

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

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

**Prüfung der Effektivität der Elektrostimulation
auf die Fleischqualität bei Schlachtschweinen**

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

von
**Ursula Deiss-Hemmeter
aus Nürtingen**

München 2005

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle
Referent: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle
Koreferent: Univ.-Prof. Dr. R. Mansfeld

Tag der Promotion: 11. Februar 2005

Für

Reinhard,
Rudolph, Robert und Lea

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ATP	Adenosintriphosphat
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
B	Herkunftsbetrieb
BayHZZP	Bayerisches Hybrid-Zuchtrprogramm
BHZZP	Bundeshybrid-Zuchtprogramm
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
Ca	Calcium
CK	Creatin-Kinase
CMA	Centrale Marketing Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH
CP	Creatinphosphat
DCB	dark cutting beef
DänHZZP	Dänisches Hybridzuchtprogramm
DFD	dark, firm, dry = dunkel, fest, trocken
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
DL	Deutsche Landrasse
DU	Duroc
FOM	Fat or Meat (Muskefleischanteil)
GKZ	Gesamtkeimzahl
h	Stunde
HA	Hampshire
HF	Hampshirefaktor
HK	Handelsklasse
Hz	Hertz
IMF	Intramuskulärer Fettgehalt
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
LF	Leitfähigkeit
LF _{0,5}	Leitfähigkeit 30 min post mortem

LF ₁	Leitfähigkeit 85/145 min post mortem
LF ₄	Leitfähigkeitswert 4 Stunden post mortem
LF ₁₂	Leitfähigkeitswert 12 Stunden post mortem
LF ₁₈	Leitfähigkeitswert 18 Stunden post mortem
LF ₂₄	Leitfähigkeitswert 24 Stunden post mortem
LF ₄₀	Leitfähigkeitswert 40 min post mortem
LF ₅₀	Leitfähigkeitswert 50 min post mortem
LR	Landrasse
LW	Large White
LW*LR	Large White*Landrasse
M.	Musculus
MLD	Musculus longissimus dorsi
M. long. dorsi	Musculus longissimus dorsi
MA	Mitarbeiter
MFA	muskulärer Fettanteil
MHS	Malignes Hyperthermie Syndrom
Min.	Minimum
min	Minute
mind.	mindestens
mm	Milimeter
mS/cm	Millisiemens pro Zentimeter
n	Anzahl
NN	homozygot MHS-negativ
NP	heterozygot MHS
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
p.m.	post mortem
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoff- ionenkonzentration
pH _{0,5}	pH-Wert 30 min p.m.
pH ₁	pH-Wert 45 min p.m.
pH ₄	pH-Wert 4 Stunden p.m.
pH ₁₂	pH-Wert 12 Stunden p.m.
pH ₁₈	pH-Wert 18 Stunden p.m.
pH ₂₄	pH-Wert 24 Stunden p.m.

PI	Pietrain
PI*HA	Pietain*Hampshire
PP	homozygot MHS-positiv
PSE	pale, soft, exudativ = blaß, weich, wäßrig
RN	Rendement Napole, dominantes Schadgen ("Hampshirefaktor")
RW	Reflexionswert
sec	Sekunden
s. o.	siehe oben
SR	Sarkoplasmatisches Retikulum
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
WBV	Wasserbindungsvermögen
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
2. Literatur	12
2.1. Postmortale Vorgänge in der Muskulatur.....	12
2.1.1. Fleischreifung.....	12
2.1.2. Rigor mortis.....	14
2.2. Fleischqualität.....	16
2.2.1. Definition der Fleischqualität.....	16
2.2.2. Qualitätsabweichungen bei der Fleischreifung.....	18
2.2.2.1. PSE.....	18
2.2.2.2. DFD.....	20
2.2.2.3. Cold-shortening.....	21
2.2.2.4. Hampshire Faktor.....	23
2.2.3. Einfluss der Kühlung auf die Fleischqualität.....	23
2.2.4. Einfluss der Rasse auf die Fleischqualität.....	26
2.2.5. Einfluss des Transportes und der Standzeit auf die Fleischqualität.....	31
2.2.6. pH-Wert.....	34
2.2.6.1. Definition.....	34
2.2.6.2. Messmethodik.....	35
2.2.6.3. Untersuchungen zum pH-Wert in Rind und Schweinefleisch.....	36
2.2.7. Elektrische Leitfähigkeit.....	40
2.2.7.1. Definition.....	41
2.2.7.2. Messmethodik.....	41
2.2.7.3. Untersuchungen zur Leitfähigkeit in Rind- und Schweinefleisch.....	43
2.2.8. Fleischfarbe, Reflexionswert.....	49
2.2.8.1. Definition.....	50
2.2.8.2. Messmethodik.....	52
2.2.8.3. Untersuchungen zur Reflexion in Rind- und Schweinefleisch.....	54
2.2.9. Wasserbindungsvermögen (WBV)	55

2.2.9.1.	Definition.....	55
2.2.9.2.	Messmethodik.....	58
2.2.9.3.	Untersuchungen zur Wässrigkeit in Rind- und Schweinefleisch.....	59
2.3.	Elektrostimulierung.....	61
2.3.1.	Definition und Untersuchungen anderer Autoren.....	61
2.3.2.	Beziehung zwischen Betäubung und Elektrostimulierung.....	65
3.	Eigene Untersuchungen.....	68
3.1.	Betriebsbeschreibung.....	68
3.1.1.	Allgemeine Betriebsdaten.....	68
3.1.2.	Elektrostimulierung.....	69
3.2.	Tiermaterial.....	71
3.2.1.	Herkunft und Auswahl der untersuchten Schlachttiere.....	71
3.2.2.	Anzahl der Messungen.....	73
3.2.3.	Eigene Beobachtungen.....	74
3.3.	Verwendete Geräte und Messmethodik.....	74
3.3.1.	Zeitablauf der Messungen, tägliche Übersicht.....	74
3.3.2.	Material und Durchführung der Messungen.....	76
3.3.2.1.	pH-Wert.....	76
3.3.2.2.	Elektrische Leitfähigkeit.....	77
3.3.2.3.	Reflexion.....	77
3.3.2.4.	Auspressbare Gewebsflüssigkeit.....	78
3.3.3.	Andere erfasste Daten.....	79
4.	Ergebnisse.....	80
4.1.	pH-Wert.....	80
4.1.1.	Auswertung der pH-Wert Messungen.....	80
4.1.1.1.	M. longissimus dorsi.....	81
4.1.1.1.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	84
4.1.1.1.2.	Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	93
4.1.1.2.	M. semimembranosus.....	98
4.1.1.2.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	100

4.1.1.2.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	110
4.1.2. Signifikanzen und Korrelationen.....	116
4.1.2.1. M. longissimus dorsi.....	116
4.1.2.1.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	116
4.1.2.1.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	117
4.1.2.2. M. semimembranosus.....	120
4.1.2.2.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	120
4.1.2.2.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	121
4.2. Elektrische Leitfähigkeit.....	124
4.2.1. Auswertung der Messungen der elektrischen Leitfähigkeit.....	124
4.2.1.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	126
4.2.1.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	135
4.2.2. Signifikanzen und Korrelationen.....	141
4.2.2.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	141
4.2.2.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	143
4.3. Reflexion.....	146
4.3.1. Auswertung der Reflexionsmessung.....	146
4.3.1.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	147
4.3.1.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	152
4.3.2. Signifikanzen und Korrelationen.....	155
4.3.2.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	155
4.3.2.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	156
4.4. Wässrigkeit.....	157
4.4.1. Auswertung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit.....	157
4.4.1.1. Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	158
4.4.1.2. Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	161
4.4.2. Signifikanzen und Korrelationen.....	164

4.4.2.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	164
4.4.2.2.	Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	165
5.	Diskussion.....	168
5.1.	pH-Wert.....	168
5.1.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	168
5.1.2.	Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	173
5.2.	Elektrische Leitfähigkeit.....	174
5.2.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	175
5.2.2.	Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	177
5.3.	Reflexion.....	177
5.3.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	178
5.3.2.	Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	179
5.4.	Auspressbare Gewebsflüssigkeit.....	180
5.4.1.	Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere.....	180
5.4.2.	Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes.....	181
6.	Schlussfolgerungen.....	183
7.	Zusammenfassung.....	184
8.	Summary.....	186
9.	Verzeichnisse.....	188
9.1.	Literaturverzeichnis.....	188
9.2.	Abbildungsverzeichnis.....	203
9.3.	Tabellenverzeichnis.....	206
10.	Anhang.....	209
11.	Danksagung.....	225

1. Einleitung

Der heutige Verbraucher isst wesentlich gesundheitsbewusster als in der Vergangenheit, da er die Lebensmittel auch zu seiner Gesunderhaltung aufnimmt (HONIKEL, 2002 c). In diesem Punkt sind diejenigen, die Fleisch und Fleischerzeugnisse vermarkten, den Empfehlungen nicht immer gefolgt. Im Bereich des Frischfleisches hat sich durch die neuen Rassen seit den 60er Jahren Erhebliches in punkto mageres Fleisch getan, jedoch war der Aspekt Fett mehr oder weniger der einzige, der dabei berücksichtigt wurde (JIMcNEZ et al., 2001). Ziel sollte sein, sich mehr auf die ursprünglichen Qualitätsziele zu konzentrieren, was jedoch ein Umdenken beim Verbraucher erfordert. Anstrengungen werden dazu auch von der Fleischwirtschaft unternommen, anhand der Schlachttechnologie optimale qualitative Resultate in Verbindung mit den sich ständig entwickelnden Zuchtprogrammen des Bundes und der Länder zu erreichen.

Die Elektrostimulierung bei Schlachtierkörpern wurde im Zuge der Rationalisierung und der damit verbundenen fortschreitenden Automatisierung vor allem bei der Schlachtung von Rindern und Schafen eingesetzt (SMULDERS und EIKELENBOOM, 1986; AICHINGER, 2003). Während einige Autoren Untersuchungen bei der Schlachtung von Schweinen bezüglich der Elektrostimulierung und ihrer Auswirkungen auf die Fleischqualität an definierten Gruppen von Schweinen durchführten (REES et al., 2003 a und b; HONIKEL, 2004), finden sich in der Literatur keine Angaben über die Auswirkungen der Elektrostimulierung auf die Schweinefleischqualität unter den in der Praxis eines Schlachtbetriebes üblichen Bedingungen.

In der vorliegenden Arbeit sollte in einem süddeutschen Schlachtbetrieb unter Praxisbedingungen untersucht werden, welchen Einfluss die frühpostmortale Elektrostimulierung unter den gegebenen schlachttechnologischen Bedingungen im täglichen Routinebetrieb und unter Einbeziehung der aktuellen Zuchtergebnisse auf die Qualität des Schweinefleisches hat. Hierfür wurden der Leitparameter pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, die Wässrigkeit und der Reflexionswert erhoben und miteinander in Beziehung gebracht.

2. Literatur

2.1 Postmortale Vorgänge in der Muskulatur

2.1.1 Fleischreifung

Die Fleischreifung wird definiert als eine Reihe postmortalen, biochemischer Vorgänge, die zu einer Zunahme der Zartheit und Saftigkeit des Fleisches führen. Dies geschieht während der Zeit des Abhängens nach der Schlachtung, das bei Rindfleisch bis zu 6 Wochen dauern kann (KÜHNLEIN, 1993). Im Zusammenhang damit soll ein spezifisches und angenehmes Fleischaroma ausgebildet werden. Die zu Grunde liegenden Prozesse betreffen sowohl die Muskulatur als auch das sie umgebende Bindegewebe. Es besteht Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und dem pH-Wert zum Erreichen der gewünschten Fleischreifung (PRÄNDL, 1988). Je nach Tierart und Behandlung (z.B. Kühlverfahren, Elektrostimulierung) werden nach dem Schlachten die energieliefernden Stoffe im Stoffwechsel unterschiedlich schnell verbraucht. Aus Kreatinphosphat (CP) und Adenosintriphosphat (ATP) entstehen verschiedene Geschmacksstoffe, wie Creatinin und Inosinat. Die Glykogenreserven werden zur L⁺-Milchsäure abgebaut. Diese Bildung der Geschmacksstoffe ist der erste Schritt der Reifung und findet unter üblichen Kühlbedingungen innerhalb der ersten 36 Stunden post mortem statt. Anschließend kommen Aminosäuren (u.a. Glutamin und Glutaminat) aus der Spaltung der Proteine, sowie freie Fettsäuren und deren Spaltprodukte hinzu (HONIKEL, 1986 a).

Lebender Muskel ist ein schlechter Leiter, da die intrazellulären und extrazellulären Flüssigkeiten durch Membranen voneinander getrennt sind (FELDHUSEN et al., 1987 a; FELDHUSEN, 1987 b). Diese isolierenden Membransysteme werden jedoch in Abhängigkeit vom Verlauf der postmortalen pH-Wert-Senkung auf Werte von 5,8 - 5,4 durch Proteindenaturierung mehr oder weniger stark geschädigt. Zusätzlich kommt es bereits vor Eintritt des Rigor mortis zu einer Quellung der Muskulatur und der Bindegewebsproteine. Bei Eintritt des Rigor mortis nimmt die Quellung wieder ab (FELDHUSEN et al., 1987 b). Ist die Temperatur unmittelbar post mortem höher als 40°C, so ist ab diesem Zeitpunkt mit der Denaturierung der für die Reifung essentiell-

len Proteine zu rechnen. Daraus folgert eine über das Maß verbleibende Zähigkeit des Fleisches (FELDHUSEN et al., 1987 b).

