniger Myoglobin bzw. einen geringeren Eisengehalt nachweisen. Der  $a^*$ -Wert den Berri et al. (2001) bei ihren 6 Wochen alten Tieren gemessen haben, ist niedriger als bei den 28 d bzw. 41 d alten Broilern der vorliegenden Studie. Dies zeigt, dass der Rotwert im Laufe des Mastalters sinkt, wodurch die Muskulatur heller wird und somit nach der Schlachtung auch das Fleisch heller ist. Der Vergleich der ermittelten Konzentration an Myoglobin zeigt die signifikant höheren Werte im *MPS* der 41 d alten Masttiere. Die niedrigeren  $a^*$ -Werte in Verbindung mit dem höheren Myoglobingehalt sind widersprüchlich. Aufgrund der farbgebenden Eigenschaften sollte eine Zunahme der Myoglobinkonzentration mit einer Reduktion der Helligkeit und einer Erhöhung des Rotwertes verbunden sein.

Die Messung des Myoglobingehaltes erfolgte 20 min und 48 h p.m., wobei in den spätpostmortal genommenen Proben die höhere Konzentration gemessen wurde. Der Vergleich der Farbhelligkeit zeigt ebenfalls einen Anstieg der  $L^*$ -Werte sowie ein Absinken der  $a^*$ -Werte. Das Fleisch wird im Verlauf der Reifung heller. Der höhere Myoglobingehalt in einigen der 48 h p.m. genommenen Proben widerspricht dem. Eine mögliche Erklärung für die Ergebnisse ist die Messung des Myoglobingehaltes. In der hier vorliegenden Arbeit wurde ein Photometer (525 nm) verwendet, um die Absorption des zentrifugierten Homogenates zu messen. Die Aufbereitung der Probe sowie die Messung selbst kann hier eine Fehlerquelle beinhalten. Eine Wiederholung der Messungen, unter Umständen auch eine Probennahmen zu anderen Zeitpunkten zur Darstellung des Konzentrationsverlaufes, wäre sinnvoll gewesen. Physiologisch betrachtet ist ein Anstieg der Myoglobinkonzentration möglich, solange der Organismus lebt. Im Laufe der Fleischreifung kann jedoch kein neues Myoglobin gebildet werden, da NADH fehlt. Zudem ist anzunehmen, dass das Myoglobin durch proteolytische Prozesse abgebaut wird. Bestätigt wird dies dadurch, dass der besagte Anstieg des Myoglobingehaltes nur vereinzelt dargestellt werden konnte. In den meisten Proben ist jedoch eine Reduktion des Myoglobingehaltes feststellbar. Der Anteil an Metmyoglobin nimmt durch oxidative Prozesse im Laufe der Fleischreifung zu, wodurch das Fleisch eine dunkelrote bis bräunliche Färbung annimmt (Fox, 1966; Faustman and Cassens, 1990; Mancini and Hunt, 2005).

## Diskussion

Bei den Puten wurde die dargestellte Senkung des pH-Wertes sowie der Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit im Rahmen der Fleischreifung von verschiedenen Autoren (Santé and Fernandez, 2000; Duclos et al., 2007; Le Bihan-Duval et al., 2003; Fraqueza et al., 2006; Werner et al., 2008) beschrieben. Hierbei spielen die Anreicherung von Laktat sowie proteolytische Prozesse, in deren Folge Elektrolyte freigesetzt werden, eine Rolle. Der Vergleich der unterschiedlichen Putenlinien bzw. Geschlechter zeigt zwischen allen Altersgruppen im spätpostmortalen pH-Wert nur geringe Variationen, während der frühpostmortale pH-Wert zwischen den einzelnen Gruppen stark variiert. Hierbei haben die 112 d alten Puten mit einem pH-Wert von 5,96 das niedrigste Ergebnis. Der für die älteren Masthähne ermittelte pH-Wert von 6,32 ist signifikant höher zum Ergebnis der 112 d alten Tiere, jedoch niedriger im Vergleich zu den 106 d und 143 d alten Puten. Hierbei ist der Unterschied zu den 106 d alten Tieren signifikant. Eine mögliche Erklärung für den niedrigen pH-Wert der 112 d alten Masttiere ist eine erhöhte Glykolyse und daraus bedingt eine schnelle Senkung des pH-Wertes unmittelbar nach der Schlachtung. Der Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Studien zeigt eher eine Übereinstimmung mit den pH-Werten über 6,20 (Santé and Fernandez, 2000, pH<sub>20min</sub> -Wert 6,64; Le Bihan-Duval et al., 2003, pH<sub>20min</sub> -Wert 6,25; Fraqueza et al., 2006, pH<sub>15min</sub> -Wert 6,47; Werner et al., 2008, pH<sub>20min</sub> -Wert 6,38). Da die Ergebnisse keine Unterscheidung zwischen den Tieren eines Alters erlauben, kann hier ein äußerer Einfluss, der sich auf alle Tiere gleichermaßen ausgewirkt, in Betracht gezogen werden. Owens and Sams (2000) zeigten in ihrer Studie, dass der Transport den pH-Wert beeinflussen kann. Hierbei können die veränderte Umwelt, Geräusche sowie ein Mangel an Futter und Wasser als Ursache für Stress und daraus bedingt für eine Änderung des pH-Wertes in Betracht gezogen werden. Unterschiede im pH-Wert sind, wie bereits gesagt, auf die Anreicherung von Laktat zurückzuführen, die von den Glykogenreserven ebenso wie vom Stoffwechsel abhängt (Fernandez et al., 2001). Die Differenzen im pH<sub>24h</sub> -Wert zwischen dem *MPS* und dem *MG* sind ebenfalls auf unterschiedliche Glykogenreserven in diesen beiden Muskeln zurückzuführen (Fernandez et al., 2001). In der vorliegenden Studie, ebenso wie in den Arbeiten von Fernandez et al. (2001) und Le Bihan-Duval et al. (2003), wurden 24 h p.m. im *MPS* im Vergleich zum *MG* die signifikant niedrigeren pH-Werte ermittelt. Die biochemischen Unterschiede zwischen den beiden Muskeln lassen sich durch ihre Zusammensetzung hinsichtlich der Muskelfasern erklären. Während der *MPS* fast ausschließlich aus den schnellen

## Diskussion

glykolytischen Fasern (FTG) besteht, sind im *MG* vorwiegend oxidative Muskelfasern vorhanden (Remignon et al., 1995; Opalka et al., 2004; Branciari et al., 2009). Die geringere Anreicherung von Laktat im *MG* lässt hierbei den pH-Wert nur gering sinken, wodurch auch andere Parameter der Fleischbeschaffenheit, wie die LF und die Farbhelligkeit, beeinflusst werden. Eine Bestätigung dieser Annahme ist durch den Vergleich von *MPS* und *MG* bzw. *MIL* darstellbar. Hierbei konnten im *MG* im Vergleich zum *MPS* die niedrigeren LF-Werte ermittelt werden. Die elektrische Leitfähigkeit ist in hohem Maße von der Freisetzung von Elektrolyten in den Interzellularraum abhängig (Hahn et al., 2001; Werner et al., 2008). Hierbei bestimmt die Integrität der Zellmembran in welchem Umfang Elektrolyte und Wasser aus der Zelle freigesetzt werden können. Ein niedriger pH-Wert beeinflusst die Membranproteine, wodurch mehr Flüssigkeit aus der Zelle austritt, was wiederum die Unterschiede in den LF-Werten des *MPS* und des *MG* erklärt. Der TSV ist ein Maß für die Freisetzung von Flüssigkeit aus dem Gewebe. Der Vergleich der untersuchten Linien zeigt den höchsten TSV bei den Hybrid XL, wobei der Wert zwischen den 106 d und den 143 d alten Puten vergleichbar ist. Bei der Trennung der 106 d von den 112 d alten Masthybriden ist der TSV ein wichtiges Kriterium. Die Beeinflussung des Wasserbindevermögens durch den pH-Wert wird bei PSE und PSE-like sichtbar, wo der schnell sinkende pH-Wert mit dem hohen TSV in Verbindung gebracht wird (Warriss and Brown, 1987; Kauffman et al., 1994; Solomon et al., 1998; Hahn, 2001; Bianchi et al., 2005; Swatland, 2008). In der vorliegenden Studie zeigt der Vergleich der pH-Werte keine klare Tendenz zum TSV. Hier haben frühpostmortal die 112 d alten Puten den niedrigsten pH-Wert (pH<sub>20min</sub> -Wert 5,96) jedoch auch den niedrigsten TSV (0,59 %), während die 106 d und die 143 d alten Puten mit einem pH<sub>20min</sub> -Wert von 6,52 bzw. 6,46 einen TSV von 0,82 bzw. 0,85 % aufweisen. Die 147 d alten Puten haben mit einem pH<sub>20min</sub> -Wert von 6,32 ebenfalls einen niedrigeren Wert und mit 0,69 %, auch einen vergleichsweise niedrigen TSV. Um eine klarere Tendenz zu erkennen, wäre es nötig, die Messungen mit mehr Probanden zu wiederholen. Die Betrachtung des spätpostmortalen pH-Wertes zeigt, dass die geringste Senkung im pH-Wert über 24 h p.m. mit dem niedrigsten TSV verbunden ist, während sich ein höherer Abfall der pH-Werte in einem höheren TSV äußert. Dies ist durch die Änderungen in der Membranintegrität erklärbar. Die Integrität der Membranproteine und somit auch die Stabilität der Membran wird durch den stärker sinkenden pH-Wert gestört, wodurch mehr Flüssigkeit aus der Zelle freigesetzt wird.

## Diskussion

### 5.3. Myoglobingehalt und die Entwicklung der Farbhelligkeit

Im Hinblick auf die Farbhelligkeit kann man sagen, dass es zwischen den Spezies sowie den untersuchten Altersstufen mehr Unterschiede gibt als zwischen den Linien bzw. Geschlechtern gleichen Alters. Ebenso gibt es signifikante Unterschiede zwischen der Muskulatur und dem Messort (Oberfläche oder Anschnitt). Der Brustmuskel von Broiler und Puten besteht zu fast 100 % aus glykolytischen Muskelfasern (Wiskus et al., 1976; Berri et al., 2007; Branciari et al., 2009), während in den Muskeln der Schenkel mehr oxidative Muskelfasern vorhanden sind (Remignon et al., 1995; Opalka et al., 2004; Branciari et al., 2009). Die Unterschiede in der Farbhelligkeit sind hierbei auf den Gehalt an Mitochondrien und somit auf das Myoglobin zurückzuführen. Das Myoglobin ist für die Ausprägung der Fleischfarbe am wichtigsten, farbgebend sind jedoch auch das Hämoglobin und das Cytochrom C. Myoglobin ist ein wasserlösliches Protein mit 8 helikalen Bereichen. Der hydrophobe Kern, welcher aus unpolaren Aminosäuren besteht, schützt die Häm-Gruppe und stabilisiert das Protein. Für die Funktion und Stabilität sind die zwei polaren Histidin wichtig, von denen eines mit dem Eisen-Ion im Häm-Ring verbunden ist. Über vier weitere Bindungen ist das Eisen-Ion mit den Pyrrol Stickstoffatomen verbunden. Die 6. Bindungsstelle ist frei (Faustman and Cassens, 1990; Mancini and Hunt, 2005). An ihr kann, unabhängig vom Sauerstoffpartialdruck der Umgebung, ein Sauerstoffmolekül binden, wobei Oxymyoglobin entsteht. Im Gegensatz zum Deoxymyoglobin, dessen 6. Bindungsstelle frei ist und das eine eher blassrote bis leicht violette Färbung hat, ist Oxymyoglobin hellrot bis kirschrot. Die Wertigkeit des Eisen-Ions wird durch die Bindung des Sauerstoffs nicht geändert. Änderungen in der Farbe kommen hauptsächlich durch die Oxidation des Eisen-Ions zustande. Das dabei gebildete  $Fe^{3+}$  ist von einer bräunlich-roten Farbe und kann keinen Sauerstoff mehr binden. Im lebenden Organismus wird das oxidierte Eisen-Ion durch die Metmyoglobin-Reduktase unter NADH Verbrauch reduziert. Im Vergleich zu Deoxymyoglobin ist das Oxymyoglobin stabiler, wodurch das Eisen-Ion nicht so leicht oxidiert werden kann (Faustman and Cassens, 1990). Die Menge an Myoglobin, die im Muskel vorkommt, ist abhängig von der vorherrschenden Art der Energiegewinnung. Die mitochondrienreichen oxidativen Muskelfasern sind im Vergleich zum *MPS* dunkler und zugleich von einer stärkeren Rotfärbung. Dies äußert sich in den Untersuchungen in einem niedrigeren  $L^*$ - sowie einem höheren  $a^*$ -Wert. Neben der Konzentration an Myoglobin ist das Verhältnis der einzelnen

## Diskussion

Myoglobinvarianten zueinander für die Farbhelligkeit der Muskulatur und des Fleisches verantwortlich. Änderung in der Farbe über die Zeit (Alterung des lebenden Organismus oder Fleischreifung) entstehen durch Veränderungen im Verhältnis der Myoglobinvarianten zueinander (Boulianne and King, 1998; Mancini and Hunt, 2005; Fraqueza et al., 2006; Haraf et al., 2009). Im Laufe der Fleischreifung sind oxidative Prozesse im Gewebe der Hauptgrund für diese Änderungen. Diese Prozesse werden im lebenden Organismus unter Energieverbrauch rückgängig gemacht. Nach der Schlachtung des Masttieres kann aufgrund des fehlenden Sauerstoffes nur noch für kurze Zeit ATP bzw. NADH gebildet werden. Nach dem endgültigen Verbrauch der Energiereserven können antioxidative Prozesse nicht weiter ablaufen. Dies führt zu einer Akkumulation von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und freien Elektronen wodurch unter anderem der Anteil an Metmyoglobin im Fleisch ansteigt (Boulianne and King, 1998; Pong et al., 2000; Bekhit and Faustman, 2005; Ryu et al. 2005; Castellini et al., 2006). Die unterschiedliche Farbe der Myoglobinvarianten wird bei der Verpackung von Frischfleisch in SB-Schalen genutzt. Im Gegensatz zum dunkelroten bis bräunlichem Metmyoglobin hat Oxy-myoglobin die vom Verbraucher bevorzugte hellrote Farbe. Der Schutzatmosphäre, die in die SB-Schalen gefüllt wird, wird daher Sauerstoff zugesetzt. Dieser kann wenige Zentimeter tief in das Fleisch eindringen und an das Myoglobin binden. Dadurch erhält das Fleisch eine frische rote Farbe (Siegel, 2010). Zusätzlich wirkt der Sauerstoff aufgrund seiner Bindung im Häm stabilisierend, wodurch einer Oxidation des Eisen-Ions entgegengewirkt wird (Faustman and Cassens, 1990).

Die Entwicklung der Farbhelligkeit nach der Schlachtung ist bereits Gegenstand vieler Untersuchungen gewesen (Le Bihan-Duval et al., 1999; Owens et al., 2000; Berri et al., 2001; Fernandez et al., 2001; Qiao et al., 2001; Petracci and Fletcher, 2002; El Rammouz et al., 2004a; Molette et al., 2005; Werner et al., 2009). Die in der hier vorliegenden Arbeit ermittelten Daten weisen Übereinstimmungen mit den genannten Studien auf. Der Messbeginn lag in vielen Studien jedoch bei 24 h p.m., so dass frühpostmortale Änderungen nicht dargestellt wurden. Wie in dieser Studie gezeigt, können bereits in den ersten 3 h p.m. Unterschiede in der Entwicklung der Farbhelligkeit beobachtet werden ( $L^*$ -Wert). Die Aufhellung des Fleisches über die Zeit wurde bei beiden Spezies von verschiedenen Autoren beschrieben (Le Bihan-Duval et al., 1999; Owens et al., 2000; Berri et al., 2001; Fernandez et al., 2001; Qiao et al., 2001; Petracci and Fletcher, 2002; El Rammouz et al. 2004; Molette et

## Diskussion

al., 2005). Unterschiede zwischen den Spezies hinsichtlich des  $a^*$ -Wertes können mit den Differenzen im  $L^*$ -Wert in Zusammenhang gebracht werden, da  $L^*$ - und  $a^*$ -Wert bei beiden Spezies negativ miteinander korreliert sind (Qiao et al., 2002; Fraqueza et al., 2006). Ein Absinken der  $a^*$ -Werte wurde von Petracci and Fletcher (2002) und Werner et al. (2009) dokumentiert. Berri et al. (2001) stellten jedoch einen Anstieg dieser Werte über die Zeit fest. Diese Differenz in den Ergebnissen kann mit auf das verwendete Messgerät zurückgeführt werden. Während Petracci and Fletcher (2002) und Werner et al. (2009) ein Minolta Chromameter verwendet haben, wobei diese Art Messgerät auch in dieser Studie genutzt wurde, haben Berri et al. (2001) ein Spektrocolorimeter genutzt. Jedoch unterschieden sich die Studien auch hinsichtlich des Alters der Probanden. Die Entwicklung von  $L^*$ - und  $a^*$ -Wert über die Zeit ist zwischen den untersuchten Altersstufen einer Spezies ebenso wie zwischen den Spezies vergleichbar. Der Abstand zwischen den Ross 708 und den Big 6 hinsichtlich des  $L^*$ -Wertes der *MPS*-Oberfläche bleibt über die Messdauer fast konstant. Dies zeigt, dass die Vorgänge die zur Aufhellung des *MPS* führen, vergleichbar sind. Unterschiede zeigen sich im  $a^*$ -Wert. Hier ist bei den Ross 308 in den ersten 3 h p.m. ein Absinken der Werte erkennbar, während die Werte bei den Big 6 in diesem Zeitraum ansteigen. Die Differenz im pH-Wert wäre eine mögliche Erklärung. Bei den Big 6 im Vergleich zu den Ross 308 ist er 20 min p.m. höher und sinkt tiefer ab. Die schnellere Änderung im pH-Wert kann sich auf die Bildung von Metmyoglobin auswirken, wodurch der  $a^*$ -Wert ansteigt. Die anschließenden proteolytischen Prozesse bewirken im weiteren Verlauf ein Absinken. Umgekehrt kann das Absinken des  $a^*$ -Wertes bei den Ross 308 durch einen schnellen Verbrauch des noch vorhandenen Sauerstoffes erklärt werden. Dadurch wird zuerst Deoxymyoglobin gebildet, welches heller ist im Vergleich zum Oxymyoglobin. Im Laufe der Fleischreifung erfolgt die Bildung von Metmyoglobin, wodurch der  $a^*$ -Wert leicht steigt. Petracci and Fletcher (2002) konnten in ihrer Untersuchung ein Abfallen der  $b^*$ -Werte (Gelbfarbton) kurz nach der Schlachtung darstellen. In späteren Studien sowie in der hier vorliegenden Untersuchung wurde hingegen ein Anstieg der Werte beobachtet, welcher mit dem Verlauf des  $L^*$ -Wertes vergleichbar ist. Der Vergleich der ermittelten Ergebnisse zeigt bei den Puten eine ähnliche Entwicklung der Farbhelligkeit über die Zeit im Vergleich der einzelnen Linien bzw. Geschlechter und Altersstufen. Die Helligkeit steigt hierbei über die Zeit kontinuierlich an. Der Vergleich zeigt zwischen den Linien nur geringe Unterschiede in der Farbhelligkeit.

## Diskussion

Im Vergleich der beiden Altersstufen haben die jüngeren Masthybriden die niedrigeren L\*-Werte sowie die höheren a\*-Werte, also in der Gesamtheit das dunklere Fleisch. Im zweiten Versuchsdurchgang der Puten wurde die Linie Hybrid XL verwendet. Der Vergleich der Altersstufen zeigt hier, dass die jüngeren Hybrid XL im Vergleich zu den nur wenig älteren B.U.T. Linien (Big 6, Big 9) das hellere Fleisch haben. Ursache hierfür ist das sehr helle Fleisch der Hybrid XL. Das Gewicht des Brustmuskels ist bei den Hybrid XL im Vergleich zu den anderen Linien signifikant höher. Eine Steigerung des Brustmuskeltgewichts ist auf eine Hypertrophie des Muskels zurückzuführen, wobei die Anzahl an Mitochondrien und somit der Gehalt an Myoglobin nicht steigt. Der Gehalt an Myoglobin, der in den Muskelproben der untersuchten Linien gemessen wurde zeigt, dass die Hybrid XL den geringsten Wert haben. Es kann daher sein, dass in der Gesamtheit weniger Myoglobin im Muskel der Hybrid XL ist und er daher heller ist. Der Vergleich der ermittelten Konzentrationen an Myoglobin weist in den 20 min p.m. genommenen Proben die niedrigeren Werte bei den Hybrid XL auf. Die 48 h p.m. ermittelten Werte sind mit denen der B.U.T. Linien vergleichbar. Eine geringere Konzentration an Myoglobin senkt jedoch nicht nur die Helligkeit des Fleisches, sondern deutet möglicherweise auch auf eine Unterversorgung des Muskels mit Blut und somit Sauerstoff hin.

## Diskussion

### 5.4. Mitochondriale Atmungskapazität, antioxidative Enzyme und Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen

Die Bestimmung der mitochondrialen Atmungskapazität ist eine Methode den Sauerstoffverbrauch des Gewebes zu untersuchen. Die Probengewinnung ist dabei als Biopsie oder Autopsie möglich. Der Vergleich dieser Art von Proben kann genutzt werden um Änderungen, die während der Fleischbildung auftreten, darzustellen (Ashmore et al., 1972; Campion et al., 1975; Lanari and Cassens, 1991; Tang et al., 2002; Opalka et al., 2004; Tang et al., 2005; Ramanathan et al., 2009; Bottje and Carstens, 2009). Untersuchungen zur mitochondrialen Atmungskapazität, auch hinsichtlich des Muskel-zu-Fleisch-Überganges, wurden an Proben von verschiedenen landwirtschaftlichen Nutztieren, wie dem Schwein (Campion et al., 1975; Wicke et al., 2000; Werner et al., 2010), dem Rind (Ashmore et al., 1972; Bendall, 1973; Lanari and Cassens, 1991; Tang et al., 2005; Ramanathan et al., 2009) oder dem Geflügel (Tang et al., 2002; Opalka et al., 2004; Bottje and Carstens, 2009; Werner et al., 2011) durchgeführt. Für die Analyse von isolierten Mitochondrien werden relativ große Mengen an Gewebe benötigt, so dass diese Art der Untersuchung weniger für Biopsien geeignet ist. Die Messung der Atmungskapazität von „nicht isolierten“ Mitochondrien ist dagegen auch mit kleinen Mengen an Probenmaterial möglich. Permeabilisierte Muskelfasern können „in situ“ aus wenig Probenmaterial gewonnen werden. Die Untersuchung ist ohne das vorherige Isolieren der Mitochondrien und somit unter Vermeidung möglicher Isolierungsbedingter Artefakte möglich (Kuznetsov et al., 2003). Aufgrund des teilweise sehr geringen Probenmaterials wurden in der hier vorliegenden Arbeit die Mitochondrien nicht isoliert, sondern die mitochondriale Atmungsrate der permeabilisierten Muskelfasern bestimmt. Ein Einfluss auf die Atmungsrate ist vor allem durch den Anteil an oxidativen zu glykolytischen Muskelfasern und der damit verbundenen Anzahl an Mitochondrien zu erwarten. Opalka et al. (2004) zeigten bei 10 und 20 Wochen alten Puten einen signifikanten Unterschied in der Atmungsrate. Hierbei hatten die älteren Puten die niedrigeren Werte, was mit dem höheren Gewicht der Tiere in Verbindung gebracht wurde. Die Betrachtung der in dieser Studie ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den leichteren Ross 308 und den schwereren Big 6 zeigt Übereinstimmungen mit der zuvor genannten Studie. Bottje et al. (2002) und Tang et al. (2002) untersuchten unterschiedlich schwere Broiler, konnten jedoch keinen Unterschied in der Atmungsrate feststellen.

## Diskussion

Untersuchungen am Schwein (Wicke et al., 2000), am Rind (Lanari and Cassens, 1991) oder an Ratten (Komrakova et al., 2009) konnten, wie in der eigenen Studie auch, keinen signifikanten Einfluss des Alters zeigen. Bei Puten konnten Opalka et al. (2004) ein Zusammenhang zwischen einem höheren Gewicht und einer reduzierten mitochondrialen Atmung zeigen. In der Tendenz ist das Verhältnis in der vorliegenden Studie umgekehrt, da die leichteren 28 d alten Broiler die höhere mitochondriale Atmungsaktivität haben. Die nur tendenziellen Unterschiede und der ermittelte hohe Standardfehler der vorliegenden Ergebnisse lassen jedoch keine eindeutigen Rückschlüsse zu. Darstellungen der mitochondrialen Atmungskapazität in Abhängigkeit von Alter der Puten sind in der Literatur wenig zu finden. In der hier vorliegenden Studie zeigte der Vergleich der 112 d mit den 147 d alten Puten die signifikant höhere State-4-Atmung in den Proben der jüngeren Tiere. Tendenziell ist dies auch bei der Succinat/Rotenon State-3-Atmung der Fall. Dies passt zu den Ergebnissen von Opalka et al. (2004). Die State-4-Atmung, die in den Proben der 106 d und der 143 d alten Hybrid XL gemessen wurde, ist ebenfalls bei den jüngeren Puten tendenziell höher. Die Pyruvat/Malat State-3-Atmung und die Succinat/Rotenon State-3-Atmung sind aber in den Proben der älteren Hybrid XL höher. Hierbei ist der Unterschied bei der Succinat/Rotenon State-3-Atmung signifikant. Der Vergleich der 106 d mit den 112 d sowie der 143 d mit den 147 d alten Puten zeigt die niedrigere Atmungsaktivität bei den jeweils jüngeren Hybrid XL. Ein Einfluss des Gewichts wurde in der Studie von Opalka et al. (2004) indirekt über das Alter der Probanden gezeigt, wobei die leichteren Puten die höhere mitochondriale Atmungskapazität hatten. In der vorliegenden Arbeit haben die Hybrid XL beider Mastalter das jeweils höhere Schlachtkörper- und Brustmuskeltgewicht. Hier ist also ein höheres Gewicht mit einer niedrigeren Aktivität der Mitochondrien verbunden. Eine Erklärung wäre eine stärkere Hypertrophie des *MPS* bei den Hybrid XL. Dies kann eine Reduzierung der Mitochondrien in einer definierten Menge des Muskels bewirken, wodurch die Atmungskapazität sinkt. Aufgrund der z.T. geringen Probenmenge, die für die Messungen zur Verfügung standen, sowie der besseren Handhabung der Proben, wurde die Atmungskapazität, wie bereits erwähnt, an permeabilisierten Muskelfasern durchgeführt. Eine Untersuchung der Atmung von isolierten Mitochondrien kann zu einem genaueren Ergebnis führen. Aufgrund der oft nur tendenziellen Unterschiede sowie der hohen Standardfehler ist eine Wiederholung der Messungen, gegebenenfalls auch mit mehr Probanden, ratsam.

## Diskussion

Eine Bestätigung der Ergebnisse würde jedoch zeigen, dass im stärker hypertrophierten *MPS* der Hybrid XL im Vergleich zu leichteren Mastputen die mitochondriale Atmung geringer ist. Dies würde bedeuten, dass die Versorgung des Muskels mit ATP ebenfalls geringer ist. Neben einer geringen Anzahl an Mitochondrien in den Muskelfasern kann auch eine Unterversorgung des Muskels mit Blut zu einer Reduktion der mitochondrialen Atmung führen. Die Versorgung mit Sauerstoff wäre dann in diesen Muskelfasern geringer. Durch die mangelnde Durchblutung können jedoch auch Stoffwechselprodukte schlechter zu den Mitochondrien hin, sowie von ihnen weg, transportiert werden.