Bei der Reifung findet zunächst eine Fragmentierung der Muskulatur statt, bei der Ca^{2+} -Ionen eine Schlüsselfunktion besitzen. Durch sie wird ein proteolytisches Enzym, lokalisiert im Sarkoplasma, aktiviert, das ein Aufbrechen der Myofibrillen in Nähe der Z-Linie verursacht („Calcium-aktivierter Faktor“). Die durch den ATP-Mangel verursachten Verknüpfungen von Aktin- und Myosinfilamenten, also der Rigor mortis, werden nicht nur rückgängig gemacht (HAMM, 1979). Es wird jedoch ein ähnlicher Effekt erzielt (HECHT, 1986). Die lysosomalen Proteasen, die eine partielle Proteolyse der im Sarkoplasma lokalisierten Proteine und die Abspaltung der Myosinköpfe bewirken, haben ebenfalls eine besondere Bedeutung auf die Fleischreifung bzw. das Zartwerden des Fleisches. Des Weiteren wird den lysosomalen Proteasen eine teilweise Auflösung des sarkoplasmatischen Retikulums (SR), bzw. dessen Netzwerkes zugesprochen (PRÄNDL, 1988). Im Verlauf der Reifung nimmt das Wasserbindungsvermögen des Fleisches zu. Dies geschieht durch den erhöhten osmotischen Druck der Muskelzellen und die Änderungen der Ladungsverhältnisse in der Muskulatur durch den Proteinabbau und die Freisetzung von Natrium und Calcium-Ionen aus dem SR (HONIKEL, 1986 a).

Aus hygienischen Gründen muss das Fleisch bei niedrigen Temperaturen (vorzugsweise bei 0°C) abhängen, was für den eigentlichen Reifungsprozess nicht vorteilhaft ist. Reifungstemperaturen von $3 - 5^{\circ}\text{C}$ sind vom hygienischen Standpunkt aus vertretbar und erhöhen die Geschwindigkeit der abbauenden Vorgänge gegenüber den Verhältnissen bei 0°C . Daneben ist der pH-Wert von entscheidender Bedeutung, da die für die Fleischreifung verantwortlichen Enzyme bei unterschiedlichen pH-Werten ihre Wirkungsoptima haben. Aus diesem Grund wird DFD-Fleisch mit einem $\text{pH} > 6,2$, das von Beginn an schon zarter ist, noch rascher zart als normales Fleisch mit einem pH-Wert von ca. 5,5. Durch eben diese fehlende Säuerung ist aber gerade dieses Fleisch mikrobiologisch sehr anfällig und muss nach kurzer Zeit zum Verzehr gelangen (HECHT, 1986).

2.1.2 Rigor mortis

Eine zyklische Wechselwirkung zwischen Aktin und Myosin ermöglicht eine Muskelverkürzung und/oder Kraftentwicklung über den gleichen Grundprozess der Kontraktion. Dieser zyklische Prozess wird von KLINKE und SILBERNAGEL (2001) in vier Phasen unterteilt:

1. Der Myosinkopf ist fest mit dem Aktinmolekül verbunden, es liegt Aktomyosin vor. Zum Lösen dieser Verbindung ist ATP nötig.
2. Bindet der Myosinkopf ATP, so nimmt die Affinität seiner Bindung zu Aktin stark ab. Dadurch trennt sich der Myosinkopf vom Aktinmolekül. Der Zyklus kann weiter ablaufen, wenn ATP wieder entfernt wird. Dies erfolgt in der Zelle durch Spaltung von ATP zu Adenosindiphosphat (ADP) +P.
3. Sind nach der ATP-Spaltung ADP+P am Myosinkopf gebunden, steigt die Affinität der Aktin-Myosin-Bindung weiter an, und der Myosinkopf kann sich erneut am Aktinmolekül mit schwacher Bindung anlegen.
4. Diese schwache Bindung geht schnell in eine feste Bindung über und ist die eigentliche Kraftstufe. Anschließend wird ADP wieder vom Myosinkopf entfernt und die Phase 1 wieder erreicht.

Fehlt nach diesem Wiedererreichen der Phase 1 im Zytosol das ATP, dann verharrt der Myosinkopf in seiner Stellung, und es tritt die Totenstarre (Rigor mortis) ein. Sie tritt besonders früh in den Muskeln ein, die zum Zeitpunkt des Todes aktiv waren. Bei hoher Außentemperatur wird ihr Eintritt beschleunigt. Die Krafterzeugung im Rigor-Zustand benötigt keine Energie und löst sich erst durch die eintretende Autolyse, bzw. Fleischreifung (KLINKE und SILBERNAGEL, 2001).

SCHMIDT-NIELSEN (1999) bezeichnet Myosin und Aktin als entscheidend für die Krafterzeugung und -übertragung. Tropomyosin und Troponin regulieren die Interaktion von Actin und Myosin mit Calcium als Auslöser, wobei ATP durch seine Hydrolyse den Energielieferanten darstellt. Ähnlich wie bei der Muskelkontraktion ist also auch beim Rigor mortis die Konzentration der Calciumionen mitentscheidend. Unmittelbar nach dem Schlachten ist die Muskulatur in der Regel in erschlafftem Zustand, da die Ca^{2+} -Konzentration noch sehr niedrig ist. Im Sarkoplasma verbleibt die Ca^{2+} -Konzentration zunächst auf einem niedrigen Niveau, da die Calciumpumpe des Sarkoplasmatischen Retikulums (SR) noch aktiv ist und austretendes Ca^{2+} in die Vesikel

des SR zurückbefördert, wofür ATP notwendig ist. Die Sauerstoffversorgung des Gewebes setzt mit der Unterbrechung des Blutkreislaufes beim Tod des Tieres aus, und das Reservoir von CP, aus welchem die Kreatinphosphokinase ADP zu ATP überzuführen vermag, ist rasch erschöpft. So kommt für die Resynthese von ATP aus ADP nur der anaerobe Abbau von Glykogen zu Laktat in Betracht. Dabei werden pro Glucose-Einheit des Glykogens drei Moleküle ATP gebildet. Da ebenfalls Ca^{2+} aus Zellorganellen in das Sarkoplasma eindringt, kommt es zur Aufhebung der blockierenden Wirkung des Troponin-Tropomyosin-Systems und zu einer Aktivierung der kontraktilen ATP-ase, so dass ATP weiter abgebaut wird. Während dieses ATP-Umsatzes kontrahiert der Muskel. Erst wenn nach Erschöpfung des Glykogens ATP weitgehend aus dem Gewebe verschwunden ist (Sinken der ATP-Konzentration von etwa 5 $\mu\text{Mol/g}$ auf etwa 1 $\mu\text{Mol/g}$ Muskelgewebe), kommt es zu einer starren irreversiblen Verknüpfung von Actin- und Myosinfilamenten. Der Rigor mortis ist eingetreten (HAMM, 1979). Der Rigor Zustand ist also dadurch gekennzeichnet, dass er seine Dehnbarkeit (= Längenveränderung bei Belastung) verliert (HAMM et al., 1980). SCHWÄGELE (1999) gibt den Eintritt der Totenstarre weit gefasst mit 1 - 30 Stunden an, in Abhängigkeit von der Tierart, des Zustandes des Muskels, sowie der Umgebungstemperatur.

Mit der kritischen ATP-Konzentration wird durch die Produktion von Milchsäure auch ein bestimmter pH-Wert (siehe unten) erreicht. Dies trifft aber nur zu, wenn der Muskel zum Zeitpunkt des Todes normale Mengen an Glykogen enthält. Bei Untersuchungen der Nackenmuskeln von Rindern ist der Muskel bei pH 5,5 und einer dem Nullpunkt zustrebenden ATP-Konzentration nicht mehr dehnbar. Bei pH 5,9 tritt sprunghaft eine Verkürzung der Sarkomeren für den Fall ein, dass die Temperatur des Muskels etwa 20 °C beträgt. Für DFD-Fleisch trifft jedoch nicht zu, dass der Rigor mortis bei pH 5,9 eintritt (Kap. 2.2.2.2). Die Verhinderung des Rigor mortis kann durch Salzen und schlachtwarmes Zerkleinern des Rohmaterials erreicht werden, wodurch das Wasserbindungsvermögen des Fleisches konserviert wird (HAMM et al., 1980). In PSE-Muskeln ($\text{pH}_{45} < 5,7$) tritt bereits 1 h p.m. der Rigor mortis ein (HONIKEL und KIM, 1985).

2.2 Fleischqualität

2.2.1 Definition der Fleischqualität

Das Wort Qualität leitet sich von dem lateinischen Wort „qualitas“ ab und bedeutet „Beschaffenheit“. Ganz allgemein wird die objektiv vorhandene Qualität eines Lebensmittels durch Eigenschaften und Merkmale erfasst, welche wissenschaftlich erfasst, analysiert und gemessen werden können. HOFMANN (1993) hat sich sehr ausführlich mit dem Begriff der Qualität auseinandergesetzt und kommt zu folgender Begriffsdefinition:

„Fleischqualität ist die Gesamtheit aller Merkmale des Fleisches, die für seinen Nährwert, Genusswert, die Gesundheit des Menschen und die Verwertung des Fleisches von Bedeutung sind.“

SCHMITTEN et al. (1993) definieren Schweinefleischqualität als einen Merkmalskomplex, der sich aus der Produktqualität, d.h. den Qualitätsfaktoren des Fleisches und der Produktionsqualität, zusammensetzt. Die Produktionsqualität besteht aus den Einflussfaktoren, die die Fleischqualitätsfaktoren beeinflussen. Faktoren der Produktionsqualität sind: Genetik, Haltung, Fütterung, Gesundheit, Transport der Tiere, aber auch die Schlachttechnik und die Kühlung des Fleisches. Darüber hinaus können physiologische, physikalische und biochemische (postmortale) Faktoren unterschieden werden. Physiologische Faktoren umfassen die Spezies, das Alter, das Geschlecht, die Haltung, die Fütterung, den Transport und die Schlachtung des Tieres. Unter physikalischen Faktoren verstehen SCHMITTEN et al. (1993) das Kühlen, das Zerlegen, die mechanische Behandlung, das Zerkleinern und den Transport der Schlachtkörper. Die biochemischen Faktoren erfassen post mortale Prozesse nach dem Schlachten wie ATP-Abbau, enzymatische Fleischreifung und Qualitätssicherung. Angestrebt ist ein hoher Genuss- und Nährwert des Fleisches unter der Prämisse einer tiergerechten und umweltverträglichen Erzeugung (LAUBE, 2000).

GLODEK (1996) möchte die Definition der Endproduktqualität unter den Gesichtspunkten der Produktionswirtschaftlichkeit, der Qualität des Fleisches, bzw. Fettes sehen und bezieht dabei ebenfalls ethische und Umweltaspekte mit ein. Die

Qualität des Fleisches und des Fettes ist durch den Hampshirefaktor, die PSE / DFD-Häufigkeit und den intramuskulären Fettgehalt bestimmt. Die Wirtschaftlichkeit der Produktion lässt sich durch die Mastleistung, den Erlös (Fleischanteil) und die Tierverluste charakterisieren. Zu den ethischen und Umweltaspekten der Produktion gehören die Berücksichtigung tierschutzrelevanter Zucht- und Haltungsverfahren, sowie die Eignung für umweltschonende Fütterung und Haltung.

Die Produzenten und Vermarkter wollten den Wünschen der Verbraucher nach mehr „Qualität“ nachkommen und haben Marken- und Qualitätsfleischprogramme auf den Markt gebracht, die ihren Erfolg im Aufbau eines Qualitätsmanagementprogrammes begründen. Zu diesem Zweck sind jedoch auch schnelle und aussagekräftige Mess-techniken zur Erfassung der Qualitätsmerkmale nach dem Schlachten erforderlich, die am sinnvollsten in Abhängigkeit voneinander zu betrachten sind (SCHWÄGELE, 1993). An frisches Fleisch werden hellrote bis rote Farbe, deutliche Marmorierung, kein PSE- oder DFD-Fleisch und weiße Farbe des Specks als sensorische, also als subjektive Anforderungen, gestellt. Hinzu kommen Anforderungen an die ernährungsphysiologischen, hygienisch-toxikologischen und an die verarbeitungstechnischen Eigenschaften (N.N., 2002 a). Die Arbeitsgruppe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft kommt zu dem Schluss, dass die Fleischbeschaffenheit primär durch die Rasse, bzw. die genetische Konstellation determiniert wird. Dabei ist der MHS-Status von größter Bedeutung. Er stellt das verbindende Element zwischen Zucht, Aufzucht, Mast und Fleischbeschaffenheit (N.N., 2002 a). Im Rahmen der wirtschaftlichen Aspekte der Fleischqualität wird argumentiert, dass eine Erhöhung des Schlachtgewichtes mit einer Zunahme des muskulären Fettanteiles (MFA), aber mit einem Absinken des pH_1 verbunden ist. Dies führt wegen der alleinigen Bezahlung nach MFA dazu, dass mit zunehmendem pH_1 -Wert, also mit einer Verbesserung der Fleischbeschaffenheit, die Erlöse reduziert werden. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit der Schweineerzeugung durch die Produktion von Schweinen mit guter Fleischbeschaffenheit ungünstig beeinflusst.