Die mitochondriale Atmung ist, als energieliefernder Prozess, eng mit dem Stoffwechsel verbunden. Eine Steigerung des Stoffwechsels wie dies z.B. während des Transportes aufgrund des damit verbundenen Stressses erfolgt, erhöht den Energieverbrauch. Neben dem schnellen Sinken des pH-Wertes aufgrund der verstärkten Bildung von Laktat bewirkt eine Beschleunigung des Stoffwechsels auch eine Steigerung der mitochondrialen Atmung. Dies kann sich auf die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) auswirken, da in einem bestimmten Zeitraum mehr Sauerstoff mit freien Elektronen reagieren kann. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit das ROS entstehen. Die antioxidativen Enzyme brauchen ATP oder NADPH um nach einer Reaktion mit den ROS wieder in ihre funktionstüchtige Form umgewandelt zu werden. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass bei den Ross 308 in den Proben die 20 min p.m. genommen wurden, ein höherer Gehalt an antioxidativen Enzymen vorliegt als in den 48 h p.m. genommenen Proben. Bei den Big 6 ist dies nur bei der Glutathion-Reduktase der Fall. Bei der Superoxid-Dismutase und der Glutathion-Peroxidase ist der 20 min p.m. Wert dagegen niedriger als der 48 h p.m. Wert. Bei beiden Spezies konnte in der 20 min p.m. genommenen Probe der niedrigere Gehalt an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) gemessen werden, daneben gibt es auch Unterschiede zwischen den Spezies. Als Maß für die im Gewebe stattfindende Oxidation sind die TBARS ein wichtiger Indikator für die Bildung von ROS. Ein Einfluss auf die Konzentration dieser Substanzen kann aber auch das intramuskuläre Fett haben. In eigenen Untersuchungen wurden 0,95 % Fett in Proben des *MPS* der Ross 308 und 1,70 % Fett in *MPS*-Proben der Big 6 gemessen. Untersuchungen zeigten, dass Fleisch, welches in SB-Verpackungen mit einem hohen Anteil an Sauerstoff in der Schutzatmosphäre gelagert wurde, höhere Konzentrationen an TBARS aufwies.

## Diskussion

In Studien zur Auswirkung von Stress auf die Fleischqualität wurden die Einflüsse von veränderten Transportentfernungen und Schlachtungsbedingungen (Owens and Sams, 2000), der Temperaturen während der Mast und des Transportes (McKee and Sams, 1997; Bianchi et al., 2007) oder von Futterzusätzen und Haltungsbedingungen (Lehmann et al., 1997; Renerre et al., 1999; Young et al., 2003; Berri et al., 2008) untersucht. Die Aktivität der antioxidativen Enzyme oder der oxidative Status von Fleisch wurde nur in einigen Untersuchungen dargestellt (Allen, 1997; Maraschiello et al., 1999; McKibben and Engeseth, 2002; Mujahid et al., 2005; Sarraga et al., 2006). Ojano-Dirain et al. (2005) zeigten bei Broilern, dass das Alter und somit das Gewicht keinen Einfluss auf den Gehalt an GP und GR haben. Ein Einfluss des Gewichts konnte in der vorliegenden Studie nicht gezeigt werden, jedoch hatten die Big 6 in der 48 h p.m. genommenen Probe die höheren Messwerte. Die Reduktion des Gehaltes an antioxidativen Enzymen im Laufe der Fleischreife lässt sich auf proteolytische Prozesse zurückführen. Bei der Konzentration an TBARS konnte Castellini et al. (2006) höhere Werte in Proben von älteren und somit schwereren Broilern nachweisen. In der vorliegenden Studie wurden bei den schwereren Big 6 signifikant höhere Konzentrationen an TBARS ermittelt als dies bei den Ross 308 der Fall war. Im Gegensatz zu Ryu et al. (2005) konnte hier bei den Ross 308 auch ein Anstieg der TBARS über die Zeit beobachtet werden, was auf ein Fortschreiten der Lipidoxidation infolge oxidativer Prozesse schließen lässt. Bei Broilern wurde in verschiedenen Studien (Ohkawa et al., 1979; Maraschiello et al., 1999; Ryu et al., 2005; Zhang et al. 2010) der Einfluss der Haltung und der Gesundheit sowie der Einfluss von Stress auf die Aktivität der antioxidativen Enzyme und somit auf den oxidativen Status des Fleisches untersucht. Untersuchungen in denen direkt das Alter und das Geschlecht der Broiler als Gruppierungsmerkmal herangezogen wurden sind selten. Ojano-Dirain et al. (2005) verglichen das Alter indirekt, indem sie Masttiere mit unterschiedlichem Gewicht untersuchten. In ihrer Studie, in der die Aktivität der GR und der GP im Darm der Tiere dargestellt wurde, konnten sie keine Unterschiede zwischen Tieren mit verschiedenem Gewicht zeigen. Dieses Ergebnis stimmt mit den eigenen Resultaten überein. Die Reduzierung der Aktivität der meisten der antioxidativen Enzyme über 48 h Lagerungsdauer kann auf eine fehlenden Resynthese der Enzyme aufgrund des Fehlens von ATP oder NADPH in Verbindung gebracht werden (Werner et al., 2010). Im Gegensatz zu dem Ergebnis, das für die Broiler ermittelt wurde und eine Reduktion der Aktivität nach der

## Diskussion

Schlachtung zeigt, fanden Sarraga et al. (2006) bei der Untersuchung von Puten einen Anstieg der Aktivität der SOD und der GP über die Zeit. Diese Steigerung konnte für die Puten auch in der hier vorliegenden Arbeit gezeigt werden. Bei allen untersuchten Altersstufen war eine Erhöhung der Aktivität der SOD und der GP in den 48 h p.m. genommenen Proben, ausgehend von den 20 min p.m. Wert, messbar. Dieser Anstieg ist jedoch nur schwer erklärbar. Nach der Schlachtung sollte es aufgrund der bereits erwähnten fehlenden Resynthese der Enzyme sowie der einsetzenden Proteolyse zu einer Reduktion der Aktivität kommen. Die Erhöhung der Aktivität kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen ist es möglich, dass aufgrund eines Messfehlers die 20 min p.m. ermittelten Werte zu niedrig sind. Da jedoch die Differenz zwischen den beiden Probennahmen bei allen untersuchten Puten (insgesamt N = 295) auftritt, ist dies eher unwahrscheinlich. Auch eine zufällige Entnahme von Probenmaterial, das besonders wenige Enzyme enthielt, kann aus eben genannten Grund ausgeschlossen werden. Es ist wahrscheinlicher, dass es sich um einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Broiler und Puten handelt. Die SOD, eines der wichtigsten antioxidativen Enzyme, liegt in einer signifikant höheren Konzentration vor, als die GR und die GP. In den Zellen kommt die SOD hauptsächlich in den Lysosomen und die GP in den Peroxisomen vor. Hier wäre eine Freisetzung aus diesen Zellorganellen möglich, welche durch die Senkung des pH-Wertes nach der Schlachtung ausgelöst wird. Dies ist auch bei den Broilern möglich, aber unter Umständen sind die Konzentrationen geringer. Eine Möglichkeit wäre jedoch auch, dass die Nachweismethoden für die antioxidativen Enzyme nicht sensibel genug sind, um die gesamte Konzentration in den Zellen nachzuweisen. Weitere Untersuchungen sind nötig um die Ergebnisse zu verifizieren. Hierbei wäre es auch vorteilhaft Proben zu verwenden, die 12 h oder 24 h p.m. genommen werden. Dies kann den Verlauf, in der die Konzentration an antioxidativen Enzymen steigt oder sinkt, näher charakterisieren. Die altersabhängigen Unterschiede und somit der Einfluss des Gewichtes auf die Aktivität einiger der antioxidativen Enzyme (z.B. SOD<sub>20min</sub>) ist ebenfalls schwer zu erklären. Hier kann die Konzentration an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen eine Rolle spielen, die als Indikator für das Vorhandensein von ROS genutzt werden. Eine zunehmende Konzentration an TBARS kann die antioxidativen Enzyme aktivieren. Die in dieser Arbeit ermittelten Konzentrationen an TBARS stimmen mit den Ergebnissen anderen Studien (Ryu et al., 2005; Jang et al., 2008; Lin et al., 2009) überein. Der in dieser Studie dargestellte

## Diskussion

altersbedingte Unterschied in der Konzentration dieser Substanzen wurde von Castellini et al. (2006) durch die Untersuchung unterschiedlich schwerer Masttiere nachgewiesen. Eine Ermittlung der Korrelation zwischen der Konzentration an TBARS und der Aktivität der antioxidativen Enzyme zeigt jedoch nur wenige Signifikanzen. Dies lässt darauf schließen, dass eine Erhöhung der Konzentration an TBARS im Gewebe nicht unbedingt zu einer Aktivierung des antioxidativen Systems führt. Der Gehalt an TBARS ist für verschiedene Autoren (Ji and Leichtweis, 1997; Du et al., 2002; Ryu et al., 2005; Zhang et al., 2005; Castellini et al., 2006) ein Kriterium für oxidativen Stress. Die Konzentration dieser Substanzen zeigt, in welchem Umfang die Oxidation von Lipiden stattgefunden hat. Diese Oxidation findet verstärkt statt, wenn ROS und / oder wenige antioxidative Enzyme gebildet werden, wobei dann von oxidativem Stress gesprochen wird. Die Menge an oxidationsfähigen Substanzen und hier besonders wichtig die Menge an intramuskulärem Fett, ist ebenfalls zu beachten. Bei der Bestimmung der Konzentration an TBARS konnte Castellini et al. (2006), wie bereits erwähnt, höhere Werte in Proben von älteren und somit schwereren Broilern nachweisen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen zwischen den 28 d und den 41 d alten Broilern einen signifikanten Unterschied. Der höhere Fettgehalt in den Proben der 41 d alten Masttiere wird durch die Cobb 700 hervorgerufen. Diese Linie hat im Vergleich zu den andern Mastlinien auch die signifikant höhere Konzentration an TBARS. Ein Zusammenhang zwischen Gewicht, Fettgehalt und der Konzentration an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen zeigt sich auch im Vergleich der Spezies. Hier haben die schwereren Big 6, welche auch den höheren Fettgehalt aufwiesen, die höhere Konzentration an TBARS. Bei den Puten kann ein signifikanter Unterschied im Fettgehalt zwischen den Big 6 Hähnen und Hennen gezeigt werden. Jedoch besteht kein Unterschied in der Konzentration der TBARS. Im Unterschied zu den Broilern besteht hier auch kein Unterschied zwischen den Altersstufen, obwohl der Fettgehalt signifikant verschieden ist. Die Ergebnisse der Puten zeigen eine große Streuung der Werte. Hier ist es möglich, dass die Methode zur Messung der TBARS bei den Puten nicht so sensitiv ist wie bei den Broilern. Die Reduktion des Gehaltes an antioxidativen Enzymen im Laufe der Fleischreife lässt sich auf proteolytische Prozesse zurückführen. Gleichzeitig sollte die Lipidoxidation aufgrund von oxidativen Prozessen über die Zeit steigen. Dieser Anstieg kann gezeigt werden, ist jedoch vermutlich wegen dem kurzen Messzeitraum nicht signifikant.

## Diskussion

Der Vergleich der Ergebnisse, die nach der Einteilung in pH-Gruppen ermittelt wurden, zeigt einen stärkeren Einfluss des frühpostmortalen pH-Wertes im Vergleich zum spätpostmortalen pH-Wert auf die mitochondriale Atmung und die antioxidativen Enzyme. Hierbei ist der pH-Wert negativ mit der mitochondrialen Atmung bzw. den antioxidativen Enzymen korreliert. Aufgrund des komplexen biochemischen Systems einer Zelle bzw. Muskelfaser kann eine Steigerung der mitochondrialen Atmung, durch die vermehrte Bildung von ATP, auch Einfluss auf den pH-Wert haben. Ohne ATP wird das in der Glykolyse gebildete Pyruvat in Laktat umgewandelt, welches den pH-Wert sinken lässt. Ist ATP vorhanden, wird das Pyruvat in den Zitratzyklus eingeschleust. Dadurch wird kein Laktat gebildet und der pH-Wert weniger stark gesenkt. Wie bereits gesagt, ist die mitochondriale Atmung als energieliefernder Prozess eng mit dem Stoffwechsel verbunden. Eine Steigerung des Stoffwechsels erhöht den Energieverbrauch und beeinflusst so nach der Schlachtung über die Bildung von Laktat den pH-Wert. Die Enzyme der Atmungskette sind, wie auch die antioxidativen Enzyme, auf ein sehr eng umgrenztes pH-Wert Optimum ausgerichtet. Änderungen im pH-Wert des sie umgebenden Milieus können aufgrund von Konformationsänderungen großen Einfluss auf ihre Aktivität nehmen. Aufgrund der Aktivität der mitochondrialen und der antioxidativen Enzyme kann jedoch im Umkehrschluss auch der pH-Wert beeinflusst werden. Die Atmungskette in den Mitochondrien ist der Hauptbildungsort für ROS (Figueiredo, Mota, Appell, & Duarte, 2008). Ein Absinken des pH-Wertes reduziert die oxidative Phosphorylierung was eine vermehrte Bildung von ROS und somit eine Aktivierung der antioxidativen Enzyme zur Folge hat (Werner et al., 2010).

## Diskussion

### **5.5. Einfluss der Farbhelligkeit auf die Fleischqualität von Broiler und Puten**

Die Variation in der Helligkeit sowie in der Rotfärbung von Fleisch wurde bereits von verschiedenen Autoren (Barbut, 1998, 2008; Fletcher, 1999; Wilkins et al., 2000; Petracci and Fletcher, 2002; Petracci et al., 2004) beschrieben. Auch der Zusammenhang zwischen der Farbhelligkeit des Fleisches und anderen Parametern der Fleischbeschaffenheit waren Gegenstand einiger Studien (Boulianne and King, 1998; Van Laack et al., 2000; Qiao et al., 2001; Petracci et al., 2004; Duclos et al., 2007; Barbut et al., 2008). Von einigen Autoren (Barbut, 1993, 1996, 1998; Owens et al., 2000, 2009; Wilkins et al., 2000; Woelfel et al., 2002) wurde daher vorgeschlagen, dass die Helligkeit ( $L^*$ -Wert) des Fleisches als Indikator für die Qualität und als Indiz für PSE-ähnliches Fleisch verwendet werden soll. Um den Zusammenhang zwischen der Helligkeit des *MPS* mit der Beschaffenheit des Fleisches darzustellen, wurde der  $L_{24h}$ -Wert für die Einteilung in Gruppen verwendet. Zu diesem Zeitpunkt ist die Fleischreifung abgeschlossen und es können Unterschiede in der Beschaffenheit dargestellt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass bei der Betrachtung der beiden Spezies die Ergebnisse zwischen den drei Helligkeitsgruppen keine signifikanten Unterschiede im *MPS*-Gewicht sowie im errechneten Anteil des *MPS* am Schlachtkörpergewicht zeigen. Unterschiede konnten zwischen den Randgruppen nur tendenziell gezeigt werden. Hier haben die Big 6 mit dem „hellen“ *MPS* das höhere Gewicht. Der Anteil des *MPS* am Schlachtkörpergewicht ist bei beiden Spezies ebenfalls in der „hellen“ Gruppe höher, ebenso das *MPS*-Gewicht. Zusammenhänge zwischen einem höheren Muskelansatz und einer Änderung in der Helligkeit des Fleisches konnten bei Schweinen gezeigt werden. Im Rückschluss vermuteten einige Autoren (Berri et al., 2001; von Lengerken et al., 2002) eine Reduktion der Qualität zu Gunsten der Quantität. Die vorliegenden Ergebnisse für die Broiler stehen zu dieser Annahme im Widerspruch, da die *MPS* mit „normaler“ Farbhelligkeit das höhere Gewicht haben. Der Vergleich der Randgruppen bestätigt die Ergebnisse der zuvor genannten Studien jedoch, da hier Unterschiede in den Gewichten, wobei die extrem hellen *MPS* die höheren Werte haben, bestehen. Die Differenzen zwischen den Gruppen sind jedoch gering, so dass es für eine genauere Aussage nötig ist die Ergebnisse zu verifizieren. Die Wiederholung der dargestellten Ergebnisse kann zeigen, dass ein hoher bzw. niedriger  $L^*$ -Wert nicht mit dem Gewicht des *MPS* in Verbindung steht, sondern das Variationen in der Farbhelligkeit

## Diskussion

stärker durch andere Faktoren beeinflusst werden. Ebenso ist es möglich, dass die Unterschiede innerhalb einer Spezies bzw. Alterstufe zu gering sind um sich auf die Helligkeit des Fleisches auszuwirken. Um den Einfluss der Linie bzw. des Geschlechts darzustellen, ist die Untersuchung von mehr als 25 Probanden pro Gruppe nötig, da sonst die Randgruppen für eine konkrete Aussage zu klein sind. Im Zusammenhang mit dem Vorkommen von PSE bei Schweinen und dem PSE-like bei Geflügel wurde gezeigt, dass der pH-Wert in diesem Fleisch schneller sinkt (Solomon et al., 1998; Van Laack et al., 2000; Ding et al., 2004; Barbut et al., 2005). Der schnelle Abfall des pH-Werts nach der Schlachtung wird bei Schweinen auf eine Mutation im Ryanodinrezeptor zurückgeführt, wodurch die Kalziumregulation beeinflusst wird (Fujii et al., 1991). Dies bewirkt eine Steigerung der Muskelkontraktion (Melzer and Dietze, 2001), was nach der Schlachtung - als Stressor- zu einer schnellen Anreicherung von Laktat und so zu einer schnellen Senkung des pH-Werts führt. Dieser niedrige pH-Wert, in Kombination mit der erhöhten Temperatur des Schlachtkörpers infolge des erhöhten Stoffwechsels, führt zu einer Denaturierung von Proteinen und so zu blassen, weichen und wässrigen PSE-Fleisch (Van Laack et al., 2000; Barbut et al., 2005). Untersuchungen des Ryanodin-Rezeptors haben gezeigt, dass in der Muskulatur von Schweinen nur eine Isoform vorliegt, während es beim Geflügel zwei sind (Percival et al., 1994). Hinsichtlich der Empfindlichkeit auf Halothan konnten Owens et al. (2000) bei Puten ähnliche Symptome beobachten wie sie auch bei beim Schwein vorkommen und die in direktem Zusammenhang mit der Mutation im Ryanodin-Rezeptor stehen. Messungen des pH-Wertes im *MPS* der untersuchten Puten weisen jedoch keine eindeutigen Ergebnisse auf. Owens et al. (2000) konnten in ihrer Untersuchung nachweisen, dass Puten, welche auf Halothan positiv reagierten, also einen Anstieg der Körpertemperatur sowie eine Versteifung der Muskulatur aufwiesen, einen signifikant niedrigeren pH-Wert sowie helleres Brustmuskelfleisch haben. In der Untersuchung von Cavitt et al. (2004) zeigten sich dagegen keine signifikanten Unterschiede zwischen Halothan positiven und negativen Broilern hinsichtlich der Fleischqualität. Bei verschiedenen Putenlinien konnten unterschiedliche Eigenschaften des Ryanodin-Rezeptors hinsichtlich seiner Bindungseigenschaften ermittelt werden (Wang et al., 1999). Es ist daher möglich, dass sich Mutationen verschieden stark ausprägen und es so zu Differenzen im Erscheinungsbild kommt.

## Diskussion

In der vorliegenden Arbeit konnte anhand der Einteilung in die Farbhelligkeitsgruppen signifikante Unterschiede im pH-Wert dargestellt werden. Hierbei wurde bei den Ross 308 und den Big 6 sowie bei den unterschiedlich alten Broilern im *MPS* derjenigen Probanden mit „hellem“ Fleisch die niedrigsten und bei Probanden mit „dunklem“ Fleisch der höchste  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert gemessen. Der Vergleich der unterschiedlichen Putenlinien wies keine signifikanten Unterschiede im  $\text{pH}_{24\text{h}}$ -Wert auf. In der Tendenz ist jedoch auch die bei den Big 6 ermittelte Differenz zwischen den Helligkeitsgruppen sichtbar. Unterschiede im pH-Wert in Abhängigkeit von der Helligkeit der Probe zeigten auch Petracci et al. (2004). Sie verwendeten für ihre Untersuchung 56 d alte Cobb 500 sowie deren  $L^*_{24\text{h}}$ -Wert, der, ausgehend vom Mittelwert +/- einer Standardabweichung, in drei Gruppen unterteilt wurde. Der so definierte Bereich mit „normaler“ Helligkeit lag bei 50 bis 56 und ist mit dem als „normal“ definierten Bereich der 41 d alten Broiler der eigenen Arbeit vergleichbar. Der pH-Wert, den Petracci et al. (2004) ermittelt haben, lag bei 5,77 („hell“), 5,89 („normal“) und 6,04 („dunkel“), während die Ergebnisse der 41 d alten Broiler alle etwas höher sind (5,81 („hell“), 5,93 („normal“), 6,10 („dunkel“)). Die Unterschiede im pH-Wert zwischen der vorliegenden Arbeit und der Studie von Petracci et al. (2004) können, wie auch die Differenzen im  $a^*$ -Wert, auf das Versuchsdesign -Linie, Alter, Messapparatur- zurückgeführt werden. Der  $a^*$ -Wert ist, im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen, bei Petracci et al. (2004) zwischen den Helligkeitsgruppen verschieden. Bei den 28 d und den 41 d alten Broilern bestehen in der LF und im TSV Unterschiede zwischen den beiden Randgruppen. Hier haben die Probanden mit „hellem“ *MPS* die höchsten Werte. Ein Einfluss der Fleischhelligkeit auf diese Parameter besteht durch die Differenzen im pH-Wert (Barbut, 1996; Sosnicki et al., 1998; Strasburg and Chiang, 2009). Eine Senkung des pH-Wertes beeinflusst die Struktur von Proteinen, wodurch das Freisetzen von Flüssigkeit und Elektrolyten bewirkt wird. Die Freisetzung als TSV sollte sich jedoch auf den GV auswirken, da nur eine bestimmte Menge Wasser im Gewebe vorhanden ist. Demzufolge wäre eine Steigerung des TSV mit einer Reduzierung des GV verbunden. Der Vergleich der Fleischbeschaffenheit der untersuchten Probanden zeigt dieses Ergebnis auch. Die Einteilung in die Helligkeitsgruppen jedoch nicht. Die Betrachtung der Ergebnisse weist eine höhere Streuung der Werte in den Randgruppen auf. Bei einer niedrigen Probenzahl können Ausreißer die Ergebnisse negativ beeinflussen. Bei den Puten ist dies deutlicher zu erkennen, da die Anzahl der Probanden geringer war.

## Diskussion

Ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert -somit indirekt mit der Helligkeit des Fleisches- zeigte sich in geringem Ausmaß auch zum oxidativen Stoffwechsel. Der Vergleich der Randgruppen weist Unterschiede zwischen den Spezies und den Altersstufen einer Spezies auf. Die Pyruvat/Malat State-3- Atmung ist bei den Ross 308, den Big 6 sowie beiden Altersstufen der Puten bei den Probanden mit „hellem“ *MPS*, also mit niedrigerem  $pH_{24h}$  -Wert, höher. Bei den 28 d und den 41 d alten Broilern ist dieser Wert niedriger. In der Gruppe mit dem niedrigsten pH-Wert ist die Rotenon/Succinat State-3-Atmung sowie die State-4-Atmung bei den jüngeren Masttieren beider Spezies höher. Dies betrifft auch die älteren Tiere. Der Standardfehler, der für die „helle“ und die „dunkle“ Gruppe berechnet wurde, ist jedoch sehr hoch, so dass es möglich ist, dass einige Ausreißer die dargestellte Tendenz falsch beeinflussen und das die Einteilung nach dem pH-Wert die Gruppen klarer trennt. Zusammengefasst kann man sagen, dass eine Senkung des pH-Wertes die mitochondriale Atmung beeinflusst. Hierbei gibt es Unterschiede zwischen den Spezies sowie zwischen den Altersstufen einer Spezies. Der Einfluss des pH-Wertes auf die antioxidativen Enzyme zeigt sich in den Differenzen zwischen den Randgruppen. Mit Ausnahme der  $GP_{20min}$  ist die Aktivität der Enzyme bei den Ross 308 und den Big 6 mit „hellem“ *MPS* und somit mit niedrigerem  $pH_{24h}$  -Wert, höher. Bei den 28 d und den 41 d alten Broilern ist die höhere Aktivität der antioxidativen Enzyme ebenfalls mehrheitlich mit einem niedrigeren pH-Wert in Verbindung zu bringen. Bei den Puten ist dies bei den älteren Probanden der Fall, während die jüngeren Puten die geringere Aktivität aufweisen. Eine Aktivierung der antioxidativen Enzyme erfolgt durch die Anwesenheit von reaktive Sauerstoffspezies (ROS), welche hauptsächlich in den Mitochondrien während der Atmungskette gebildet werden (Figueiredo, Mota, Appell, & Duarte, 2008). Ein Absinken des pH-Wertes reduziert die oxidative Phosphorylierung. Dies führt zu einer vermehrten Bildung von ROS, was eine Aktivierung der antioxidativen Enzyme zur Folge hat (Werner et al., 2010).

Insgesamt Betrachtet ist die Einteilung der Probanden über den  $L^*_{24h}$  -Wert des *MPS* möglich. Unterschiede zwischen den Helligkeitsgruppen, vor allem zwischen den Randgruppen, sind auf die Differenzen im  $pH_{24h}$  -Wert zurückzuführen. Dieser hat einen Einfluss auf die meisten Parameter der Fleischbeschaffenheit. Die Unterschiede zwischen den Altersgruppen einer Spezies sowie die fehlende Stringenz der Werte können auf die geringe Probandenzahl und die daraus bedingte große Streuung der Werte zurückgeführt werden.

## Diskussion

### 5.6. Einfluss des pH-Wertes auf die Fleischqualität von Broiler und Puten

Unterschiede zwischen den beiden Geflügelarten innerhalb einer pH-Gruppe sind auf strukturelle und chemische Unterschiede zwischen den beiden Spezies zurückzuführen. Der Brustmuskel von Geflügel besteht fast vollständig aus den schnellen glykolytischen Fasern, wodurch ein Einfluss durch eine ungleichmäßige Verteilung der Fasertypen, und damit auch der Faserdurchmessern, nur gering ist (Berri et al., 2007). Der pH-Wert wird als eines der wichtigsten Merkmale für die Bestimmung der Fleischqualität betrachtet (Hahn et al., 2001; Fraqueza et al., 2006; Berri et al., 2007). Er korreliert in hohem Maße mit anderen Parametern der Fleischbeschaffenheit, wie der Leitfähigkeit, dem Tropfsaft- und Grillverlust sowie der Farbhelligkeit (Fraqueza et al., 2006; Berri et al., 2007). Beeinflusst wird der pH-Wert hauptsächlich durch den Stoffwechsel. Am Ende der postmortal ablaufenden Stoffwechselprozesse steht die Anreicherung von Laktat, welche den pH-Wert sinken lässt. Unterschiede hinsichtlich der Glykogenreserven eines Schlachttieres und des Stress, den das Tier vor der Schlachtung ausgesetzt war, können sich im spätpostmortalen pH-Wert darstellen (Berri et al., 2007). Das Auftreten einer Fleischbeschaffenheit die vom Standard abweicht, wie einem verringertem Wasserbindevermögen oder eine hellere Fleischfarbe, wird von einigen Autoren (Barbut, 1996; Sosnicki et al., 1998; El Rammouz et al., 2004a; Strasburg and Chiang, 2009) mit einer erhöhten postmortalen Glykolyse und damit mit einem schneller abfallenden pH-Wert in Verbindung gebracht. Der Vergleich der beiden Spezies zeigt, dass die Big 6 im Vergleich zu den Ross 308 den niedrigeren spätpostmortalen pH-Wert ( $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert) haben. Dieses Ergebnis wurde auch von anderen Autoren (Owens et al., 2000; Berri et al., 2001; Fernandez et al., 2001; Updike et al., 2005; Bianchi et al., 2006; Fraqueza et al., 2006; Werner et al., 2009) gezeigt. Ein höheres glykolytisches Potential und daraus resultierend eine gesteigerte Laktatbildung in der Muskulatur der Big 6, wird als Ursache für den niedrigeren pH-Wert betrachtet. Untersuchungen hinsichtlich der Glykogen- und Laktatkonzentration im Muskel von Broilern und Puten scheinen diese Vermutung zu bestätigen (Santé and Fernandez, 2000; Van Laack et al., 2000; Berri et al., 2001, 2007; Fernandez et al., 2001; Savenije et al., 2002; El Rammouz et al., 2004). Der Vergleich der Ergebnisse weist nicht nur Unterschiede zwischen den Spezies auf, sondern auch Differenzen innerhalb einer Spezies bei der Betrachtung der beiden pH-Gruppen. Hierbei zeigt ein Vergleich der Ergebnisse, dass der spätpostmortale