Nach FELDHUSEN et al. (1987 b) ist es für die Be- und Verarbeitung von Bedeutung, dass die Qualitätseinstufung des Koteletts ebenso auf die des Schinkens anzuwenden ist. Bei ungefähr 20 - 40% der Tiere weist die Fleischbeschaffenheitsbewertung keine Übereinstimmung auf. Aus diesem Grund sollte eine Fleischqualitäts-

einstufung bei beiden Muskeln vorgenommen werden. Unterschiede können Hinweise für gezielte züchterische und schlachttechnologische Maßnahmen geben. Eine Definition der Parameter der Fleischqualität, die allen Interessengruppen bzw. allen Anforderungen gerecht wird, ist jedoch nach der Untersuchung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft schwer zu finden. Jede Verbrauchergruppe wird subjektiv unterschiedliche Ansprüche stellen und zu einer unterschiedlichen Wertschätzung des gleichen Produktes und damit einer unterschiedlichen Beurteilung derselben Parameter kommen (N.N., 2002 a). Auf die Erfassung und Beurteilung von Qualitätsmerkmalen hygienischer Natur wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

2.2.2 Qualitätsabweichungen bei der Fleischreifung

2.2.2.1 PSE

Die ersten wissenschaftlichen Berichte über wässriges Schweinefleisch, das ungewöhnlich blass aussieht und einen hohen Wasserverlust hat, vor allem wenn es angeschnitten ist und zum Verkauf bereit liegt, stammen aus dem 19. Jahrhundert (WISMER-PEDERSEN, 1966). Da der Kohlenhydratstoffwechsel nach der Entblutung unter anaeroben Bedingungen auf der Stufe der Milchsäurebildung endet, kommt es zur Anhäufung dieses Metaboliten bei gleichzeitigem Abfall des pH-Wertes, der innerhalb einer Stunde Werte von 5,4 erreichen kann. Diese rasche Bildung von Milchsäure in PSE-Muskeln post mortem ist an einen stark erhöhten Umsatz des zellulären Energieträgers Adenosintriphosphat gekoppelt, der wiederum voraussetzt, dass Muskeln mit Neigung zu PSE-Eigenschaften auch in der Lage sind ATP schneller zu synthetisieren als normale Muskulatur (SCHWÄGELE, 1994). Durch verstärkten Ablauf dieses insgesamt exothermen Prozesses erhöht sich die Temperatur in der Muskulatur, so dass es bei Temperaturen oberhalb von 34 - 35°C und pH-Werten zwischen 5,3 und 5,5 zu Membranschädigungen und zur Denaturierung von myofibrillären und sarkoplasmatischen Proteinen kommt. Die resultierende Fleischqualität ist gekennzeichnet durch die Eigenschaft „blass, weich und wässrig“, das heißt, infolge der genannten physiologischen Abläufe erhält man PSE (SCHWÄGELE, 1994). Dieses PSE-Fleisch (pale-soft-exudative) findet man häufig bei Schweinen, jedoch sehr selten bei Rindern (SCHWÄGELE, 1993).

Erste Anzeichen für eine von der Norm abweichende Stoffwechselsituation findet man am lebenden Tier. Anzeichen dafür sind eine erhöhte Körpertemperatur und die Ansammlung von Laktat im Muskelgewebe durch eine verstärkte anaerobe Glykolyse. Durch die azidotische Belastung entstehen mikrostrukturelle Änderungen im Muskelgewebe, die als eine beschleunigte Nekrobiose in Form eines degenerativen Ödems interpretiert werden können. Degenerative Änderungen wurden an Proteinen, Membranen und an komplexen Strukturen wie Kapillaren nachgewiesen (LAUBE, 2000). Sie gehören zu dem von BICKHARDT et al. (1972) beschriebenen Symptomkomplex der „Belastungsmiopathie des Schweines“. Diese Veränderungen des Verhaltens und der Muskulatur, bekannt auch als Porcines Stress Syndrom, sind Vorläufer der Entwicklung von PSE im Schlachtkörper und deuten darauf hin, dass die Entstehung von PSE-Fleisch wesentlich von den äußeren Bedingungen und dem physiologischen Zustand der betroffenen Muskeln vor der Schlachtung beeinflusst wird. Eine hohe Intensität der anaeroben Glykolyse in den Muskelzellen und damit auch ihr Glykogengehalt beim Schlachten sind die entscheidenden Kriterien für die Entstehung der PSE-Eigenschaften. Schweine mit geringerem Fett- aber sehr großem Muskelanteil weisen deutlich häufiger PSE-Veränderungen auf als fetttere Tiere.

Das in Deutschland gesetzlich verankerte Klassifizierungsverfahren, durchgeführt mit einer Messsonde, berücksichtigt nur die Rückenspeckdicke und die Muskelfülle. Daher können Schlachttierkörper der guten Qualitätsklasse „E“ trotz PSE hohe Erlöse erzielen, was indirekt das Auftreten von PSE-Beschaffenheit begünstigt (KLEIBEL et al., 1983). In der Verarbeitung ist PSE-Fleisch nicht unproblematisch (N.N., 2003 c), da dieses Fleisch durch das geringe Saffthaltevermögen, die mangelhafte Wasseraufnahme und die Substanzverluste nicht zu gekochter Pökelfleisch (Kochschinken, Kassler) und nur bedingt zu roher Pökelfleisch verwendet werden kann. Gut geeignet, vor allem in Verbindung mit Rindfleisch, ist PSE-Fleisch jedoch zur Herstellung von Brüh- und Rohwürsten. Am Häufigsten ist bei PSE der M. long. dorsi, seltener der M. semimembranosus betroffen. HOFMANN (1987) beschreibt die Gründe für die begrenzte technologische Eignung von PSE- und DFD-Fleisch als Resultat der typischen Eigenschaften dieser Fleischqualitätsmängel. Er betont ebenso, dass PSE-Fleisch wegen seines geringen Wasserbindungsvermögens nicht geeignet für die Herstellung von Brühwurst und Kochschinken (starker Geleeabsatz) und Rohschinken (hoher Trocknungsverlust, blasse Farbe) sei. Die Entscheidung für ein bestimm-

tes Hilfskriterium muss sich letztlich am Zweck der vorgesehenen Qualitätsuntersuchung orientieren. Deshalb ist genaueste Auskunft über den vom Tier "mitgelieferten" PSE-Status (Genetik, Vorbehandlung) mit dem pH₁-Wert zu erhalten, weil dieser noch den ursächlichsten Bezug zur Stoffwechselsituation des Tieres vor und bei der Schlachtung hat (FISCHER, 2000 a). Gemäß BRANSCHIED et al. (1998) führen Adrenalingaben 15 - 30 Minuten ante mortem zu einer Verlagerung der erhöhten Glykolyse in den früh-postmortalen Zeitraum und somit zu einer überstürzten Fleischsäuerung (niedriger pH-Wert 45 Minuten p.m. – PSE-Fleisch). Muskulatur mit überstürzter Glykolyse zeige bereits 1 h p.m. eine fortgeschrittene Degeneration der myofibrillären Struktur. Daher trete postmortal keine wesentliche Verbesserung der Zartheit auf (KÜHNE et al., 1992). Fleischbeschaffenheitsmängel in Form von PSE-Fleisch werden beim Verzehr höchstens in der Tendenz als eine Beeinträchtigung der sensorischen Eigenschaften empfunden. Es sei deshalb nicht verwunderlich, dass die Fleischbeschaffenheit bei den Qualitätsanforderungen der Verbraucher eine untergeordnete Rolle spielt (N.N., 2002 a).

In der Literatur sind immer wieder Berichte über Qualitätsabweichungen, die nicht in das bekannte Erscheinungsbild von PSE und DFD passen, zu finden. Dabei hat die sogenannte RSE-Kondition (reddish, soft, exudative), bei der erwünschte rote Farbe und erhöhte Wässerigkeit kombiniert sind, wegen der damit verbundenen überdurchschnittlichen Kühl- und Lagerverluste durchaus wirtschaftliche Bedeutung. Daneben wird aber auch blasse Farbe bei normaler Wasserbindung (PFN – pale, firm, non-exudative) beobachtet. Die Bedeutung für die deutsche Schweinepopulation scheint derzeit noch unklar (FISCHER et al., 2002 c).

2.2.2.2 DFD

Sind die in der Muskulatur in Form von Glykogen vorliegenden Energiereserven bereits vor dem Schlachten so gut wie verbraucht, z.B. durch längere Nüchternung oder extreme Stresssituationen in Verbindung mit Erschöpfungszuständen, so kann p.m. nur wenig Milchsäure produziert werden, und der pH-Wert sinkt nur noch geringfügig auf Werte über 6,2 ab. Bei Rinderhälften spricht man auch von „dark cutting beef“ (DCB), vor allem wegen seiner dunklen Farbe beim Anschnitt der Muskulatur. Dieses

Fleisch ist wegen seiner „Leimigkeit“ und seines faden Geschmacks unerwünscht. Vor allem aber wegen seiner verminderten Haltbarkeit, die mikrobielles Wachstum durch den hohen pH-Wert begünstigt (FRIES, 1992; SCHWÄGELE, 1993 und 1999; AUGUSTINI et al., 1981). Die AVV-Fleischhygiene (N.N., 2002 b) sieht hier den Grenzwert bei $\text{pH}_{\text{ult}} > 6,2$ (Messung 24 h p.m.).

Umfangreiche Untersuchungen am Schwein zeigten, dass sich durch Adrenalininjektionen 2 - 24 Stunden ante mortem DFD-Fleisch hervorrufen lässt. Die durch Adrenalin vermittelte Beschleunigung der Glykogenolyse führte in diesem Falle zur Erschöpfung der Energiereserven zum Zeitpunkt der Schlachtung und damit zur für DFD-Fleisch charakteristischen, ungenügenden Säuerung des Fleisches, also zu einem hohen End-pH-Wert (BRANSCHIED et al., 1998). So weist BICKHARDT (1992) darauf hin, dass die Ausbildung von DFD-Fleisch eine Manifestation einer Belastungsmyopathie ist.

DFD-Fleisch ist wegen seiner Anfälligkeit für mikrobiellen Verderb (hoher pH-Wert in Verbindung mit hohem Wasserbindungsvermögen) nicht zur Herstellung von Rohschinken geeignet, vor allem jedoch nicht für Knochenschinken (HOFMANN, 1987). Auch DFD-Fleisch mit einem $\text{pH}_{\text{ult}} > 6,0$ ist nur bedingt zur weiteren Verarbeitung geeignet. Hier kommt vor allem die Produktion von Brüh- und Kochwürsten in Betracht, auf Grund der reduzierten Haltbarkeit ebenfalls nicht die Produktion von roher Pökelware oder vakuumverpackter Rohware (N.N, 2003 c). Im Allgemeinen ist bei DFD der ganze Schlachttierkörper betroffen, insbesondere aber der Schinken. Hinsichtlich der Häufigkeit des Vorkommens verhält es sich bei DFD (dark-firm-dry = dunkel-fest-trocken) umgekehrt wie bei PSE: Sein Vorkommen findet sich häufig bei Rindern, vor allem bei Jungbullern, jedoch sehr selten beim Schwein (SCHWÄGELE, 1993 und 1999).

2.2.2.3 Cold-shortening

Eine möglichst rasche Kühlung ist in der Praxis erwünscht, da zum Einen das Wachstum von Mikroorganismen stark gehemmt und zum Anderen die Gewichtsverluste durch Verdunsten des Wassers aus der Fleischoberfläche herabgesetzt wer-

den. Dazu ermöglichen schnelles Kühlen und Einfrieren eine bessere Auslastung der Kühlraumkapazitäten und sind damit von großem betriebswirtschaftlichem Interesse.

Die starke Verkürzung bestimmter Muskeln bei rascher Kühlung wird als Cold-shortening bezeichnet. Sie dürfte auf einer Inaktivierung der Calciumpumpe und auf einer Erhöhung der Permeabilität der Membranen des Sarkoplasmatischen Retikulums (SR) für Ca^{2+} bei tieferen Temperaturen (zwischen etwa 10°C und -1°C) beruhen. Cold-shortening bewirkt eine hohe Zähigkeit des Fleisches, die auch durch anschließende Reifung nicht mehr rückgängig gemacht werden kann (HAMM, 1979). HONIKEL (2002 b) beschreibt, dass es unter $+6^{\circ}\text{C}$ Muskeltemperatur zu einem Anstieg des postmortalen Metabolismus kommt. Bei diesen Muskeln tritt Cold-shortening auf, wenn der pH-Wert des Muskels bei dieser Temperatur noch 6,2 beträgt.