## Diskussion

pH-Wert ( $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert) einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Parameter der Fleischbeschaffenheit hat als der frühpostmortale  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert. Frühpostmortal zeigen sich nur wenige signifikante Unterschiede zwischen den beiden pH-Gruppen die für eine Spezies berechnet wurden. Bei den Ross 308 haben diejenigen Probanden, die in der „pH-Wert niedrig“ -Gruppe zusammengefasst sind, also im Mittel den niedrigeren pH-Wert haben, das niedriger Schlachtkörper- und Brustmuskeltgewicht. Ebenfalls niedriger sind der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert und der  $\text{LF}_{20\text{min}}$  -Wert, ebenso der GV und die Scherkraft. Berri et al. (2001) berichten, dass ein höherer Durchmesser der Muskelfasern und dadurch eine Steigerung des Gewichtes mit einem erhöhten  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert verbunden ist, wie dies auch in den eigenen Untersuchungen bestätigt werden konnte. Die signifikanten Unterschiede im Brustmuskeltgewicht gehen hierbei möglicherweise auf eine schlechtere Versorgung des größeren Muskels im Vergleich zu einem kleineren Muskel einher. Aufgrund der geringeren Bildung von Laktat kann der pH-Wert nicht so weit sinken, wie dies in einem kleineren Brustmuskel der Fall ist, da hier nach der Schlachtung anaerob mehr Laktat gebildet werden kann. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass spätpostmortal ebenfalls diejenigen Probanden, die in der Gruppe mit hohem pH-Wert zusammengefasst sind, dass signifikant höhere MPS-Gewicht haben. Die Argumentation eines höheren pH-Wertes aufgrund einer geringeren Versorgung des Muskels mit Glukose steht im Gegensatz zum Vergleich Ross 308 gegen Big 6. Verschiedene Autoren (Owens et al., 2000; Berri et al., 2001; Fernandez et al., 2001; Updike et al., 2005; Bianchi et al., 2006; Fraqueza et al., 2006; Werner et al., 2009) haben gezeigt, dass aufgrund des erhöhten glykolytischen Potentials der  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert bei der Pute niedriger ist. Betrachtet man die Struktur des Brustmuskels beider Spezies, ist das höhere Brustmuskeltgewicht der Puten und der damit verbundene größere Durchmesser der Muskelfasern ein wichtiger Unterschied (Remignon et al., 1996; Hoving-Bolink et al., 2000; Opalka et al., 2004; Berri et al., 2007). Die gezeigte erhöhte Glykolyse und der damit verbundene niedrigere pH-Wert bei den, im Vergleich zu den Broilern schwereren Puten, ist hierbei nicht mit dem Gewichtsunterschied zwischen verschiedenen Broilerlinien vergleichbar. Die Verteilung der Blutgefäße im MPS der Puten ist an dessen Größe angepasst, wodurch die Versorgung des Muskels gewährleistet ist. Das Wachstum der Gefäße im Muskel kann jedoch durch die Zuchterfolge hinsichtlich der Zunahme des Brustmuskels nicht mithalten. Die Verteilungswege von Nährstoffen und auch

## Diskussion

Sauerstoff werden so länger, was die Versorgung der Brustmuskulatur beeinflusst. Aufgrund der Änderung in der Beschaffenheit der Zellwand und die daraus resultierende Freisetzung von Flüssigkeit und Elektrolyten beeinflusst der pH-Wert direkt die elektrische Leitfähigkeit und das Wasserbindevermögen. Hierbei ist eine Erhöhung der LF über die Zeit zu sehen. Dies ist vor allem auf die proteolytischen Prozesse im Gewebe zurückzuführen, in deren Verlauf die Zellwände ebenfalls für Zellflüssigkeit und Elektrolyte durchlässiger werden. Der Vergleich der beiden pH-Gruppen zeigt bei beiden Spezies eine höhere LF sowie einen höheren TSV bei den Probanden, die in der Gruppe mit niedrigem pH-Wert zusammengefasst sind. Wie bereits gesagt wird das Auftreten einer verminderten Fleischqualität von verschiedenen Autoren (Barbut, 1996; Sosnicki et al., 1998; Strasburg and Chiang, 2009) mit einer erhöhten postmortalen Glykolyse und damit mit einem niedrigeren pH-Wert in Verbindung gebracht. Die elektrische Leitfähigkeit einer Flüssigkeit ist abhängig von der Konzentration an Elektrolyten. Angepasst an die Beschaffenheit von Fleisch ermöglicht sie eine Aussage über die Integrität der Zellmembran. Hahn et al. (2001) und Werner et al. (2008) zeigten, dass die LF in hohem Maße vom pH-Wert beeinflusst wird. Ein niedrigerer pH-Wert wirkt sich auf die Konformation von Proteinen aus, wodurch es zu Änderungen in der Stabilität der Zellmembran kommen kann. Eine Erhöhung der Durchlässigkeit der Zellmembran ermöglicht wiederum das Freisetzen von Flüssigkeit und Elektrolyten aus der Zelle in den Interzellularraum. Eine Erhöhung des TSV kann daneben durch die Freisetzung von gebundenem Wasser, welches entweder im Protein selbst oder als dessen Hydrathülle vorliegt, erfolgen (Offer and Trinick, 1983; Huff-Lonergan and Lonergan, 2005).

Unterschiede in der Farbhelligkeit zwischen den pH-Gruppen zeigen den starken Einfluss des pH-Wertes auf die Helligkeit ( $L^*$ -Wert) des Fleisches (Fraqueza et al., 2006; Berri et al., 2007). Der Einfluss des pH-Wertes auf die Farbhelligkeit wurde anhand der 24 h p.m. ermittelten  $L^*a^*b^*$ -Werte dargestellt. Die Betrachtung der Mittelwerte zeigt, dass diejenigen Proben, in denen ein niedrigerer pH-Wert gemessen wurde, die höheren Farbhelligkeitswerte aufwiesen, also im Vergleich zu den Proben aus der pH2-Gruppe heller sind, aber gleichzeitig auch einen höheren Rotwert haben. Die genaue Betrachtung der Werte zeigt, dass der Unterschied in der Farbhelligkeit des Muskelanschnitts bei den Broilern nur sehr gering ist, an der Oberfläche des Muskels jedoch deutlicher. An der Oberfläche des Muskels kommt das Myoglobin mit dem Sauerstoff aus der Luft schneller in Kontakt als dies an der

## Diskussion

Anschnittfläche der Fall ist. Bei der Probennahme wurde auf eine Inkubation der Schnittfläche mit Luft geachtet, jedoch war dieser Zeitraum im Vergleich zum Zeitraum, den die Muskeloberfläche der Raumluft ausgesetzt war, geringer. Die Konzentration an Myoglobin im Gewebe und in welchem Verhältnis die einzelnen Varianten vorliegen, bestimmt den L\*- und den a\*-Wert und somit die Farbhelligkeit des Fleisches (Mancini and Hunt, 2005). Eine Probe, in der viel Oxy-myoglobin vorhanden ist, ist sowohl heller als auch roter als eine Probe mit viel Metmyoglobin. Dieses ist im Vergleich zum Oxy-myoglobin dunkelrot, so dass der L\*-Wert im Vergleich zu der Probe mit viel Oxy-myoglobin niedriger ist. Differenzen in der Farbhelligkeit sind auf den höheren Gehalt an Oxy-myoglobin in den Zellen der Muskeloberfläche zurückzuführen.

Der Zusammenhang zwischen dem Anstieg des Gehaltes an Metmyoglobin und oxidativem Stress konnten von Ryu et al. (2005) dargestellt werden, die, wie auch andere Autoren (Du et al., 2002; Zhang et al., 2005; Castellini et al., 2006), den Gehalt an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) als Marker der Lipidoxidation und somit als Marker für oxidativen Stress nutzten. Im lebenden Organismus wird dem oxidativen Stress durch die antioxidativen Enzyme entgegengewirkt, welche nach einer Reaktion mit den ROS unter Verbrauch von ATP oder NADPH reaktiviert werden (Cheeseman and Slater, 1993; De Bono, 1994; Behrend et al., 2003). Nach dem Tod des Organismus sinkt der Gehalt an ATP bzw. anderen verfügbaren Energiespeichern, wodurch eine Reaktivierung der Enzyme nicht mehr möglich ist. Das biologische Gleichgewicht wird so auf die Seite der reaktiven Sauerstoffspezies verschoben. In der hier vorliegenden Studie konnte zudem ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und den Parametern des oxidativen Stoffwechsels gezeigt werden. Hierbei sind die Ergebnisse hinsichtlich der mitochondriale Atmungskapazität jedoch nicht ganz eindeutig. Bei den Ross 308 haben diejenigen Probanden mit dem niedrigeren pH-Wert die höhere State-3-Atmung, unabhängig davon ob die Einteilung anhand des  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wertes oder des  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wert erfolgt. Bei der State-4-Atmung wurde ein gegenläufiges Ergebnis beobachtet. Nach der Einteilung anhand des  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wertes hatten die Probanden in der Gruppe mit niedrigem pH-Wert die niedrigeren Werte, nach der Einteilung mit Hilfe des  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wertes jedoch die höheren. Bei der Einteilung anhand des  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wertes konnte bei der State-3-Atmung nur ein sehr geringer Unterschied zwischen den pH-Gruppen ermittelt werden. Der hohe Standardfehler zeigt die starke Streuung

## Diskussion

der Werte für diesen Messwert. Bei den Big 6 ist die State-3- und die State-4-Atmung in den Proben derjenigen Probanden in der „pH-Wert niedrig“ -Gruppe zusammengefasst sind höher wenn die Einteilung nach dem  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert erfolgte, aber niedriger nach der Einteilung anhand des  $\text{pH}_{24\text{h}}$  -Wertes. Bei der Einteilung nach dem spätpostmortalen pH-Wert zeigen die beiden untersuchten Spezies gegenläufige Ergebnisse, wobei der Unterschied zwischen den pH-Gruppen bei den Ross 308 statistisch abgesichert ist. Die Bestimmung der mitochondriale Atmungskapazität gibt Auskunft über den Sauerstoffverbrauch des Gewebes und ist durch den Sauerstoffpartialdruck und die Aktivität der Enzyme, die an der Atmungskette beteiligt sind, beeinflussbar (Lanari and Cassens, 1991; Ozawa, 1997; Gellerich et al., 2002). Opalka et al. (2004) und Werner et al. (2010) zeigten, dass eine niedrigerer  $\text{pH}_{20\text{min}}$  -Wert sich negativ auf die Atmungskapazität auswirkt, da er die Aktivität der Atmungskette beeinflusst. In der Studie von Werner et al. (2010) wurde ein pH-Wert von 6,34 verwendet um die Grenze zwischen niedrigem und hohem Wert zu definieren. In der vorliegenden Arbeit wurde für die Trennung in die pH-Gruppen der ermittelte LSM von 6,44 verwendet, wodurch sich für die Gruppe mit niedrigem pH-Wert ein LSM von 6,30 ergibt. Der Unterschied zwischen den pH-Gruppen ist hier sehr gering und zeigt zudem einen hohen Standardfehler. Eine Einteilung anhand eines anderen pH-Wertes kann das Verhältnis der Ergebnisse zueinander umkehren. Die Enzyme der Atmungskette sind, wie auch die antioxidativen Enzyme, auf ein sehr eng gefasstes pH-Wert Optimum ausgerichtet. Änderungen im pH-Wert des umgebenden Milieus können aufgrund von Konformationsänderungen großen Einfluss auf ihre Aktivität nehmen. Aufgrund der Aktivität der mitochondrialen und der antioxidativen Enzyme kann im Umkehrschluss jedoch auch der pH-Wert beeinflusst werden. In der vorliegenden Studie konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem pH-Wert und der Aktivität der antioxidativen Enzyme dargestellt werden. Jedoch ist in der Tendenz zu erkennen, dass ein niedriger pH-Wert mit einer höheren Enzymaktivität verbunden ist. Die Atmungskette in den Mitochondrien ist der Hauptbildungsort für reaktive Sauerstoffspezies (ROS) (Figueiredo et al., 2008). Ein Absinken des pH-Wertes reduziert die oxidative Phosphorylierung, was eine vermehrte Bildung von ROS bewirkt und eine Aktivierung der antioxidativen Enzyme zur Folge hat (Werner et al., 2010).

## Zusammenfassung und Schlussfolgerung

### VI. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Farbhelligkeit ist, als sichtbares Zeichen der Qualität, der wichtigste Parameter für die Beurteilung von Frischfleisch und durch biochemisch-physiologische Prozesse beeinflussbar. Den größten Einfluss auf diese Prozesse hat der spätpostmortale pH-Wert. Die Untersuchungen zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Spezies sowie innerhalb einer Spezies. Hierbei ist der Einfluss des Mastalters größer als der Einfluss der genetischen Linie. Der Einfluss des pH<sub>24h</sub>-Wertes konnte anhand einer Gruppierung gezeigt werden. Die Auswirkungen auf die Membranstabilität, mit Beeinflussung der Wasserbindekapazität, sowie auf die Freisetzung von Reaktiven Sauerstoffspezies und dadurch bedingte Änderungen der antioxidativen Aktivität, konnte zwischen den pH-Wert-Extremen deutlich gezeigt werden. Differenzen zwischen den Geschlechtern von *Gallus gallus gallus* zeigen sich ab einem Alter von 41 d. Die Differenz in der Farbhelligkeit ist durch den Gehalt an Myoglobin im Muskel bedingt. Die Unterschiede in der mitochondrialen Atmungskapazität und der antioxidativen Kapazität beruhen aufeinander und zeigen den Zusammenhang zwischen der Atmungsrate sowie der daraus resultierenden Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und der somit beeinflussten antioxidativen Kapazität.

Ausgehend von den ermittelten Ergebnissen kann festgestellt werden, dass eine weitere Selektion von *Gallus gallus gallus* und *Meleagris gallopavo* über das Gewicht des *M. pectoralis superficialis* nicht sinnvoll ist. Die Hypertrophie der Muskelfasern - als Ursache für das zunehmende Gewicht - steht in Zusammenhang mit einer Unterversorgung der Muskel aufgrund einer unzureichenden Durchblutung. Unterschiede in der Beschaffenheit des Fleisches (Farbhelligkeit, Tropfsaftverlust) konnten auf Differenzen im pH<sub>24h</sub>-Wert zurückgeführt werden. Um den Einfluss des pH-Wertes auf die Parameter der Fleischbeschaffenheit noch genauer zu charakterisieren, ist es nötig, diejenigen Faktoren, die ihn direkt beeinflussen (Glykogen, Laktat) zu betrachten. In der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang zwischen dem Myoglobingehalt und der Farbhelligkeit gezeigt. Die Auswirkung einer pH-Wert-Änderung, auch auf die Muskelfasern, sollte anhand von weiterführenden Messungen (Western Plot, SDS-Gel) genauer betrachtet werden. Neben den betrachteten Spezies sind auch andere Geflügelarten (Ente, Gans) interessant. Die beiden eben genannten sind weniger auf die Quantität selektiert und der *M. pectoralis superficialis* hat hier eine andere Zusammensetzung hinsichtlich der Muskelfasertypen, so dass der Einfluss des pH-Wert deutlicher zum Tragen kommt.

### VII. Literaturverzeichnis

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2004). *Molekularbiologie der Zelle* (4th ed.). WILEY-VCH.
- Allen, C. D., Fletcher, D.L., Northcutt, J. K., & Russell, S. M. (1998). The Relationship of Broiler Breast Color to Meat Quality and Shelf-Life. *Poultry Science*, 77, 361-366.
- Allen, P. C. (1997). Production of free radical species during *Eimeria maxima* infections in chickens. *Poultry Science*, 76(6), 814-21.
- Alvarado, C. Z., & Sams, A. R. (2004). Turkey carcass chilling and protein denaturation in the development of pale, soft, and exudative meat. *Poultry Science*, 83(6), 1039-1046.
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399.
- Ashmore, C. R., Tompkins, G., & Doerr, L. (1972). Postnatal Development of Muscle Fiber Types in Domestic Animals. *Journal of Animal Science*, 34, 37-41.
- AVIAGEN. (2008). Big 6 commercial performance goals and Ross 308 broiler performance objectives. <http://www.aviagen.com>.
- Barbut, S. (1993). Colour measurements for evaluating the pale, soft, exudative (PSE) occurrence in turkey meat. *Food Research Internation*, 26, 39-43.
- Barbut, S. (1996). Estimates and detection of the PSE problem in young turkey breast meat. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(3), 455-457.
- Barbut, S. (1998). Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *Journal of Muscle Foods*, 9, 35-49.
- Barbut, S., Sosnicki, A., Lonergan, S., Knapp, T., Ciobanu, D., Gatcliffe, L., et al. (2008). Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science*, 79(1), 46-63.
- Barbut, S., Zhang, L., & Marcone, M. (2005). Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poultry Science*, 84(5), 797-802.
- Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide Dismutase. *Analytical Biochemistry*, 44, 276-287.
- Bechtel, P. J. (1986). Muscle as Food. *Academic Press, Inc.*
- Behrend, L., Henderson, G., & Zwacka, M. (2003). Reactive oxygen species in oncogenic transformation. *Biochemical Society*, 31(6), 1441-1444.
- Bekhit, A. E. D., & Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science*, 71(3), 407-439.

## Literatur

- Bendall, J. R. (1973). Postmortem changes in muscle. Structure and function of muscle. *Academic Press NY*, 243-309.
- Berri, C., Besnard, J., & Relandeau, C. (2008). Increasing dietary lysine increases final pH and decreases drip loss of broiler breast meat. *Poultry Science*, 87(3), 480-484.
- Berri, C., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Arnould, C., Boutten, B., Sellier, N., et al. (2005). Variation in chicken breast meat quality: implications of struggle and muscle glycogen content at death. *British Poultry Science*, 46, 572-579.
- Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Baéza, E., Gigaud, V., et al. (2007). Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of Pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens. *Journal of Animal Science*, 85(8), 2005-2011.
- Berri, C., Wacrenier, N., Millet, N., & Le Bihan-Duval, E. (2001). Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. *Poultry Science*, 80(7), 833-8.
- Bertram, H. C., Schäfer, A., Rosenvold, K., & Andersen, H. J. (2004). Physical changes of significance for early post mortem water distribution in porcine M. longissimus. *Meat Science*, 66, 915-924.
- Beutler, E. (1975). Disorder in Glutathion Metabolism. *Life Sciences*, 16(10), 1499-1506.
- Beyer, W. F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Analytical Biochemistry*, 161(2), 559-66.
- Bianchi, M., & Fletcher, D.L. (2002). Effects of broiler breast meat thickness and background on color measurements. *Poultry Science*, 81(11), 1766-1769.
- Bianchi, M., Fletcher, D.L., & Smith, D. P. (2005). Physical and functional properties of intact and ground pale broiler breast meat. *Poultry Science*, 84, 803-808.
- Bianchi, M., Petracci, M., & Cavani, C. (2006). The Influence of Genotype, Market Live Weight, Transportation, and Holding Conditions Prior to Slaughter on Broiler Breast Meat Color. *Poultry Science*, 85, 123-128.
- Bianchi, M., Petracci, M., Sirri, F., Folegatti, E., Franchini, A., & Meluzzi, A. (2007). The influence of the season and market class of broiler chickens on breast meat quality traits. *Poultry Science*, 86(5), 959-963.
- Borchers, N., Otto, G., & Kalm, E. (2007). Genetic relationship of drip loss to further meat quality traits in purebred Piétraains. *Archiv für Tierzucht*, 50, 84-91.
- Botsoglou, N. A., Fletouris, D. J., Papageorgiou, G. E., Vassilopoulos, V. N., Mantis, A. J., & Trakatellis, A. G. (1994). Rapid, Sensitive, and Specific Thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid Peroxidation in Animal Tissue, Food, and Feedstuff Samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(9), 1931-1937. doi: 10.1021/jf00045a019.

## Literatur

- Bottje, W., Tang, Z. X., Iqbal, M., Cawthon, D., Okimoto, R., Wing, T., et al. (2002). Association of mitochondrial function with feed efficiency within a single genetic line of male broilers. *Poultry Science*, *81*, 546-555.
- Bottje, W. G., Carstens D.E. (2009). Association of mitochondrial function and feed efficiency in poultry and livestock species. *Journal of Animal Science*, *78*, 48-63.
- Boulainne, M., & King, A. J. (1995). Biochemical and Color Characteristics of Skinless Boneless Pale Chicken Breast. *Poultry Science*, *74*, 1693-1697.
- Boulainne, M., & King, A. J. (1998). Meat Color and Biochemical Characteristics of Unacceptable Dark-colored Broiler Chicken Carcasses. *Journal of Food Science*, *63*(5), 1-4.
- Bowler, C., Montagu, M. V., & Inze, D. (1992). Superoxide Dismutase and Stress Tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *43*(1), 83-116.
- Bradford, M. M. (1976). Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.
- Branciarri, R., Mugnai, C., Mammoli, R., Miraglia, D., Ranucci, D., Dal Bosco, A., et al. (2009). Effect of genotype and rearing system on chicken behavior and muscle fiber characteristics. *Journal of Animal Science*, *87*(12), 4109-4117.
- Branscheid, W., Hahn, G., & Wicke, M. (2004). Qualität von Putenfleisch. *Fleischwirtschaft*, *11*, 109-112.
- Bratcher, C., Johnson, D., Littell, R., & Gwartney, B. (2005). The effects of quality grade, aging, and location within muscle on Warner Bratzler shear force in beef muscles of locomotion. *Meat Science*, *70*(2), 279-284.
- Briskey, E. J., Kastenchtmidt, L. L., Forrest, J. C., Beecher, G. R., Judge, M. D., Cassens, R. G., et al. (1966). Biochemical Aspects of Post-Mortem Changes in Porcine Muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *14*(3), 201-207.
- Briskey, E. J., & Wismer-Pedersen, J. (1961). Biochemistry of Pork Muscle Structure. 1. Rate of Anaerobic Glycolysis and Temperature Change versus the Apparent Structure of Muscle Tissue. *Journal of Food Science*, *26*(3), 297-305.
- Campion, D. R., Olson, J. C., Topel, D. G., & Christian, L. L. (1975). Mitochondrial Traits of Muscle from Stress-Susceptible Pigs. *Journal of Animal Science*, 1314-1317.
- Castellini, C. (2005). Organic poultry production system and meat characteristics. *European Symposium on the Quality of Poultry Meat*, 47-52.
- Castellini, C., Dal Bosco, A., Mugnai, C., & Pedrazzoli, M. (2006). Comparison of two chicken genotypes organically reared: oxidative stability and other qualitative traits of the meat. *Italian Journal of Animal Science*, *5*(1), 29-42.

## Literatur

- Castellini, C., Mugnai, C., & Dal Bosco, A. (2002). Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science*, 60(3), 219-225.
- Cavitt, L. C., Hargis, B. M., & Owens, C. M. (2004). The use of halothane and succinylcholine to identify broilers prone to developing pale, soft, exudative meat. *Poultry Science*, 83, 1440-1444.
- Cheeseman, K. H., & Slater, T. F. (1993). An introduction to free radical biochemistry. *British Medical Bulletin*, 49(3), 481-93.
- Clark, E. M., Mahoney, A. W., & Carpenter, C. E. (1997). Heme and total iron in ready-to-eat chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 124-126.
- Cobb-Vantress. (2008). Cobb700™ - The new standard in high yield. <http://www.cobb-vantress.com>.
- Craig, E. W., Fletcher, D.L., & Papinaho, P. A. (1999). The effects of antemortem electrical stunning and postmortem electrical stimulation on biochemical and textural properties of broiler breast meat. *Poultry Science*, 78(3), 490-494.
- De Bono, D. P. (1994). Free radicals and antioxidants in vascular biology: the roles of reaction kinetics, environment and substrate turnover. *QJM : monthly journal of the Association of Physicians*, 87(8), 445-53.
- Debut, M., Baeza, E., Sellier, N., Arnould, C., Guemene, D., Jehl, N., et al. (2003). Variation of Chicken Technological Meat Quality in Relation to Genotype and Preslaughter Stress Conditions. *Poultry Science*, 82, 1829-1838.
- Ding, Y.-ting, Sang, W.-guo, & Chen, Y. (2004). Comparative studies on the biochemical characteristics of natural actomyosin isolated from PSE and normal pork. *Journal of Zhejiang University. Science*, 5(6), 684-688.
- Dransfield, E., & Sosnicki, A. A. (1999). Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *Poultry Science*, 78(5), 743-6.
- Du, M., Nam, K. C., Hur, S. J., Isamail, H., & Ahn, D. U. (2002). Effect of dietary conjugated linoleic acid, irradiation, and packaging conditions on the quality characteristics of raw broiler breast fillets. *Meat Science*, 60(1), 9-15.
- Duclos, M. J., Berri, C., & Le Bihan-Duval, E. (2007). Muscle Growth and Meat Quality. *Journal of Application Poultry Reserce*, 16, 107-112.
- Dulhunty, A. F. (1992). The voltage-activation of contraction in skeletal muscle. *Progress in biophysics and molecular biology*, 57(3), 181-223.
- El Rammouz, R., Babilé, R., & Fernandez, X. (2004a). Effect of ultimate pH on the physicochemical and biochemical characteristics of turkey breast muscle showing normal rate of postmortem pH fall. *Poultry science*, 83(10), 1750-1757.

## Literatur

- El Rammouz, R., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Babilé, R., & Fernandez, X. (2004b). Breed differences in the biochemical determinism of ultimate pH in breast muscles of broiler chickens--a key role of AMP deaminase? *Poultry Science*, 83(8), 1445-1451.
- Engelhard, W. von, & Breves, G. (2000). *Physiologie der Haustiere* (2nd ed.). Enke Verlag.
- Fanatico, A. C., Pillai, P. B., Cavitt, L. C., Owens, C. M., & Emmert, J. L. (2005). Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: growth performance and carcass yield. *Poultry Science*, 84(8), 1321-1327.
- Fanatico, A. C., Pillai, P. B., Emmert, J. L., & Owens, C. M. (2007). Meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. *Poultry Science*, 86(10), 2245-2255.
- Faustman, C., & Cassens, R. G. (1990). The Biochemical Basis for Discoloration in Fresh Meat: a Review. *Journal of Muscle Foods*, 1(3), 217-243. doi: 10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x.
- Fernandez, X., Sante, V., Baeza, E., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Remignon, H., et al. (2002). Effects of the rate of muscle post mortem pH fall on the technological quality of turkey meat. *British Poultry Science*, 43, 245-252.
- Fernandez, X., Santé, V., Baeza, E., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Remignon, H., et al. (2001). Post mortem muscle metabolism and meat quality in three genetic types of turkey. *British Poultry Science*, 42, 462-469.
- Fiedler, I., Ender, K., Wicke, M., Maak, S., Lengerken, G. von, & Meyer, W. (1999). Structural and functional characteristics of muscle fibres in pigs with different malignant hyperthermia susceptibility (MHS) and different meat quality. *Meat Science*, 53(1), 9-15.
- Figueiredo, P. A., Mota, M. P., Appell, H. J., & Duarte, J. A. (2008). The role of mitochondria in aging of skeletal muscle. *Biogerontology*, 9, 67-84.
- Fleming, B. K., Froning, G. W., & Yang, T. S. (1991). Heme pigments levels in chicken broiler chilled in ice slush and air. *Poultry Science*, 70, 2197-2200.
- Fletcher, D.L. (1999). Broiler breast meat color variation, pH, and texture. *Poultry Science*, 78(9), 1323-1327.
- Fletcher, Daniel L. (1999). Color variation in commercially package broiler breast fillets. *Journal Application in Poultry Reserch*, 8, 67-69.
- Fox, J. B. (1966). The Chemistry of Meat Pigments. *Journal of Agri Food Chemistry*, 14(40), 207-210.
- Fraqueza, M. J., Cardoso, A. S., Ferreira, M. C., & Barreto, A. S. (2006). Incidence of pectoralis major turkey muscles with light and dark color in a Portuguese slaughterhouse. *Poultry Science*, 85(11), 1992-2000.
- Fridovich, I. (1989). Superoxide Dismutases. *The Journal of Biological Chemistry*, 264(14), 7761-7764.