Diese Kältekontraktion steht in engem Zusammenhang mit der Geschwindigkeit der biochemischen Vorgänge in der Muskelzelle. Bei Senkung der Temperatur von 24°C auf etwa 10°C nimmt die Geschwindigkeit der Glykolyse ab. Bei einem weiteren Temperaturabfall nimmt sie jedoch wieder rasch zu. Bei -1°C liegt ein ausgeprägtes Maximum vor. Durch Gefrieren werden die postmortalen enzymatischen Prozesse stark gehemmt. Das Ausmaß der Verkürzung ist umso geringer, je langsamer der ATP-Abbau p.m. vonstatten geht, wobei bei einem muskulären Gehalt von 10^{-8} Mol Ca^{2+} keine Kälteverkürzung mehr eintritt (HAMM, 1979). Das Phänomen des Cold-shortening findet sich vor allem in roter Muskulatur (HONIKEL, 1979). BENDALL (1972) zeigte auf, dass bei Temperaturen von unter 11°C und bei einem $\text{pH} > 6,2$ der für das Auftreten des Cold-shortening kritische Bereich beginnt, während PRÄNDL et al. (1988) einen Grenzwert von 14°C Fleischtemperatur vor Erreichen des Rigor mortis festsetzen. SCHWÄGELE (1999) gibt Cold-shortening für den Fall an, dass vor Eintritt des Rigor mortis eine Temperatur von 15°C im Fleisch erreicht wird. Dabei kann eine Verkürzung des Muskels bis auf ca. die Hälfte seiner ursprünglichen Länge erreicht werden.

2.2.2.4 Hampshire Faktor

Es ist heutzutage allgemein bekannt, dass die amerikanische Rasse Hampshire sehr spezifische Charakteristiken bezüglich des glykolytischen Potentials und den damit zusammenhängenden Eigenschaften aufweist. Die Besonderheiten der Hampshireschweine (erhöhter Glykogengehalt im Muskel, tiefer End-pH, und erhöhter Kochverlust) sind seit den Jahren 1960 - 1970 in den Vereinigten Staaten und in Frankreich beschrieben worden (SAYRE et al., 1963; HEDRICK et al., 1968; SELLIER und JAQUET, 1973). Sie wurden in der Folge als Hampshire-Effekt (MONIN et al., 1984), bzw. verallgemeinert als „viande acide“ (NAVEAU, 1986) oder auch als „Acid meat“ bezeichnet.

Der Hampshirefaktor ist gekennzeichnet durch einen verspäteten postmortalen pH-Wert Abfall. Dieser führt bei Hampshireschweinen und deren Kreuzungen trotz hervorragender frühpostmortaler pH- und Leitfähigkeitswerte, spätpostmortal (pH_{24}) zu auffallend niedrigen End-pH-Werten und deutlich schlechteren Kochpöckeeigenschaften (durch verringerte Wasserbindung). Die Hampshireschweine und deren Kreuzungen weisen in der Muskulatur ein erhöhtes Glykolytisches Potential auf, wodurch der End-pH-Wert ein niedrigeres Niveau („Acid meat“) als bei Vergleichstieren ohne Hampshire-Anteil erreicht. Die hohen Verarbeitungsverluste bei der Kochschinkenherstellung (RN = Rendement Napole, ein Hilfsmerkmal zur Abschätzung der Kochschinkenausbeute) sind auf den höheren Glykogengehalt (+70% in der weißen Muskulatur), den geringeren Proteingehalt (-1%) und den niedrigen End-pH-Wert in der Muskulatur zurückzuführen (LAUBE, 2000).

2.2.3 Einfluss der Kühlung auf die Fleischqualität

Das richtige Kühlen des Fleisches und die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Lagertemperaturen sind, nicht nur, um dem Wachstum von Mikroorganismen auf der Oberfläche vorzubeugen, von großer Wichtigkeit. Die Kühlung wirkt sich auch auf die sensorischen und verarbeitungstechnologischen Eigenschaften aus (KLETTNER, 1996). Der Kühlprozess sollte aber so ablaufen, dass der Abfall der Temperatur im Tierkörper bis zum Erreichen der erforderlichen Temperatur auf den pH-Wert-Abfall

abgestimmt ist. Das heißt folgerichtig, dass beim Schwein schneller gekühlt werden kann und muss. Effiziente Kühlanlagen in den Schlachthäusern ermöglichen dies ohne Probleme, bergen jedoch die Gefahren des oberflächlichen Gefrierens und des Cold-shortenings (Kap. 2.2.2.3). Dies hätte eine erhebliche Minderung der Fleischqualität in Bezug auf das WBV, die Zartheit und die Konsistenz zur Folge (KLETTNER, 1994).

Die im Muskel vorherrschende Temperatur hängt im Wesentlichen mit den biochemischen Abläufen nach dem Entbluten zusammen. Je niedriger die Temperatur ist, desto langsamer sind die chemischen Vorgänge wie Glykolyse, Glykogenolyse, Proteolyse, u.s.w. (SCHWÄGELE, 1993). Da die Geschwindigkeitskonstanten chemischer Reaktionen in einem natürlich logarithmischen Zusammenhang mit der Temperatur stehen, können schon geringe Temperaturerniedrigungen die Geschwindigkeitskonstanten bei chemischen Reaktionen um ein Vielfaches herabsetzen (KARLSON, 1988). Je rascher der pH-Wert Abfall erfolgt, desto mehr Wärme wird produziert, das heißt bei rascherem pH-Wert-Abfall, wie er im PSE-Muskel geschieht, steigt die Temperatur an, die unter physiologischen Bedingungen bei 38,5 - 39,0°C liegt (HONIKEL et al., 1995). Aus den genannten Gründen ist es wichtig, eine schnelle Glykolyse, die mit der Entwicklung des „PSE-Syndroms“ verbunden ist, durch eine effiziente Kühlung zu verlangsamen (SCHWÄGELE, 1993 und 1999). Nach HOFMANN (1987) verlangsamt Kühlen und stoppt Gefrieren die Veränderungen im Fleisch. Diese Kühlung sollte unabhängig vom Schlachtvorgang überwacht werden. Hierfür stehen einfache Methoden zur Verfügung, wie die Messung mit einem Einstichthermometer oder auch die Messung mittels einem Logger, der im Fleisch verbleibt und später elektronisch ausgelesen bzw. ausgewertet werden kann (SCHWÄGELE, 1993).

Die CMA (N.N., 1991) hat für die Kühlung der Schweineschlachtkörper im Schlachtbetrieb folgende Temperaturrichtwerte festgelegt: Bei Messungen im Schinken sollte sie 1,5 h p.m. $\leq 34^{\circ}\text{C}$ betragen, 4 h p.m. zwischen 10°C und 20°C und 24 h nach der Schlachtung bereits unter der gesetzlich vorgeschriebenen Mindesttemperatur von 7°C liegen. Für Schweinerassen mit durchgehend langsamem pH-Wert-Abfall ($\text{pH}_{1,5} > 6,1$) kann der Messwert nach 1,5 h auf $35 - 36^{\circ}\text{C}$ angehoben werden. Ein Transport darf erst nach Erreichen einer Innentemperatur von höchstens 7°C erfol-

gen. In der Folge erfordert die Kühlkette die Einhaltung dieser Mindesttemperatur. Bei Rindfleisch muss die gesetzlich vorgeschriebene Temperatur (N.N., 2001) nach spätestens 36 h erreicht sein, eine Kaltzerlegung sollte frühestens ebenfalls 36 h p.m. erfolgen.

SCHWÄGELE (1992 b) beschreibt, dass eine vorgeschaltete Schockkühlperiode die Temperatur im Kotelettinneren von Schweinefleisch um durchschnittlich 24°C auf 16°C innerhalb von 130 min nach dem Schlachten absenkt, wenn nach ca. 40 min p.m. mit dem Kühlen begonnen wird. Bei herkömmlicher Kühlung findet sich jedoch nur eine Absenkung um 9°C auf 29°C im gleichen Zeitraum. Die Kerntemperaturunterschiede im Schinken sind bei dieser Kühlung mit 3°C viel geringer, wobei der Schinken eine wesentlich größere Muskelfülle aufweist. Auch die Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit hängt sehr stark von der Kühlmethode ab. Das effizientere Schockkühlen wirkt sich ganz entscheidend auf die Entwicklung der Leitfähigkeit aus (Kap. 2.2.7.3).

Um negative Auswirkungen auf die Zartheit von Schweinefleisch zu vermeiden, muss ein Absinken der Fleischtemperatur unter 10°C post mortem vor Eintritt des Rigors verhindert werden. Diese Geschwindigkeit ist aber immer noch zu groß für Muskeln mit langsamer Glykolyse. Deshalb wird insgesamt eine 5-stündige Lagerperiode von Karkassen mit einem pH-Wert im M. long. dorsi > 6,2 bei 15°C befürwortet. Hat der Muskel zum Zeitpunkt des Entbeinens (Warmentbeinen) einen pH > 6,6, so sind diese dann sofort gekühlten Schweinelenden signifikant zäher als kalt entbeinte Kontrollen. Bei einem pH von 6,2 ist die Zartheit von warm und kalt entbeinten Lenden ähnlich (SMULDERS und van LAACK, 1998). BENDALL (1978) empfiehlt bei Rindfleisch eine Verwahrung der Tierkörper bei 12°C für 12 Stunden. Nach FISCHER (2000 b) sind hinsichtlich seiner Dateninterpretation ebenfalls die exogenen Effekte zu beachten, die sich direkt auf die Gewebetemperatur nach der Schlachtung auswirken, also insbesondere die Kühlbedingungen. Er folgt, dass ein PSE-verdächtiger pH₁-Wert (45 min p.m.) zu einer unterschiedlich starken Ausprägung von PSE-Fleisch führen kann. Deshalb lassen sich pH₁-Werte in ihrer Auswirkung auf Sekundärmerkmale, wie Leitfähigkeit, Farbe und Wasserbindung nur unter ähnlichen Schlacht- und Kühlbedingungen vergleichen.

GARRIDO und HONIKEL (1995) betonen ebenfalls die Notwendigkeit das Kühlverfahren bei der Festlegung von pH-Grenzwerten zu berücksichtigen. Die dann getroffenen Aussagen gelten jedoch nur für den Muskel, in dem der pH-Wert gemessen wird, keinesfalls für allen anderen Muskeln des Schlachttierkörpers (HONIKEL, 1993). Ebenso finden FELDHUSEN et al. (1987 b) und GRESHAKE et al. (1988), dass Geschwindigkeit, Dauer und pH-Veränderungen den Grad und die Reversibilität der strukturellen Differenzierungen bestimmen, und dass Möglichkeiten, in diesen Prozess regulierend einzugreifen nur über eine schnelle Senkung der Fleischtemperatur nach der Schlachtung bestehen. Auch HONIKEL (1999) beurteilt den Anfangs- und End-pH-Wert und die Kühlgeschwindigkeit nach dem Schlachten als entscheidenden Faktor für die Fleischqualität. Soll das Fleisch eingefroren werden, so ist eine hohe Einfriergeschwindigkeit für die Aufrechterhaltung des Wasserbindungsvermögens günstiger als langsames Einfrieren, da bei langsamem Gefrieren und anschließender Entfernung des Eises durch Sublimation im Vakuum im Gewebe größere Hohlräume entstehen (HAMM, 1972).

2.2.4 Einfluss der Rasse auf die Fleischqualität

Der Züchter möchte zu einem möglichst frühen Zeitpunkt Informationen über die Stressanfälligkeit und damit über den zu erwartenden Fleischbeschaffenheitsstatus seiner Tiere. Im Rahmen der Eigenleistungsprüfung kommt heute in erster Linie der MHS-Gentest (Malignes Hyperthermie Syndrom) zur Anwendung. Er ermöglicht, vor allem gegenüber den bisherigen Testverfahren Halothan- und CK-Test, eine Unterscheidung von rein- und mischerbigen Merkmalsträgern. Das Gen für MHS wird rezessiv vererbt, die Bestimmung erfolgt mittels Ohrgewebe oder Blut im Labor. Hierbei sind nur reinerbige PP-Merkmalsträger stressanfällig (N.N., 2003 c).

SCHWÄGELE (1993) stellt fest, dass beim Vergleich der Messungen des pH-Wertes an unzerlegten Schweineschlachttierkörpern bei einer Kühltemperatur von 1°C folgende Unterschiede deutlich werden: Im Kotelett gemessene pH-Werte (40 min p.m.) ergeben bei Schweinen, die aus dem Qualitätsfleischprogramm stammen, signifikante Differenzen von ca. 0,6 Einheiten ($\text{pH}_1 = 6,2$) gegenüber Schweinen aus herkömmlicher Mast und Rasse ($\text{pH}_1 = 5,6$). Nach weiteren 2 Stunden wurden im Kote-

lett der herkömmlichen Schlachttierkörper bereits die End-pH-Werte erreicht, während im Qualitätsfleisch mittlere pH-Werte von ca. 5,8 gemessen wurden. Die Temperaturen betragen zu den Messzeitpunkten 40 bzw. 28°C. Daraus folgert er, dass bei gleichen Schlacht- und Kühlbedingungen Faktoren der Rassen und der Aufzucht sehr gut darzustellen sind.