## Literatur

- Fujii, J., Otsu, K., Zorzato, F., Leon, S. de, Khanna, V. K., Weiler, J. E., et al. (1991). Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 253(5018), 448-51.
- Gellerich, F. N., Deschauer, M., Chen, Y., Müller, T., Neudecker, S., & Zierz, S. (2002). Mitochondrial respiratory rates and activities of respiratory chain complexes correlate linearly with heteroplasmy of deleted mtDNA without threshold and independently of deletion size. *Biochimica et biophysica acta*, 1556(1), 41-52.
- Gellerich, F. N., Laterveer, F. D., Zierz, S., & Nicolay, K. (2002). The quantitation of ADP diffusion gradients across the outer membrane of heart mitochondria in the presence of macromolecules. *Biochimica et biophysica acta*, 1554(1-2), 48-56.
- Goliomytis, M., Panopoulou, E., & Rogdakis, E. (2003). Growth curves for body weight and major component parts, feed consumption, and mortality of male broiler chickens raised to maturity. *Poultry Science*, 82(7), 1061-1068.
- Hahn, G. (2001). Qualität von Geflügelfleisch. *Fleischwirtschaft*, 4, 124-126.
- Hahn, G., Malenica, M., Muller, W. D., Taubert, E., & Petrak, T. (2001). Turkey breast meat - Glycolysis post-mortem and technological properties. *Fleischwirtschaft*, 81, 120-122.
- Hahn, G., Malenica, M., Müller, W.-D., & Taubert, E. (2001). Postmortale Glykolyse und technologische Eigenschaften. *Fleischwirtschaft*, 10, 120-122.
- Haraf, G., Książkiewicz, J., Wołoszyn, J., & Okruszek, A. (2009). Characteristic of meat colour of different duck populations. *Archiv für Tierzucht*, 52(5), 527-537.
- HENDRIX GENETICS. (2009). Hybrid XL Commercial Performance Goals. <http://www.hybridturkeys.com/xl.html>.
- Hoffmann, K. (1978). Der Begriff Fleischqualität - Definition und Anwendung. *Fleischwirtschaft*, 67, 44-49.
- Honikel, K. O. (1986). *Merkmale der Fleischqualität* (6th ed.). Kulmbacher Reihe.
- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447-457.
- Honikel, K. O., & Hamm, R. (1994). Measurement of waterholding capacity and juiciness. *Quality Attributes and Their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products.*, 125-161.
- Honikel, K. O., & Schwägele, F. (2007). Biochemische Prozesse der Fleischbildung. *Qualität von Fleisch und Fleischwaren* (pp. 727-754).
- Hoving-Bolink, A. H., Kranen, R. W., Klont, R. E., Gerritsen, C. L. M., & De Greef, K. H. (2000). Fibre area and capillary supply in broiler breast muscle in relation to productivity and ascites. *Meat Science*, 56, 397-402.

## Literatur

- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204.
- Huxley, A. F., & Hanson, J. (1954). Changes in the Cross-Striations of Muscle during Contraction and Stretch and their Structural Interpretation. *Nature*.
- Jang, A., Liu, X. D., Shin, M. H., Lee, B. D., Lee, S. K., Lee, J. H., et al. (2008). Antioxidative Potential of Raw Breast Meat from Broiler Chicks Fed a Dietary Medicinal Herb Extract Mix. *Poultry Science*, 87, 2382-2389.
- Jaturasitha, S., Srikanthai, T., Kreuzer, M., & Wicke, M. (2008). Differences in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to northern Thailand (Black-boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island red). *Poultry Science*, 87(1), 160-9.
- Ji, L. L., & Leichtweis, S. (1997). Exercise and oxidative stress: Sources of free radicals and their impact on antioxidant systems. *Age*, 20(2), 91-106.
- Jiang, Z. Y., Jiang, S. Q., Lin, Y. C., Xi, P. B., Yu, D. Q., & Wu, T. X. (2007). Effects of soybean isoflavone on growth performance, meat quality, and antioxidation in male broilers. *Poultry Science*, 86(7), 1356-1362.
- Junqueira, L. C., Carneiro, J., & Schiebler, T. H. (1996). *Zytologie, Histologie und Anatomie des Menschen*.
- Kauffman, R., Joo, S. T., Schultz, C., Warner, R., Faustman, C., & Kauffman, R. G. (1994). Measuring Water-Holding Capacity in Post-Rigor Muscle. *Reciprocal Meat Conference*, 47, 70-72.
- Kim, M.-S., Kim, H.-S., Kim, Y.-S., Baek, K.-H., Oh, H.-W., Hahn, K.-W., et al. (2007). Superoxide anion regulates plant growth and tuber development of potato. *Plant Cell Reports*, 26(10), 1717-1725.
- Kisiel, T., & Książkiewicz, J. M. (2004). Comparison of physical and qualitative traits of meat of two Polish conservative flocks of ducks. *Archiv für Tierzucht*, 47, 367-375.
- Komrakova, M., Werner, C., Wicke, M., Nguyen, B. T., Sehmisch, S., Tezval, M., et al. (2009). Effect of daidzein, 4-methylbenzylidene camphor or estrogen on gastrocnemius muscle of osteoporotic rats undergoing tibia healing period. *Journal of Endocrinology*, 201, 253-262.
- Kranen, R. W., Van Kuppevelt, T. H., & Goedhart, H. A. (1999). Hemoglobin and Myoglobin Content in Muscles of Broiler Chickens. *Poultry Science*, 78, 467-476.
- Kuznetsov, A. V., Kunz, W. S., Saks, V., Usson, Y., Mazat, J. P., Letellier, T., et al. (2003). Cryopreservation of mitochondria and mitochondrial function in cardiac and skeletal muscle fibers. *Analytical Biochemistry*, 319, 296-307.
- Königshof. (2007). *Kurzlehrbuch der Biochemie*.

## Literatur

- Lanari, M. C., & Cassens, R. G. (1991). Mitochondrial Activity and Beef Muscle Color Stability. *Journal of Food Science*, 56(6), 1476-1479.
- Laudadio, V., Tufarelli, V., Dario, M., D'Emilio, F. P., & Vicenti, A. (2009). Growth performance and carcass characteristics of female turkeys as affected by feeding programs. *Poultry Science*, 88(4), 805-810.
- Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Baeza, E., Millet, N., & Beaumont, C. (2001). Estimation of the genetic parameters of meat characteristics and of their genetic correlations with growth and body composition in an experimental broiler line. *Poultry Science*, 80(7), 839-843.
- Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Baeza, E., Santé, V., Bentley, J., Beaumont, C., et al. (2003). Genetic parameters of meat technological quality traits in a grand-parental commercial line of turkey. *Genetic Selection Evolution*, 35, 623-635.
- Le Bihan-Duval, E., Millet, N., & Remignon, H. (1999). Broiler meat quality: effect of selection for increased carcass quality and estimates of genetic parameters. *Poultry Science*, 78(6), 822-6.
- Lee, M. S., Yancey, J. W. S., Apple, J. K., Sawyer, J. T., & Baublits, R. T. Y. (2007). Within-Muscle Variation in Color and pH of Beef Semimembranosus. *Journal of Muscle Foods*, 19(2008), 62-73.
- Lehmann, D., Pack, M., & Jeroch, H. (1997). Effects of Dietary Threonine in Starting , Growing , and Finishing Turkey Toms Birds and Housing. *Poultry Science*, 76, 696-702.
- Lemme, A., Frackenpohl, U., Petri, A., & Meyer, H. (2006). Response of male BUT big 6 turkeys to varying amino acid feeding programs. *Poultry Science*, 85(4), 652-660. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16615349>.
- Lengerken, G. von, Maak, S., & Wicke, M. (2002). Muscle metabolism and meat quality of pigs and poultry. *Veterinarija ir Zootechnika*, 20(42), 82-86.
- Lin, H., Gao, J., Song, Z. G., & Jiao, H. C. (2009). Corticosterone administration induces oxidative injury in skeletal muscle of broiler chickens. *Poultry Science*, 88, 1044-1051.
- Lombardi-Boccia, G., Martinez-Dominguez, B., & Aguzzi, A. (2002). Total Heme and Non-heme Iron in Raw and Cooked Meats. *Journal of Food Science*, 67(5), 1738-1741.
- Ma, R.T.-I., & Addis, P. B. (1973). The association of struggle during exsanguination to glycolysis protein solubility and shear in turkey pectoralis muscle. *Journal of Food Science*, 38, 995-997.
- Mahmoud, K. Z., & Hijazi, A. A. (2007). Effect of vitamin A and/or E on plasma enzymatic antioxidant systems and total antioxidant capacity of broiler chickens challenged with carbon tetrachloride. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 91(7-8), 333-40.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.

## Literatur

- Maraschiello, C., Sárraga, C., & García Regueiro, J. A. (1999). Glutathione peroxidase activity, TBARS, and alpha-tocopherol in meat from chickens fed different diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 867-72.
- McKee, S. R., & Sams, A. R. (1997). The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. *Poultry Science*, 76(11), 1616-1620.
- McKee, S. R., & Sams, A. R. (1998). Rigor Mortis Development at Elevated Temperatures Induces Pale Exudative Turkey Meat Characteristics. *Poultry Science*, 77, 169-174.
- McKenna, D. R., Mies, P. D., Baird, B. E., Pfeiffer, K. D., Ellebracht, J. W., & Savell, J. W. (2005). Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science*, 70(4), 665-682.
- McKibben, J., & Engeseth, N. J. (2002). Honey as a Protective Agent against Lipid Oxidation in Ground Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 592-595.
- Mehaffey, J. M., Pradhan, S. P., Meullenet, J. F., Emmert, J. L., McKee, S. R., & Owens, C. M. (2006). Meat Quality Evaluation of Minimally Aged Broiler Breast Fillets from Five Commercial Genetic Strains. *Poultry Science*, 85, 902-908.
- Melzer, W., & Dietze, B. (2001). Malignant hyperthermia and excitation-contraction coupling. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 367-378.
- Mercier, Y., Gatellier, P., Viau, M., Remignon, H., & Renerre, M. (1998). Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in Turkey meat during storage. *Meat Science*, 48(3-4), 301-318.
- Michiels, C., Raes, M., Toussaint, O., & Remacle, J. (1994). Importance of Se-glutathione peroxidase, catalase, and Cu/Zn-SOD for cell survival against oxidative stress. *Free Radical Biology & Medicine*, 17(3), 235-248.
- Michot, F., & Marti, H. R. (1966). Der Einfluss von Methämoglobin auf die Glutathion-Reduktase der Erythrozyten. *Clinica Chimica Acta*, 13, 269-272.
- Molette, C., Rémignon, H., & Babilé, R. (2005). Modification of glycolyzing enzymes lowers meat quality of turkey. *Poultry Science*, 84(1), 119-127.
- Molette, C., Serieye, V., Rossignol, M., Babilé, R., Fernandez, X., & Remignon, H. (2006). High Postmortem Temperature in Muscle Has Very Similar Consequences in Two Turkey Genetic Lines. *Poultry Science*, 85, 2270-2277.
- Mujahid, A., Yoshiki, Y., Akiba, Y., & Toyomizu, M. (2005). Superoxide radical production in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. *Poultry Science*, 84(2), 307-314.
- Nakanura, Y. N., Iwamoto, H., Shiba, N., Miyachi, H., Tabata, S., & Nishimura, S. (2004). Developmental states of the collagen content, distribution and architecture in the pectoralis, iliotibialis lateralis and puboischiofemorales muscles of male Red Cornish x New Hampshire and normal broilers. *British Poultry Science*, 45, 31-40.

## Literatur

- Nebot, C., Moutet, M., Huet, P., Xu, J. Z., Yadan, J. C., & Chaudiere, J. (1993). Spectrophotometric assay of superoxide dismutase activity based on the activated autoxidation of a tetracyclic catechol. *Analytical Biochemistry*, 214(2), 442-451.
- Nissen, P. M., & Young, J. F. (2006). Creatine monohydrate and glucose supplementation to slow- and fast-growing chickens changes the postmortem pH in pectoralis major. *Poultry Science*, 85(6), 1038-1044.
- Offer, G. (1991). Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30(2), 157-184.
- Offer, G., & Cousins, T. (1992). The Mechanism of Drip Production : Formation of Two Compartments of Extracellular Space in Muscle Post -Mortem. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58, 107-116.
- Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8(4), 245-281.
- Ohkawa, H., Ohishi, N., & Kunio, T. (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95, 351-358.
- Ojano-Dirain, C., Iqbal, M., Wing, T., Cooper, M., & Bottje, W. (2005). Glutathione and respiratory chain complex activity in duodenal mitochondria of broilers with low and high feed efficiency. *Poultry Science*, 84, 782-788.
- Opalka, J. R., Wicke, M., Gellerich, F. N., Schmidt, R., Rosner, F., Zierz, S., et al. (2004). Mitochondrial function in turkey skeletal muscle - impact on meat quality. *British Poultry Science*, 45(3), 367-379.
- Otto-Knapp, R. (2001). Die Regulation antioxidativer Enzyme nach Ozonexposition am Kulturmodell der menschlichen Nasenschleimhaut. *Dissertation, Berlin*.
- Otto-Knapp, R., Jurgovsky, K., Schierhorn, K., & Kunkel, G. (2003). Antioxidative enzymes in human nasal mucosa after exposure to ozone. Possible role of GSTM1 deficiency. *Inflammation Research*, 52(2), 51-55.
- Owens, C. M., Alvarado, C. Z., & Sams, A. R. (2009). Research developments in pale, soft, and exudative turkey meat in North America. *Poultry Science*, 88(7), 1513-1517.
- Owens, C. M., Hirschler, E. M., McKee, S. R., Martinez-Dawson, R., & Sams, A. R. (2000a). The characterization and incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. *Poultry Science*, 79(4), 553-558.
- Owens, C. M., Matthews, N. S., & Sam, A. R. (2000b). The use of halothane gas to identify turkeys prone to developing pale, exudative meat when transported before slaughter. *Poultry Science*, 79(5), 789-795.
- Owens, C. M., Mckee, S. R., Matthews, N. S., & Sams, A. R. (2000c). The Development of Pale, Exudative Meat in Two Genetic Lines of Turkeys Subjected to Heat Stress and Its Prediction by Halothane Screening. *Poultry Science*, 79, 430-435.

## Literatur

- Owens, C. M., & Sams, A. R. (1997). Muscle metabolism and meat quality of Pectoralis from turkeys treated with postmortem electrical stimulation. *Poultry Science*, 76(7), 1047-1051.
- Owens, C. M., & Sams, A. R. (2000). The influence of transportation on turkey meat quality. *Poultry Science*, 79(8), 1204-1207.
- Ozawa, T. (1997). Genetic and functional changes in mitochondria associated with aging. *Physiological Reviews*, 77(2), 425-464.
- Percival, A. L., Williams, A. J., Kenyon, J. L., Grinsell, M. M., Airey, J. A., & Sutko, J. L. (1994). Chicken skeletal muscle ryanodine receptor isoforms: ion channel properties. *Biophysical Journal*, 67(5), 1834-1850. Elsevier.
- Petracci, M., Betti, M., Bianchi, M., & Cavani, C. (2004). Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poultry Science*, 83(12), 2086-2092.
- Petracci, M., & Fletcher, D.L. (2002). Broiler skin and meat color changes during storage. *Poultry Science*, 81(10), 1589-1897.
- Pikul, J., Niewiarowicz, A., & Pospieszna, H. (1982). Heme Pigment Content in the Meat of Various Types of Poultry. *Fleischwirtschaft*, 62, 900-905.
- Pong, C.-Y., Chiou, T.-K., Ho, M.-L., & Jiang, S.-T. (2000). Effect of polyethylene package on the metmyoglobin reductase activity and color of tuna muscle during low temperature storage. *Fisheries Science*, 66(2), 384-389.
- Purslow, P. P. (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science*, 70, 435-447.
- Qiao, M., Fletcher, D.L., Northcutt, J. K., & Smith, D. P. (2002). The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *Poultry Science*, 81(3), 422-427.
- Qiao, M., Fletcher, D.L., Smith, D. P., & Northcutt, J. K. (2001). The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science*, 80, 676-680.
- Ramanathan, R., Mancini, R. A., & Konda, M. R. (2009). Effects of lactate on beef heart mitochondrial oxygen consumption and muscle darkening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 1550-1555.
- Rassner, G. (1972). Aktivitätsbestimmung des Enzyms Glutathion-Reductase in normaler Epidermis. *Archiv für Dermatologische Forschung*, 243(3), 221-225.
- Rathgeber, B. M., Pato, M. D., Boles, J. A., & Shand, P. J. (1999). Rapid post-mortem glycolysis and delay chilling of turkey carcasses cause alterations to protein extractability and degradation of breast muscle proteins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(7), 2529-36.