Im Zusammenhang mit dem Auftreten von Fleischbeschaffenheitsmängeln wurde beim Schwein experimentell bewiesen, dass eine Selektion auf geringen Fettansatz negativ auf die Höhe der Insulinsekretion wirkt. Rassen bzw. Linien mit verringertem Fettbildungsvermögen weisen signifikant verringerte Insulinspiegel auf. Schweine mit eingeschränkter Insulinsekretion bilden häufiger PSE-Fleisch aus (BRANSCHIED et al., 1989). Alle zur Fleischgewinnung genutzten Haustiere sind in einem langdauernden Züchtungsprozess auf eine starke Zunahme des Skelettmuskelanteils am Gesamtkörper selektiert worden. Darüber hinaus erfolgte innerhalb der Tierarten eine starke Typdifferenzierung, orientiert an Verbraucheranforderungen. Diese selektiven Eingriffe durch den Menschen haben zu Verschiebungen auch im Bereich hormoneller Regelkreise geführt, die sich als Rassenunterschiede z.T. nachweisen lassen. Unterschiede in der Konstitution tragen demzufolge über die ihr zugrundeliegenden Differenzen in hormonellen und metabolischen Prozessen mit zur Variabilität der Fleischqualität bei. Interessant ist auch die Beziehung zwischen männlichen, weiblichen und kastrierten Schlachtschweinen in Bezug auf die Fleischqualität: Hier werden im Allgemeinen bei Schlachtschweinen keine signifikanten Differenzen in der Häufigkeit von Fleischbeschaffenheitsabweichungen gefunden (BRANSCHIED et al., 1998). Dagegen ist ein Einfluss des Testosterons bei Ebern auf die Fleischqualität vorhanden, der sich durch die gesteigerte Proteinsynthese in der geweblichen Zusammensetzung des späteren Produktes Fleisch manifestiert (höherer Eiweißanteil, weniger inter- und intramuskuläres Fett) (BRANSCHIED et al., 1998; BEATTIE et al., 1999).

Die LPA Köllitsch (N.N., 2002 a) führte in den Jahren 1996 - 1999 eine Stationsprüfung durch. Der durchschnittliche pH₁-Wert der Pietrain Nachkommen von 6,00 bei einer sehr geringen Streuung ließ sich gegenüber Fleisch-Large-White (FL) mit einem pH von 6,30 und Duroc (6,38) statistisch sichern. Entsprechend hatten die Duroc-Nachkommen mit dem höchsten pH₁-Wert auch die beste Fleischfarbe und lagen in der Zartheit deutlich über den Rassen FL und Pietrain. Dabei muss erwähnt wer-

den, dass in dem Versuch mit den Pietrain-Ebern nur homozygote MHS-Genotypen eingesetzt wurden. Dem hohen Muskelfleischanteil der Tiere der Rasse Pietrain stehen die schlechteren Parameter der Fleischbeschaffenheit gegenüber. Im Unterschied zu den Mast- und Schlachtleistungen hatte nur die Rasse einen statistisch gesicherten Einfluss auf die Fleischbeschaffenheitsmerkmale. Das Geschlecht, der Vater sowie der Betriebs-Jahres-Quartalseffekt spielten keine Rolle.

Littmann und seine Mitarbeiter (N.N., 2003 b) beschreiben im 5. Stichprobentest in Bayern, dass pH₁-Werte zwischen 5,6 und 5,8 von einigen Autoren bereits als PSE eingestuft werden, zumindest bestünde in diesem Bereich ein PSE-Verdacht. Sie untersuchten Nachkommen der Camborough 26-Sau (PIC) und Bayernhybrid-Sau (BayHyb), bei beiden mit der Vaterrasse Pietrain. Sie kamen zu folgenden Ergebnissen:

pH ₁ Kotelett	BayHyb	PIC	Gesamt
< 5,6 (PSE)	0,5	0,5	0,5
5,60 - 5,80	1	4	2,5
5,81 - 6,00	11,7	11,4	11,6
> 6,00	86,8	84,1	85,4

Tabelle 1: 5. Stichprobentest in Bayern, PSE-Verteilung in %, (N.N., 2003 b)

Im gesamten Durchschnitt der untersuchten Schlachtschweine fallen demzufolge 3% unter den kritischen Bereich pH₁ < 5,8. Eindeutige Eigenschaften von PSE-Fleisch finden sich anteilig nur bei 0,5% aller untersuchten Tiere. Anzeichen von DFD weisen 0,3 % der Tierkörper auf, 99,7% der Schlachttiere liegen unterhalb eines pH₁ von 6,20 und zeigen somit keine DFD-Eigenschaften (Tab. 2).

pH ₁ Schinken	BayHyb	PIC	Gesamt
> 6,20 (DFD)	0,5	0	0,3
6,00 - 6,20	0,5	1	0,7
< 6,00	99	99	99

Tabelle 2: 5. Stichprobentest in Bayern, DFD-Verteilung in %, (N.N., 2003 b)

Eingeschlossen war ebenfalls eine Prüfung der Verteilung des MHS-Status der Probanden. Bei beiden Herkünften wurden keine stressempfindlichen Tiere mehr ermittelt. Man kann daher davon ausgehen, dass die Sauengrundlage beider Herkünfte reinerbig stressresistent ist (Tab. 3). Die beobachteten Unterschiede sind vermutlich auf die eingesetzten Pietraineber zurückzuführen.

MHS-Status	BayHyb	PIC
NN	28,9	22,4
NP	71,1	77,6
PP	0	0

Tabelle 3: 5. Stichprobentest in Bayern, MHS-Status der Prüftiere in %, (N.N., 2003 b)

Die Auswertung des pH₁ im Kotelett bezüglich des MHS-Status ergab bei reinerbig stressresistenten Tieren nochmals eine Verbesserung. In der folgenden Tabelle zeigen 96,5% der reinerbig stressresistenten BayHyb-Tiere einen pH-Wert von >6,00 und reinerbige Stressresistenz (Tab. 4), der Anteil an reinerbig stressresistenten Tieren der PIC-Tiere liegt bei 95,6%.

pH ₁ Kotelett	BayHyb		PIC	
	NN	NP	NN	NP
< 5,60 PSE	0	0,7	0	0,6
5,60 - 5,80	0	1,4	4,4	3,9
5,81 - 6,00	3,5	15	0	14,7
> 6,00	96,5	82,9	95,6	80,8

Tabelle 4: 5. Stichprobentest in Bayern, Herkunftsvergleich nach MHS-Status in %, (N.N., 2003 b)

Im 4. Forchheimer Stichprobentest für das Hybridzuchtprogramm 2002 (N.N., 2003 c) wurden für den pH₁ bei Kastraten ein Wert von 6,21, für weibliche Tiere ein Wert von 6,27 gemessen. Daraus folgt ein Gesamtdurchschnittswert von 6,24 im Kotelett. Der pH₁ im Schinken (*M. semimembranosus*) ergab einen Wert von 6,29 bei Kastraten,

6,31 bei weiblichen Tieren und einen Gesamtwert von pH_1 6,30. Die Leitfähigkeit 20 h p.m. lag bei Kastraten bei 6,20, bei weiblichen Tieren bei 5,70, woraus ein Gesamtwert von 5,9 resultierte. LOOSER und seine Mitarbeiter (N.N., 2003 c) nehmen dabei Bezug auf die gemeinsamen Stichprobentests in Bayern und Baden-Württemberg die noch andere Zahlen ergaben (Tab. 5):

Merkmal	PI*DL	PI*BW-Hyb	PI*Schaumann
pH_1 Kotelett	5,75	6,05	5,92
pH_1 Schinken	6,02	6,34	6,17
LF_2 Kotelett	8,1	6,0	6,9

Tabelle 5: Ergebnisse des gemeinsamen Stichprobentestes 1993, Qualitätsmerkmale in Bezug auf die Rasse, (N.N., 2003 c)

Dabei handelt es sich bei PI*DL um Kreuzungsprodukte der Rasse Piétrain und der Deutschen Landrasse. BW-HYB bezeichnet das Hybridmastendprodukt Baden-Württemberg und Schaumann das Endprodukt PI*Hülsenberger Zuchtschwein. Die Ergebnisse des Stichprobentestes (N.N., 2003 c) wurden auch in Abhängigkeit zum MHS-Status ausgewertet (Tab. 6):

Merkmal	NP	PP
pH_1 Kotelett	6,10	5,56
pH_1 Schinken	6,35	5,83
pH_{Ult} Kotelett	5,43	5,44
pH_{Ult} Schinken	5,57	5,58

Tabelle 6: Ergebnisse des gemeinsamen Stichprobentestes 1993, MHS-Status (N.N., 2003 c)

Aus den obigen Untersuchungen wird der züchterische Anspruch zur Erlangung eines Zuchtschweines ersichtlich, das trotz guter Fleischfülle ebensolche Parameter der Fleischqualität aufweist und dessen Erfolg im Laufe des letzten Jahrzehnts eintrat (höhere pH_1 -Werte und die Absenkung der elektrischen Leitfähigkeit bei allen Kreuzungen). Nach einer im Jahre 2002 durchgeführten Studie der sächsischen Lan-

desanstalt für Landwirtschaft (N.N., 2002 a) ist die bessere Wirtschaftlichkeit der Pietrain-Kreuzungen auf den höheren Erlös, bedingt durch den besseren Magerfleischanteil, zurückzuführen. Die höhere Fleischqualität der Duroc-Nachkommen findet entsprechend dem EUROP-System keine Vergütung. Zur Rasse Fleisch-Large-White gibt es in der Mehrzahl der Parameter zu Duroc keine signifikanten Unterschiede. Etwa ein Drittel der Endprodukte der eingesetzten MHS-reinerbigen Pietrain-Eber waren als PSE-gefährdete Schlachtkörper mit Fleischqualitätsmängeln einzustufen (N.N., 2002 a). HONIKEL et al. (1995) fand die Verteilung der pH₄₅ Werte sowohl beim M. semimembranosus als auch im M. long. dorsi sehr breit gestreut (pH = 5,3 - 6,9). Während Tiere der spanischen Landrasse im M. long. dorsi den ganzen Bereich überspannten, wurden bei den deutschen Schweinen zwei Gruppen im pH₄₅ (Messung 45 min p.m.) deutlich:

- BHZP-Schweine: 5,9 - 7,0
- DL*Pietrain: 5,3 - 6,2.

Setzt man wiederum einen Grenzwert von 5,8 als Grenze zwischen Normalfleisch und PSE, dann war in der BHZP-Gruppe mit keinem PSE-Rückenmuskel zu rechnen. Bei DL*Pietrain dagegen besaßen 75% der Rückenmuskeln die Anlage zu PSE-Fleisch. Bei den spanischen Schweinen zeigten 25% der Tiere nach 45 min Temperaturen unter der physiologischen Körpertemperatur. Diese Proben wiesen einen pH > 5.8 im M. semimembranosus auf.

2.2.5 Einfluss des Transportes und der Standzeit auf die Fleischqualität

Zu der Fragestellung nach den Einflüssen des Transportes auf die Schweinefleischqualität führten PEREZ et al. (2002) umfangreiche Untersuchungen durch. Sie fanden die Konzentrationen von Cortisol und Laktat im Blut nach drei Stunden Transportzeit signifikant niedriger als nach nur 15 Minuten, was für eine gewisse Erholung der Schweine auf dem Transportfahrzeug spricht. In die gleiche Richtung wiesen auch die Werte des pH-Wertes. Nach einer Ruhezeit am Schlachthof von 2 - 4 Stunden waren diese Unterschiede wieder ausgeglichen. Es bestätigte sich, dass in bestimmten Grenzen die Begleitumstände des Transportes für die Fleischqualität entscheidender sind als die Dauer eines Transportes. Hierbei muss vor allem auf für die Tiere schonende Verlade- und Treibvorgänge geachtet werden (PEREZ et al., 2002).

Von großer Bedeutung für die Fleischqualität ist auch die Art der Haltung, sowohl im Herkunftsbetrieb als auch im Schlachtbetrieb, am Anteil der Schlachttierkörper von Schweinen mit PSE-Eigenschaften. Dieser Anteil scheint nicht durch die Buchtengröße beeinflusst. WOLTERSDORF (1994) empfiehlt, für Schweine eine Ruhephase nach einer Transportdauer von 1,5 - 2 Stunden, längstens jedoch 4 Stunden. Schlachttierkörper von Schweinen die in Betrieben unter hohem Stress geschlachtet werden, weisen höhere Laktat- und Creatininphosphokinasewerte im Blut auf und zeigen höhere Leitfähigkeitswerte der Muskulatur. Einen erheblichen Anteil an diesen Abweichungen hat der Zutrieb zur Betäubung. Bei ruhigem Zutrieb verdoppelte sich die Ausschüttung von Stresshormonen, bei Anwendung von Zwangsmaßnahmen stiegen die Werte auf das Fünffache. Im Restrainer stiegen die Werte dann um das Zwölffache (WOLTERSDORF, 1994).