## Literatur

- Reddish, J. M., & Lilburn, M. S. (2004a). A comparison of growth and development patterns in diverse genotypes of broilers. 1. Male broiler growth. *Poultry Science*, 83(7), 1067-1071.
- Reddish, J. M., & Lilburn, M. S. (2004b). A comparison of growth and development patterns in diverse genotypes of broilers. 2. Pullet growth. *Poultry Science*, 83(7), 1072-1076.
- Rehfeldt, C. (2000). Myogenesis and postnatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. *Livestock Production Science*, 66(2), 177-188.
- Rehfeldt, C., Fiedler, I., & Stickland, N. C. (2004). Number and size of muscle fibres in relation to meat production. *Muscle Development of Livestock Animals, Physiology, Genetics and Meat Quality*, 1-38.
- Reichardt, W., Warzecha, H., Gernand, E., Hartung, H., & Eckert, B. (2002). Erhebungen zum Hämpigmentgehalt, zu Reflexionswerten sowie zum Fettsäurenmuster des intramuskulären Fettes vom Musculus longissimus dorsi Thüringer Rinder in Abhängigkeit von Mastform und Rassetyp. *Archiv für Tierzucht*, 45, 111-127.
- Remignon, H., Desrosiers, V., & Marche, G. (1996). Influence of increasing breast meat yield on muscle histology and meat quality in the chicken. *Reproduction Nutrition Development*, 36, 323-330.
- Remignon, H., Gardahaut, M. F., Marche, G., & Ricard, F. H. (1995). Selection for rapid growth increases the number and the size of muscle fibres without changing their typing in chickens. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 16, 95-102.
- Renner, M., Poncet, K., Mercier, Y., Gatellier, P., & Métro, B. (1999). Influence of Dietary Fat and Vitamin E on Antioxidant Status of Muscles of Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(1), 237-244.
- Ristic, M., Freudenreich, P., & Damme, K. (2008). Die chemische Zusammensetzung des Geflügelfleisches. *Fleischwirtschaft*, 9, 124-126.
- Ristic, M., & Korthas, G. (1987). Yield and Quality of Turkey Meat - How It Compares with Broiler Meat. *Fleischwirtschaft*, 67, 731-736.
- Ryu, Y. C., Rhee, M. S., Lee, K. M., & Kim, B. C. (2005). Effects of different levels of dietary supplemental selenium on performance, lipid oxidation, and color stability of broiler chicks. *Poultry Science*, 84(5), 809-815.
- Sams, A. R., & Dzuik, C. S. (1999). Meat quality and rigor mortis development in broiler chickens with gas-induced anoxia and postmortem electrical stimulation. *Poultry Science*, 78(10), 1472-1476.
- Sandercock, D. A., Hunter, R. R., Nute, G. R., Mitchell, M. A., & Hocking, P. M. (2001). Acute heat stress-induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for meat quality. *Poultry Science*, 80, 418-425.

## Literatur

- Sandercock, D. A., Nute, G. R., & Hocking, P. M. (2009). Quantifying the effects of genetic selection and genetic variation for body size, carcass composition, and meat quality in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Poultry Science*, *88*(5), 923-931.
- Santiago, H. L., Denbow, D. M., Emmerson, D. A., Denbow, C., Graham, P., & Hohenboken, W. (2005). Effects of strain, plane of nutrition, and age at slaughter on performance and meat quality traits of broilers. *Poultry Science*, *84*.
- Santé, V., & Fernandez, X. (2000). The measurement of pH in raw and frozen turkey Pectoralis superficialis muscle. *Meat Science*, *55*(4), 503-506.
- Santé, V., Le Pottier, G., Astruc, T., Mouchoniere, M., & Fernandez, X. (2000). Effect of stunning current frequency on carcass downgrading and meat quality of turkey. *Poultry Science*, *79*(8), 1208-1214.
- Sarraga, C., Carreras, I., Regueiro, J. A. G., Guardia, M. D., & Guerrero, L. (2006). Effects of alpha-tocopheryl acetate and beta-carotene dietary supplementation on the antioxidant enzymes, TBARS and sensory attributes of turkey meat. *British Poultry Science*, *47*, 700-707.
- Savenije, B., Schreurs, F. J. G., Winkelman-Goedhart, H. A., Gerritzen, M. A., Korf, J., & Lambooi, E. (2002). Effects of feed deprivation and electrical, gas, and captive needle stunning on early postmortem muscle metabolism and subsequent meat quality. *Poultry Science*, *81*(4), 561-571.
- Siegel, D. G. (2010). Oxygene free packaging recommended. *Fleischwirtschaft*, *1*, 36-41.
- Sielaff, H. (1996). *Fleischtechnologie*.
- Smith, D. P., Lyon, C. E., & Lyon, B. G. (2002). The effect of age, dietary carbohydrate source, and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poultry Science*, *81*, 1584-1588.
- Solomon, M. B., Van Laack, R. L. J. M., & Eastridge, J. S. (1998). Biophysical basis of pale soft exudative (PSE) pork and poultry muscle. *Journal of Muscle Foods*, *9*, 1-11.
- Sosnicki, A. A., Greaser, M. L., Pietrzak, M., Pospiech, E., & Sante, V. (1998). PSE-Like syndrome in breast muscle of deomestic turkeys. *Journal of Muscle Foods*, *9*(1998), 13-23.
- Strasburg, G. M., & Chiang, W. (2009). Pale, soft, exudative turkey--The role of ryanodine receptor variation in meat quality. *Poultry Science*, *88*(7), 1497-1505.
- Swatland, H. J. (2008). How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Science*, *80*, 396-400.
- Tang, J., Faustman, C., & Hoagland, T. A. (2004). Krzywicki Revisited : Equations for Spectrophotometric Determination of Myoglobin Redox Forms in Aqueous Meat Extracts. *Journal of Food Science*, *69*(9), 717-720.

## Literatur

- Tang, J., Faustman, C., Mancini, R. A., Seyfert, M., & Hunt, M. C. (2005). Mitochondrial reduction of metmyoglobin: dependence on the electron transport chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(13), 5449-5455.
- Tang, J. L., Faustman, C., Hoagland, T. A., Mancini, R. A., Seyfert, M., & Hunt, M. C. (2005). Interactions between mitochondrial lipid oxidation and oxymyoglobin oxidation and the effects of vitamin E. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 6073-6079.
- Tang, Z., Iqbal, M., Cawthon, D., & Bottje, W. G. (2002). Heart and breast muscle mitochondrial dysfunction in pulmonary hypertension syndrome in broilers (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular and Integrative Physiology*, 132, 527-540.
- Updike, M. S., Zerby, H. N., Sawdy, J. C., Lilburn, M. S., Kaletunc, G., & Wick, M. P. (2005). Turkey breast meat functionality differences among turkeys selected for body weight and/or breast yield. *Meat Science*, 71, 706-712.
- Van Laack, R. L. J. M., Liu, C.-H., Smith, M. O., & Loveday, H. D. (2000). Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*, 79, 1057-1061.
- Wang, K. H., Shi, S. R., Dou, T. C., & Sun, H. J. (2009). Effect of a free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. *Poultry Science*, 88(10), 2219-23.
- Wang, L. J., Byrem, T. M., Zarosley, J., Booren, A. M., & Strasburg, G. M. (1999). Skeletal muscle calcium channel ryanodine binding activity in genetically unimproved and commercial turkey populations. *Poultry Science*, 78(5), 792-797.
- Warriss, P., & Brown, S. (1987). The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, 20(1), 65-74.
- Werner, C., Janisch, S., Kuembet, U., & Wicke, M. (2009). Comparative study of the quality of broiler and turkey meat. *British Poultry Science*, 50(3), 318-324.
- Werner, C., Janisch, S., & Wicke, M. (2010). Mitochondrial respiratory and antioxidative enzyme activities in broiler meat in relation to age and gender of the animals. *Animal*, 1-8.
- Werner, C., Janisch, S., & Wicke, M. (2011). Mitochondrial respiratory and antioxidative enzyme activities in broiler meat in relation to age and gender of the animals. *Animal*, 5(05), 813-820.
- Werner, C., Natter, R., Schellander, K., & Wicke, M. (2010). Mitochondrial respiratory activity in porcine longissimus muscle fibers of different pig genetics in relation to their meat quality. *Meat Science*, 85(1), 127-133. Elsevier Ltd.
- Werner, C., Riegel, J., & Wicke, M. (2008). Slaughter performance of four different turkey strains, with special focus on the muscle fiber structure and the meat quality of the breast muscle. *Poultry Science*, 87(9), 1849-1859.

## Literatur

- Wicke, M., Gellerich, F.-N., Greb, N., & Lengerken, G. von. (2000). Oxygraphische Untersuchungen der Mitochondrienfunktion. *Fleischwirtschaft*, 3, 78-81.
- Wicke, M., Maak, S., Rehfeld, C., & Lengerken, G. von. (2007). Anatomisch-physiologische Grundlagen der Fleischqualität. *Qualität von Fleisch und Fleischwaren* (pp. 689-726).
- Wilkins, L. J., Brown, S. N., Phillips, A. J., & Warriss, P. D. (2000). Variation in the colour of broiler breast fillets in the UK. *British Poultry Science*, 41(3), 308-312.
- Wiskus, K. J., Addis, P. B., & Ma, R.T-I. (1976). Distribution of  $\beta$ R,  $\alpha$ R,  $\alpha$ W fibers in turkey muscle. *Poultry Science*, 55, 562-572.
- Woelfel, R. L., Owens, C. M., Hirschler, E. M., Martinez-Dawson, R., & Sams, A. R. (2002). The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poultry Science*, 81, 579-584.
- Wynveen, E. J., Bowker, B. C., Grant, A. L., Demos, B. P., & Gerrard, D. E. (1999). Effects of muscle pH and chilling on development of PSE-like turkey breast meat. *British Poultry Science*, 40, 253-256.
- Young, J. F., Stagsted, J., Jensen, S. K., Karlsson, A. H., & Henckel, P. (2003). Ascorbic acid, alpha-tocopherol, and oregano supplements reduce stress-induced deterioration of chicken meat quality. *Poultry science*, 82(8), 1343-1351.
- Zelko, I. N., Mariani, T. J., & Folz, R. J. (2002). Superoxide Dismutase Multigene Family. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(3), 337-349.
- Zhang, A. W., Lee, B. D., Lee, S. K., Lee, K. W., An, G. H., Song, K. B., et al. (2005). Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poultry Science*, 84(7), 1015-1021.
- Zhang, L., Yue, H. Y., Wu, S. G., Xu, L., Zhang, H. J., Yan, H. J., et al. (2010). Transport stress in broilers. II. Superoxide production, adenosine phosphate concentrations, and mRNA levels of avian uncoupling protein, avian adenine nucleotide translocator, and avian peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1alpha. *Poultry Science*, 89(3), 393-400.
- Zhuang, H., & Savage, E. M. (2009). Variation and Pearson correlation coefficients of Warner-Bratzler shear force measurements within broiler breast fillets. *Poultry Science*, 88(1), 214-20.
- Šimonovičová, M., Tamás, L., Hu, J., Široká, B., & Mistrík, I. (2004). Activity of some enzymes in barley caryopses during imbibition in aluminium presence. *Plant Soil Environ*, 50, 189-195.

## Anhang

### Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind sowie alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Göttingen, im August 2011

.....

(Diplom Biologin Sabine Janisch)

## Anhang

### Veröffentlichungen

Werner, C; S.Janisch; U. Kümbet, and M. Wicke. 2009. Comparative study on the quality of broiler and turkey meat. *British Poultry Science* 50, no. 3 (May): 318-324, doi: 10.1080/00071660902806939

Werner, C; S.Janisch, and M. Wicke. 2011. Mitochondrial respiratory and antioxidative enzyme activities in broiler meat in relation to age and gender of the animals. *Animal* 5, no 5: 813-820. doi: 10.1017/S175173111000248X

Janisch S.; C. Krschek, and M. Wicke. 2011. Color values and other meat quality characteristics of breast muscles collected from three broiler genetics slaughtered at two different ages. *Poultry Science* 90, no 8: 1774-1781. doi: 10.3382/ps.2010-01073

Krschek, C.; S. Janisch; R. Günther, and M. Wicke. 2011. Nutrient composition of broiler and turkey breast meat in relation to age, gender and genetic of the animals. *Archiv für Lebensmittelhygiene* 62: 76-81. doi 10.2376/0003-925X-62-76

Janisch S.; C. Krschek, and M. Wicke. 2011. Mitochondrial respiratory and antioxidative enzyme activities in turkey meat. *Animal*, accepted

## Anhang

**Hiermit möchte ich allen herzlich danken, die auf verschiedenste Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.**

Für die Vergabe dieses Promotionsthemas an mich sowie die gute Betreuung danke ich Herrn Prof. Dr. Wicke. Herrn Prof. Dr. Dorresteyn danke ich dafür, dass er die Betreuung dieses Promotionsthema übernommen hat und ich somit in der Naturwissenschaft bleiben konnte.

Ein großer Dank gilt der gesamten Arbeitsgruppe „Produktkunde - Qualität tierischer Erzeugnisse“ für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die unermüdliche Hilfe. Hier gilt mein besonderer Dank Dr. Carsten Krischek für seine Ideen und seinen Rat bei diversen kleinen und großen Problemen und Herrn Peter Ludewig auf den man sich immer verlassen konnte und der jederzeit bereit war zu Helfen.

Für das gute Klima im Büro sowie der Lösung von statistischen Problemen danke ich Herrn Dr. Tim Koch.

**Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinen Großeltern, ohne deren kompromisslose Unterstützung ich nie soweit gekommen wäre.**