OWEN et al. (2000) fanden bei Schweinen, die sofort nach dem Transport geschlachtet wurden, eine um 3°C höhere Hauttemperatur und im Schinken eine um 1°C höhere Fleischtemperatur. Die Autoren folgern in ihrer Studie, dass eine Standzeit von 1 Stunde die günstigsten Effekte auf die Fleischqualität hat. Längere Standzeiten nicht nur ohne Vorteile, sondern bewirken z.T. erhebliche Verschlechterungen.

HENKE (2003) erfasst auch die Einflüsse der Transportzeit über die Messung des pH₂₄-Wertes bei Rindern. Dabei wird auf die enorme Wichtigkeit tierschutzgerechten Umgangs mit den Schlachttieren hingewiesen, also kurze Aufenthaltsdauer im Schlachthof, Einhaltung des artgemäßen Platzbedarfes, kein Mischen von männlichen und weiblichen Tieren und die Optimierung der baulichen Gegebenheiten (THIEMIG et al., 1997). HENKE fand bei ihren Untersuchungen durch zusätzliche Stopps während des Transportes einen Anstieg des pH-Wertes um 0,01 Einheiten.

Auch wenn der Genotyp den größten Einfluss auf die Fleischqualität ausübt, ist diese von der Behandlung vor dem Schlachten aber auch von der Betäubungsmethode beeinflusst. So fanden CHANNON et al. (2000) besonders bei Schweinen mit Elektrobotäubung Petechien vor allem an den Vorderextremitäten. Petechien im Schinken kamen bei häufigem Elektrotreibereinsatz in Kombination mit Elektrobotäubung auf. Zur Ermittlung ausgewählter prämortaler Einflüsse auf die Fleischqualität wurden 1535 Schweine aus 22 Erzeugerbetrieben in eine Untersuchung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft einbezogen (N. N., 2002 a). Dabei war ersichtlich,

dass eine Ausruhezeit der Tiere von 20 - 23 Stunden zu einer besseren Fleischqualität führte. Eine Ausruhezeit von 1 - 2 Stunden reichte offensichtlich nicht aus, um die Transportbelastungen zu kompensieren.

WAßMUTH (1991) untersuchte den Einfluss der Standzeit vor der Schlachtung auf das glykolytische Potential des Muskels und die Fleischbeschaffenheit bei Schweinen mit und ohne Hampshire-Genanteil. Er überprüfte, ob eine verlängerte Standzeit nach vorheriger Nüchterung bei Schweinen ohne den Hampshirefaktor zu einer Regenerierung der Energiereserven führt und nach schonender Schlachtung einen den "HF"-Tieren ähnlichen Verlauf verursacht. Dazu wurden zwei Herkünfte (LW*DL und PI*HA) mit jeweils zwei Standzeiten vor der Schlachtung (2 h und 18 h) ausgewertet. Aufgrund dieser Untersuchung kommt WAßMUTH zu dem Schluss, dass eine Verlängerung der Standzeit vor der Schlachtung in keiner der beiden Herkünfte die Gehalte an Glykogen, Glukose und Laktat sowie des resultierenden glykolytischen Potentials, im M. long. dorsi beeinflusst. Bei einer verlängerten Standzeit zeigen sich tendenziell niedrigere End-pH-Werte, LF₂₄-Werte und Wassergehalte, stark verringerte Grillverluste und höhere GÖFO- und Wasserbindungswerte. Es ist jedoch keine Beziehung von Standzeit und Herkunft ersichtlich. Die Ausprägung des "Hampshirefaktors" mit höherem glykolytischen Potential, niedrigerem End-pH-Wert und geringerem Proteingehalt ist also weitgehend unabhängig von der Standzeit.

Auch postmortale Transportfaktoren beeinflussen die Fleischqualität, gemessen an der Leitfähigkeit. Ursächlich sind hierfür Schädigungen der Zellmembranen, bedingt durch mechanischen Belastung der Schlachtkörper durch Be- und Entladung sowie Erschütterungen während des Fahrens. Diese Schädigungen sind im Schinken offensichtlich stärker, da auf diese Muskelpartien bei hängendem Transport ein höheres Eigengewicht wirkt als auf die Kotelettmuskulatur. Besonders empfindlich auf solche Einflüsse reagiert Fleisch, welches vor dem Transport bereits stärkere Läsionen der Zellmembranen aufweist (ALTMANN et al., 2000).

2.2.6 pH-Wert

Seit vielen Jahren ist die Fleischforschung bemüht, schnelle und zuverlässige Methoden für die Bestimmung der Fleischqualität zu finden, die zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Schlachten angewandt werden können. Eine Möglichkeit ist die pH-Wert-Messung 45 Minuten p.m., besonders, um PSE-Fleisch beim Schwein erkennen zu können.

2.2.6.1 Definition

Der pH-Wert leitet sich aus der Dissoziation des Wassers ab (HÜTTER, 1988). Das Ionenprodukt K_W des Wassers ist wie folgt definiert:

- $c_{H^+} \cdot c_{OH^-} = K_W = 1,3 \cdot 10^{-16} \cdot 55,6 = 0,74 \cdot 10^{-14} \approx 10^{-14}$

K_W ist temperaturabhängig und beträgt:

- $0,1139 \cdot 10^{-14}$ bei 0°C
- $1,0000 \cdot 10^{-14}$ bei 24°C

Zur Vermeidung der Potenzschreibweise wurde der pH-Wert eingeführt. Der pH-Wert ist somit der negative dekadische Logarithmus des Zahlenwertes der Stoffmengenkonzentration an Oxonium-Ionen. Sind in einer wässrigen Lösung gleich viel H_3O^+ und OH^- -Ionen vorhanden, so bezeichnet man diese Lösung als „neutral“. Nach JANDER (1977) gilt: $pH = pOH = 7$.

Für Fleisch ist der enge Bereich von ca. pH 5 - 7 von Bedeutung, deshalb sind hier relativ genaue Messungen erforderlich. Die Puffer im Medium spielen eine wesentliche Rolle, denn sie haben die Eigenschaft in einem gewissen Rahmen den pH-Wert konstant zu halten, indem sie bei Zugabe oder Bildung von Säuren die H^+ -Ionen abfangen. Die Proteine im Fleisch haben solch eine Pufferwirkung, das heißt die pH-Wertabsenkung, bedingt durch die Bildung von Milchsäure, im Fleisch nach der Schlachtung ist geringer als es in einer reinen wässrigen Lösung der Fall wäre (HOFMANN, 1987).

2.2.6.2 Messmethodik

Die Bestimmung des pH-Wertes kann unter Zuhilfenahme verschiedener Methoden durchgeführt werden (HÜTTER, 1988; HOFMANN, 1987):

- Bestimmung mit Indikatorstäbchen
- Bestimmung mit Flüssigindikator (Mischindikator)
- Chlor unempfindliche Bestimmung mit Phenolrot
- Elektrometrische Bestimmung mit Glaselektrode.

Die Methodik wird nach dem zu messenden pH-Bereich, der erwünschten Genauigkeit, der Messungen und der Praktikabilität ausgewählt (HÜTTER, 1988). Für genauere Messungen und vor allem bei der Durchführung sehr vieler Messungen rasch hintereinander, z. B. an der Schlachtkette, ist die elektronische Messung mit der Glaselektrode unentbehrlich. Unbrauchbare Elektroden werden daran erkannt, dass sie auch nach gründlicher Reinigung nur noch träge reagieren (HOFMANN, 1987).

In vielerlei Anwendungen werden pH-Messungen benötigt und stellen dementsprechend unterschiedliche Anforderungen. Generell gilt jedoch, dass die Anforderungen um so höher sind, je reiner bzw. sauberer das Messmedium ist (N.N., 2003 a). Für die Messung des pH-Wertes ist es äußerst wichtig, die Elektrode vor jedem Messtag neu zu kalibrieren, wobei die verwendeten Eichpuffer stets frisch sein müssen. Falls die Membran belegt ist, muss diese mit einem Papiertuch und warmem Wasser gereinigt werden (SCHWÄGELE, 1993; REICHERT, 1996). Bei jeder Messreihe müssen die Messstellen exakt definiert sein. Die CMA (N.N., 1991) gibt in ihrem Prüfplan für Schweinefleisch die Messungen in der Regel zwischen der dritt- und viertletzten Rippe, bzw. in der Oberschale vor. Die Durchführung der Messung ist ebenfalls ausführlich in der AVV-Fleischhygiene (N.N., 2002 b) beschrieben und wurde in der vorliegenden Arbeit dementsprechend ausgeführt (Kap. 3.3.2.1). Der pH-Wert wird maximal auf 0,05 Einheiten genau angegeben, bzw. auf 0,1 Einheiten, wenn die in ungebufferter oder aber sehr elektrolytreicher Lösung erfolgt. Mit dem pH-Wert ist auch die Temperatur anzugeben (HÜTTER, 1988; N.N., 1984). Wahrscheinlich als Folge verstärkter reflektorischer Bewegungen kann bei Schlachtschweinen, die nach der Betäubung an einer Hintergliedmaße angeschlungen und hochgezogen wurden, die Schinkenmuskulatur der Hängeseite mehr in Richtung PSE verändert sein als die der

anderen Körperhälfte (FISCHER und AUGUSTINI, 1981). Dies macht eine standardisierte Auswahl der Messseite erforderlich (FISCHER, 2000 b).

2.2.6.3 Untersuchungen zum pH-Wert in Rind und Schweinefleisch

Der Gesetzgeber hat in der AVV-Fleischhygiene Richtwerte einer abnormen Fleischsäuerung festgelegt. Für Schafffleisch ebenso wie für Fleisch von Haarwild, Hase und Kaninchen wurden im Gegensatz zum Rind- und Schweinefleisch nur Richtwerte für den pH-Wert festgelegt (N.N., 2002 b).

Der pH-Wert des lebenden Muskels liegt etwas oberhalb des Neutralpunktes (7,2). Im Normalfall verläuft die Glykolyse langsam und sinkt in 24 Stunden auf einen End-pH-Wert von 5,8 und tiefer. Nach Erreichen des End-pH-Wertes bleibt dieser einige Zeit unverändert, um im Verlaufe der Reifung des Fleisches wieder um ca. 0,1 Einheiten zu steigen. Bei längerer Lagerung kommt es schließlich zum bakteriellen Verderb durch die Bildung von basisch reagierenden Stoffen wie Ammoniak und Aminen, und er steigt deutlich an und erreicht Werte über 6,5. Der pH-Wert hat einen direkten oder indirekten Einfluss auf (HOFMAN,1987):

- Farbe
- Zartheit
- Geschmack
- Wasserbindungsvermögen
- Haltbarkeit.

Damit ist der pH-Wert sowohl für den Genusswert, als auch für die technologischen Eigenschaften von Bedeutung (HOFMANN, 1987). Doch auch für das Wachstum vieler pathogener Bakterien ist der pH-Wert von Wichtigkeit. Die meisten Mikroorganismen haben ein Wachstumsoptimum zwischen pH 6,8 und 7,5. Durch die Säuerung, also die pH-Wert Senkung post mortem, wird zumeist weiteres Wachstum der Mikroorganismen gehemmt, während bei einem erhöhten End-pH, z.B. bei DFD-Fleisch, das zudem ein erhöhtes Wasserbindungsvermögen aufweist, wesentlich günstigere Voraussetzungen für mikrobielles Wachstum und damit dem vorschnellen Verderb des Lebensmittels Fleisch gegeben sind (BAUER, 1991). Beim Schwein liegt

beschleunigte Glykolyse vor, wenn der pH_1 5,6 oder niedriger ist. Hierbei wird die Messung des pH_1 45 Minuten nach der Schlachtung vorgegeben (N.N., 2002 b). SCHWÄGELE (1992) beschreibt die Variation des pH_1 -Wertes nach dem Schlachten in Abhängigkeit von der Zeit (Messzeitpunkte zwischen 30 und 45 min) von 5,9 bis 5,8.

Über den früh-postmortalen Zeitraum hinaus ist eine pH-Wert-Messung zur Erfassung von PSE-Fleisch nicht sinnvoll, weil schon 12 - 24 Stunden nach dem Schlachten der End-pH erreicht ist, an dem sich normales und verändertes Fleisch nicht mehr unterscheiden (HOFMAN, 1987). Für die Erkennung von DFD-Eigenschaften, das vor allem beim Rindfleisch auftritt, eignet sich hingegen die pH-Messung nach 24 Stunden. Unter Laborbedingungen bereitet die pH-Messung keine Probleme. In der Praxis ist jedoch die Messung exakt 45 Minuten p.m. im Schlachtbetrieb oft aus räumlichen Gründen oder wegen des Arbeitsablaufes nicht möglich. Zudem sind die Glaselektroden der pH-Messgeräte fragil, die Messung dauert relativ lange und die Geräte müssen häufig geeicht werden (FELDHUSEN et al., 1987a und 1987 b; SACK, 1988; SCHWÄGELE, 1992 a; HONIKEL, 1995; HONIKEL et al., 1995). Andere Messgrößen zur Erfassung der Fleischqualität, wie z.B. die Farb- und die Farbhelligkeitsmessung (mit dem Göfo-Gerät, Minolta o.ä.), sind unmittelbar nach dem Schlachten ebenfalls nicht geeignet, da sich die zu messenden Eigenschaften erst als Folge des pH-Wert-Abfalles und der gleichzeitig herrschenden Temperatur-Verhältnisse in Zeitversetzung ergeben. Zudem steht die Farbhelligkeit in keiner besonders engen Beziehung zu wichtigen Qualitätseigenschaften des Fleisches wie dem Wasserbindungsvermögen (HONIKEL et al., 1995).

HOFMANN (1987) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass bei schwachen Säuren oder Puffern (also auch bei Fleisch) die Wasserstoffionenkonzentration und damit auch der pH-Wert selbst temperaturabhängig ist. Dies wird nach HONIKEL (Privatmitteilung) zum Beispiel bei PSE-Fleisch beobachtet: PSE-Fleisch besitzt eine Stunde nach dem Schlachten bei 40°C z.B. einen pH-Wert von 5,40. Nach 24 Stunden, wenn das Fleisch auf 0°C abgekühlt ist, wird ein pH-Wert von 5,52 gemessen. Dieser pH-Wert Unterschied von 0,12 Einheiten beruht auf dem unterschiedlichen Dissoziationsgrad der Pufferkomponenten im Fleisch – er ist somit physikalisch und nicht durch biochemische Ursachen bedingt.

Schon 1983 berichteten KLEIBEL et al., dass bei eindeutigen PSE-Veränderungen die pH_1 -Werte unter 5,6 liegen. Demgegenüber ist ein pH_1 -Wert unter 5,8 nicht immer eindeutig als PSE-verdächtig beschrieben. KÜHNE et al. (1992) bezeichnet Fleisch mit einem pH_1 unter 5,7 als solches mit überstürzter Glykolyse.

KIRCHHEIM et al. (2001) fanden bei der Messung von pH_1 -Wert und der Leitfähigkeit 24 h p.m. relativ enge Korrelationen mit $r = 0,59$. Sie beschreiben die Sicherheit physikalischer Messkriterien in Bezug auf PSE für die korrekte Qualitätsklasseneinstufung des pH_1 nach 45 min p.m. mit 82,4%, in Verbindung mit der Leitfähigkeit 24 h p.m. sogar mit 94,1%. Hierbei unterstellten sie einen pH_1 -Grenzwert für abweichende Fleischbeschaffenheit von 5,8. Die Klassifizierung von PSE- und DFD-Fleisch ist selbst unter Einbeziehung mehrerer Messgrößen problematisch. LAUBE (2000) empfiehlt zur Erkennung von PSE-Fleisch eine pH -Wert-Messung 85 min p.m. kombiniert mit der Messung der Leitfähigkeit 24 h p.m.

Die Qualitäts- und Prüfbestimmungen der CMA (N.N., 1991) sehen für den Ausschluss von DFD- und PSE-Fleisch bei Rind und Schwein vor, dass bei Rindern der pH_{ult} , 36 - 48 Stunden p.m. im M. long. dorsi gemessen, zwischen 5,4 und 5,6 liegen soll. Bei Schweinen mit pH_1 -Werten 45 min p.m. von unter 5,8 wird das Fleisch als PSE eingestuft. Liegt der pH_{24} (24 h p.m.) über 5,9, so erfolgt die Einstufung als DFD. Die Landesanstalt für Schweinezucht in Forchheim (N.N., 2003 c) stuft bei ihren Untersuchungen (Messung des pH -Wertes und der Leitfähigkeit 45 min bzw. 20 h p.m.) die Werte wie folgt ein:

- Günstige Werte: $\text{pH}_1 \geq 6,0$ (Hinweis, dass hier DFD-Fleisch eingeschlossen sein kann)
 $\text{pH}_2 \leq 6,0$
- Ungünstige Werte: $\text{LF}_1 \geq 5,8$ PSE-Fleisch
 $\text{LF}_2 < 6,0$ DFD-Fleisch.

SEIDLER et al. haben schon 1984 in einer umfangreichen Studie (3028 linke Schweineschlachtkörperhälften) die Messparameter, die auch noch heute zur Verfügung stehen, in Bezug auf die Eignung zur Erfassung der Fleischparameter untersucht. Demnach wird eine Diagnose von PSE-Fleisch durch Messung des pH₄₅ im M. long. dorsi empfohlen, wobei hier schon auf die Bedeutung des Zusammenhanges zwischen pH₄₅ und Schlachtkörpertemperatur hingewiesen wird:

- pH₄₅ ≤ 5,6 PSE
- pH₄₅ ≥ 5,8 Nicht-PSE
- 5,6 < pH₄₅ < 5,8 indifferenter Übergang.

PIEPER (1993) ermittelte bei den Messungen des pH-Wertes im M. long. dorsi zwischen pH₃₀ und pH₄₅ mit r = 0,73 einen recht engen Zusammenhang. Nach seinen Berechnungen verändern sich bei pH₃₀-Messungen die Grenzwerte wie folgt:

- pH₃₀ ≤ 5,9 PSE
- pH₃₀ ≥ 6,2 Nicht-PSE.

Das ist hier um so mehr von Interesse, da in der vorliegenden Arbeit die Messungen ebenfalls 30 min p.m. durchgeführt wurden. Für die Herstellung von Kochschinken aus Warmfleisch wurde ein pH₃₀ > 6,2 (30 min p.m.) vorgeschlagen (REICHERT et al., 1986). Die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (N.N., 2002 a) überprüfte, ob die Mastleistung einen Einfluss auf die Fleischbeschaffenheit hat, da eine höhere Wachstumsintensität, also höhere Masttagszunahmen eine erhebliche Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit hat. Es wurde Datenmaterial von 4500 Tieren der LPA Köllitz ausgewertet. Dabei konnte keine Beziehung zwischen den Parametern der Fleischbeschaffenheit und der Mastleistung erkannt werden. Jedoch bestand die Tendenz zur Absenkung des pH₁-Wertes mit Zunahme des Mastendalters als Ausdruck einer Verschlechterung der Fleischbeschaffenheit. Der pH₁ bei 110 kg Mastleibgewicht sank bei männlichen Tieren von 6,1 auf 6,0 und bei weiblichen Tieren von 6,3 auf 6,0 bei einer Mastendmasse von 130 kg. Untersuchungen über die Veränderungen des pH-Wertes im Verlauf der Fleischreifung, auch in Bezug auf die Elektrostimulation beim Strauß, hat MORRIS (1995) durchgeführt.

2.2.7 Elektrische Leitfähigkeit

Die Kenntnis der elektrischen Leitfähigkeit ermöglicht unter anderem Rückschlüsse auf den Gesamtmineralstoffgehalt von Flüssigkeiten. So ist sie auch ein wichtiger Summenparameter für gelöste, dissoziierte Stoffe (Elektrolyte). Sie kann zugleich dazu dienen, bei Stoffen gleicher Herkunft (z.B. Muskulatur eines Tieres) durch regelmäßige Kontrollen Änderungen im Elektrolytgehalt zu erkennen, oder die Qualität zu überprüfen (HÜTTER, 1988). Die Leitfähigkeit spiegelt also naturgemäß auch die im Muskelgewebe nach dem Schlachten stattfindenden Veränderungen wider, die das passiv-elektrische Verhalten bestimmen. Durch den absinkenden pH-Wert und den Calcium-Efflux, der aus dem Versagen der Calcium-Ionen-Pumpe und der calciumbindenden Zellstrukturen resultiert, kommt es zur Zunahme freier Ladungsträger. Gleichzeitig treten Denaturierungserscheinungen bei den Membranstrukturen auf, die einen Austausch von inter- und intrazellulärer Flüssigkeit ermöglichen und sich in einem veränderten dielektrischen Verhalten ausdrücken. Deshalb ist PSE-Fleisch schon zu einem frühen Zeitpunkt p.m. durch starke Zunahmen der elektrischen Leitfähigkeit charakterisiert. Bei Tieren mit guter Fleischqualität setzt dagegen der Anstieg der Werte erst langsam ein, wobei der absolute Endwert sehr gering ist. Beim Verlauf der Leitfähigkeit in der Muskulatur von Tieren mit fraglicher Fleischqualität stellt man ein ähnliches Bild wie bei Tieren mit PSE-Fleisch fest, wobei unter Einbeziehung der zeitlichen Verschiebung auch die Endwerte der Leitfähigkeit niedriger sind. Neben der Messung des pH-Wertes und der Farbe ist die elektrische Leitfähigkeit das gängigste und zuverlässigste Verfahren zur Qualitätsbestimmung bezüglich PSE im Schweinefleischbereich (SCHWÄGELE, 1993; SCHMIDTKE, 2002).

Als weitere Methode soll hier die Messung der Impedanz lediglich erwähnt werden. Hierbei wird nicht nur die Leitfähigkeit bewertet, sondern auch noch die Dielektrizitätskonstante des Gewebes. Dabei wird das Impedanzverhalten des Gewebes in einem breiten Frequenzbereich geprüft und ein dimensionsloses Impedanzverhältnis PY in dem betreffenden Frequenzbereich angegeben. Dieser Messwert ist nur gering von der Temperatur des zu messenden Fleischstücks abhängig. Der PY -Wert kann zwischen 0 und 100 betragen. In der Praxis liegt er zwischen 10 und 80, wobei ein Wert von unter 30 - 40 für PSE-Fleisch spricht (HONIKEL, 1995; SCHÖBERLEIN et al., 1999).

2.2.7.1 Definition

Die elektrische Leitfähigkeit beruht ganz allgemein auf dem Gehalt an Ionen des zu untersuchenden Mediums. Sie ist abhängig von der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der gelösten Elektrolyte, von deren elektrochemischen Wertigkeit, von der Ionenbeweglichkeit, das heißt der Wanderungsgeschwindigkeit der einzelnen Ionen in Fließrichtung, und der Temperatur (HÜTTER, 1988).

In metallischen Leitern (Leiter 1. Klasse) erfolgt die Stromleitung durch freie Elektronen (BRIDČKA, 1990). In einem Elektrolyten (Leiter 2. Klasse) erzeugt der elektrische Strom durch das Abscheiden von Ionen eine elektromotorische Gegenkraft, Polarisation genannt. Durch diese wird der Widerstand des Elektrolyten scheinbar vergrößert, die Leitfähigkeit somit verringert. In biologischem Gewebe mit seinem hohen Wasseranteil erfolgt gemäß dem Prinzip der Elektrolyse bei Anlegen eines Stromflusses an der Phasengrenze zwischen Elektroden und der Lösung eine Reduktion oder Oxidation von Elektroden und Elektrolyten (BRIDČKA, 1990). Mit steigender Konzentration nimmt die Leitfähigkeit einer Lösung zu. Für geringe Konzentrationen verläuft dieser Anstieg linear, bei höheren Konzentrationen jedoch steigt die Leitfähigkeit langsamer an. Bei „schwachen“ Elektrolyten wirkt sich dieser Effekt viel stärker als bei „starken“ Elektrolyten aus. In diesen „schwachen“ Elektrolyten befinden sich neben den freien Ionen auch undissoziierte Moleküle, welche sich in einem Gleichgewicht befinden. In „starken“ Lösungen beeinflussen sich die Ionen in ihrer Beweglichkeit und bedingen die geringere Zunahme der Leitfähigkeit mit zunehmender Konzentration (CHRISTEN, 1985). Zusammengefasst ist die Leitfähigkeit nach DIN EN 27888:1993 (N.N., 1993) in einem Leiter 2. Klasse abhängig von der Ionenart, der Ionenkonzentration, der Temperatur und der Viskosität der Lösung.

2.2.7.2 Messmethodik

Die Messung erfolgt mittels spezieller Leitfähigkeitsmessgeräte, die Autoren der DIN EN 27 888 empfehlen ein regelmäßiges Prüfen mindestens alle sechs Monate (N.N., 1993). Gute Feldgeräte sind mit mehreren Messbereichen, automatischer Temperaturkompensation auf die Bezugstemperatur von 25°C ausgestattet, so dass auf Um-

rechnungstabellen verzichtet werden kann (HÜTTER, 1988). Der Wert für die Leitfähigkeit liegt bei rohem Fleisch in der Regel zwischen 2 und 15 mS/cm. Zur Erzielung vergleichbarer Messdaten ist es, wie im Falle der anderen Messverfahren, Voraussetzung, dass die Messzeitpunkte und die Messpunkte exakt eingehalten werden.

Anders als bei pH- und Sauerstoffmessung verändert, bzw. verbraucht sich bei der Leitfähigkeitsmessung die Messzelle durch die Messung nicht. Dies gilt zumindest bei ordnungsgemäßem Gebrauch. Die Messzelle besteht aus Edelstahl, Platin, platinisiertem Platin- oder Graphitelektrodenpaaren, die chemisch resistent sind, und deren Geometrie die Zellkonstante bestimmt (N.N., 2003 a). Die Messzellen werden mit einer festgelegten und geprüften Zellkonstante hergestellt und der Anwender kann die Messung starten, ohne die Zellkonstante vorher bestimmen zu müssen. Die produktionstechnisch bedingten Toleranzen der Zellenkonstante liegen je nach Messbereich zwischen 1,5% und 2%. Sollen sehr genaue Messungen durchgeführt werden, kann die Zellenkonstante mit Kaliumchloridlösungen exakt eingestellt werden. Dies gilt grundsätzlich für neue Zellen oder bei einem Zellenwechsel (N.N., 2003 a). Wird eine Justierung der Zellenkonstante zur Erhöhung der Messgenauigkeit durchgeführt, gilt es zu berücksichtigen, ob das Konduktometer eine automatische Kalibrierfunktion besitzt. Das für die Messungen dieser Arbeit verwendete Gerät LF-Star (Abb. 1) wurde gemäß der Beschreibung Kapitel 3.3.2.2 überprüft und eingesetzt.



Abbildung 1: LF Star, Fa. Matthäus

Wird zum gleichen Zeitpunkt gemessen, weist ein Vergleich von Leitfähigkeitsgeräten ähnliche Korrelationskoeffizienten auf. Die Messwerte der einzelnen Geräte jedoch sind direkt nicht miteinander vergleichbar. Auch die Geometrie des Einstichs

– ob quer oder längs zur Muskulatur – ist wichtig. Allgemein gültige Grenzwerte zu jedem Zeitpunkt, jedem Gerät und jedem Zweck, wie sie gerne von der Praxis gewünscht werden, sind nicht möglich (HONIKEL, 1995).

2.2.7.3 Untersuchungen zur elektrischen Leitfähigkeit in Rind- und Schweinefleisch

Über die Vor- und Nachteile der pH-Wert-Messung haben bereits HONIKEL und GARRIDO (1993) berichtet, wobei auch Fragen der Messung der Leitfähigkeit untersucht wurden. Die Leitfähigkeit ist ein Verfahren, bei der die Intaktheit der Membranen der Muskelzellen geprüft wird. Die Leitfähigkeit des Muskelgewebes nimmt zu, wenn die Zellmembranen durchlässig für Ionen werden. Dadurch findet ein höherer Fluss an Ionen oder Elektronen im Gewebe statt. Ein völlig intaktes Muskelgewebe hat niedrige Leitfähigkeitswerte, während Zellmembranen, die durchlässig sind (wie bei PSE-Fleisch), erhöhte Messwerte hervorrufen. HONIKEL und GARRIDO (1993) konnten zeigen, dass 45 Minuten nach dem Schlachten zwar der pH-Wert bei zu PSE-neigendem Fleisch schon weitgehend abgesunken ist, die Durchlässigkeit der Zellmembranen zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht ausgeprägt ist, so dass die Leitfähigkeit zu diesem frühen Messzeitpunkt niedrig ist und nur eine geringe Aussagefähigkeit besitzt (SCHWÄGELE, 1993). Hingegen ist die Messung der Leitfähigkeit 1,5 bis 48 Stunden und länger nach dem Schlachten möglich, da zu diesem Zeitpunkt immer noch erhebliche Unterschiede zwischen der Intaktheit der Zellmembranstrukturen von PSE-Fleisch und normalem Fleisch besteht. Während die Messung der Fleischfarbe ebenso wie der hohe End-pH-Wert es ermöglichen, DFD-Fleisch zu erkennen besitzt die Leitfähigkeit diese Eigenschaften nicht, da Zellmembranunterschiede zwischen Normalfleisch und DFD-Fleisch gering sind (SCHWÄGELE, 1993; SCHMIDTKE, 2002).

Über den frühpostmortalen Zeitraum hinaus ist die pH-Wert-Messung zur Erfassung von PSE-Fleisch nicht sinnvoll, weil schon wenige Stunden nach dem Schlachten der End-pH erreicht ist, an dem sich normales und verändertes Fleisch nicht mehr unterscheiden (Kap. 2.2.6.3). Im Gegensatz zur pH-Wert-Messung ist bei der elektrischen Leitfähigkeit die Messung wenige Minuten bis Stunden nach der Schlachtung nicht allzu aussagekräftig, da diejenigen postmortalen Veränderungen wie Membranschä-

digungen und Proteindenaturierung, die auch das Ansteigen der LF verursachen, gleichzeitig auch die Herabsetzung des Wasserbindungsvermögens bedingen. Hinzu kommt, dass die Messung der elektrischen Leitfähigkeit in der Praxis auf dem Schlachthof praktikabler durchzuführen ist, weil die Messelektroden stabil und unempfindlich sind und die Geräte nur in größeren Zeitabständen geeicht zu werden brauchen. Nachteilig ist bisher noch, dass, bei einem recht großen Angebot von Messgeräten auf dem Markt, Geräte mit gleichen Messprinzipien und Messeinheiten unterschiedliche Messwerte anzeigen. Auch hinsichtlich Messlokalisation und -zeitpunkt gibt es noch keine Standardisierung. Die Messwerte sind daher schlecht vergleichbar (FISCHER, 1986). Die Messungen der Leitfähigkeit zur Diagnose von PSE-Fleisch ist beim Schwein gut untersucht. FISCHER (1986) fand bei Untersuchungen des M. semimembranosus und des M. long. dorsi beim Schwein Korrelationen von 0,83 und höher zwischen den wichtigsten Glykolyse-Parametern (ATP, R-Wert, Laktat) und dem Leitfähigkeitswert. Daraus folgte er, dass die Membrandefekte zur Geschwindigkeit der postmortalen Glykolyse, gemessen mittels der Leitfähigkeitsveränderungen, in engem ursächlichen Zusammenhang stehen. SACK (1988), HONIKEL und GARRIDO (1993), HONIKEL (1995) und KIRCHHEIM et. al. (2001) fanden ebenfalls gute Korrelationen zwischen dem LF-Wert und der pH-Messung 45 Minuten p.m.. HONIKEL stellte hierbei fest, dass frühestens 45 Minuten post mortem ein Anstieg der Leitfähigkeit zu messen ist, dies bei pH-Werten unter 5,6. Auch er favorisiert eine spätere Messung der LF (150 min p.m.), da der LF-Anstieg strukturelle Veränderungen der Muskulatur aufzeigt, die durch den Abfall des pH-Wertes und dem Anstieg der Temperatur ausgelöst werden und demzufolge zeitlich versetzt auftreten. SCHWÄGELE (1992 a) beschreibt ebenfalls, dass unmittelbar p.m. die Messwerte der LF in der Muskulatur aller Schlachtkörper sehr eng beieinander liegen, das heißt eine genaue Zuordnung in Fleischqualitätsklassen kann nur in Extremfällen erfolgen. Deshalb solle der früheste Messzeitpunkt nicht unter 60 min. p.m. liegen. Nur wenn zu einem früheren Zeitpunkt sehr hohe LF-Werte von über 15 mS/cm festgestellt werden, kann dies zu diesem frühen Zeitpunkt ein Hinweis auf das Vorliegen von PSE-Fleisch sein. Auch FELDHUSEN (1987 b) stellt heraus, dass bei einer frühen LF-Messung keine gute Übereinstimmung mit dem pH₄₅-Wert festzustellen sei. Die Leitfähigkeitsmessung ergibt 2 - 48 Stunden p.m. zu 90% im Kotelett und zu 80% im Schinken eine Bewertung des Fleisches wie nach dem pH₅₀-Wert als Normalfleisch:

- Ursachen der Leitfähigkeitsveränderungen bei überstürzter Glykolyse treten bereits 20 min p.m. auf, bei pH-Werte > 6,0 und Temperaturen > 40°C,
- Ermittlung von Grenzwerten zur Fleischbeschaffenheitseinstufung nach LF₄₀-LF₅₀: normale Glykolyse: < 7,0 mS/cm überstürzte Glykolyse > 7,0 mS/cm,
- 40 - 50 Minuten p.m. lässt sich Normalfleisch mit ca. 80% Übereinstimmung zum pH₅₀ einstufen.

Er folgert, dass eine gezielte Auswahl des Normalfleisches nach dem LF-Wert im Zeitraum von 40 min bis 48 h p.m. als praktikabel erscheint. Die PSE-Diagnostik sei mit einer höheren Fehleinstufung behaftet. Die Orientierung der LF-Einstufung an bereits üblichen pH-Grenzwerten erhöht nach seiner Auffassung die Vergleichbarkeit der Bewertung. Der LF-Wert kann demnach als sogenannter Strukturparameter angesehen werden. Die mit dem LF Star am Schlachtband erfassten Messdaten können somit Grundlage für eine qualitätsorientierte Sortierung und Bezahlung der Tiere sein. Voraussetzung ist die Festlegung auf ein einziges Leitfähigkeitsgerät und die strikte Einhaltung des Messzeitpunktes und der Messlokalisierung (SCHMIDTKE, 2002).

Grenzwerte für die Diagnose von PSE-Fleisch wurden vor allem für den LF₄₀-Wert oder den LF₅₀-Wert erarbeitet, obwohl die meisten Autoren eine spätere Messung favorisieren. Der Grenzwert der LF, der PSE- von Normalfleisch trennt, schwankt von Tier zu Tier und von Muskel zu Muskel (HONIKEL und GARRIDO, 1993). Daher seien Messungen des pH₄₅ zusammen mit anderen Qualitätsparametern wie LF oder Farbhelligkeit zur Festlegung der Grenzwerte nötig. REICHERT (1996) stellt in diesem Zusammenhang fest, dass bisherige Untersuchungen zum LF-Wert zu wenig die Fleischqualitäten des Endproduktes berücksichtigt haben. Die Messwerte wurden meist mit dem pH-Wert und dem Tropfsaftverlust frühpostmortal korreliert, was REICHERT (1996) jedoch im Hinblick auf die Sicherheit der Aussagen über die Fleischqualität des Endproduktes für wenig aussagekräftig hält. Der Autor bezieht sich dabei auch auf die Arbeit von JAUD et al. (1992), die die dargestellten engen Korrelationen zwischen pH₄₅, LF und anderen Fleischqualitätsparametern nicht bestätigen konnten. Sie bemerkten zwar, dass die Ergebnisse bei einer späteren LF-Messung (ab 2 Stunden p.m.) besser sind, eine Messung zu diesem späten Zeitpunkt aber aufgrund der Arbeitsabläufe am Schlachthof kaum durchführbar ist.

NEUMANN-FUHRMANN (1987) erklärt ebenfalls, dass sich bisherige Vorschläge zur Erfassung und Beurteilung der Fleischqualität hauptsächlich am pH₄₅-Wert orientierten, da sie entscheidende ursächliche Zusammenhänge im postmortalen Verlauf der Fleischreifung charakterisiert. Sie bemerkt aber, dass diese Zusammenhänge nur teilweise bestätigt werden konnten und bevorzugt daher ebenfalls zur objektiven Erfassung der Veränderungen während der Fleischreifung die gemeinsame Bewertung der Parameter pH-Wert, LF-Wert, Farbe und Wasserbindungsvermögen. Untersuchungen zur elektrischen Leitfähigkeit als Diagnoseparameter für den Verlauf der Fleischreifung beim Rindfleisch führten FELDHUSEN (1987) und BECK et. al. (1992) durch. FELDHUSEN (1987) untersuchte den Verlauf der Fleischreifung von Rindern über 18 Tage p.m., wobei er in 2 - 3tägigen Abständen neben der LF den pH-Wert, die Gesamtkeimzahl, die Penetration und die Scherkraft maß. Die Leitfähigkeit des untersuchten Rindfleisches nahm in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer kontinuierlich zu, und zwar um ca. 1 mS/cm pro Tag. Das galt für Fleisch mit normaler Glykolyse ebenso wie für DFD-Fleisch. Zu den anderen Fleischreifungsparametern in Beziehung gesetzt, ergab sich, dass ein Abfall der Muskelscherkräfte und ein Anstieg der Penetrationswerte mit steigenden LF-Werten einherging, also mit zunehmender Zartheit stieg die Leitfähigkeit an. Bei LF-Werten über 16 mS/cm waren keine weiteren Zartheitszunahmen mehr zu beobachten. Eine Beziehung zwischen den LF-Werten und dem pH-Wert konnte nicht ermittelt werden, ebenso nicht zur Gesamtkeimzahl (GKZ). Ein Zusammenhang zwischen GKZ und LF deutete sich bei LF-Werten von mehr als 11 mS/cm an, ist aber auf durch Mikroorganismen verursachte enzymatische Fleischreifungsvorgänge zurückzuführen. FELDHUSEN beschreibt, dass beim Rindfleisch die LF-Messung eine Diagnose des Fleischreifungszustandes unabhängig vom Fleischreifungstyp ermöglicht. So schließt er auch daraus, je früher gemessen wird, desto größer ist die Gruppe der Tiere, bei denen sich ein verzögerter Anstieg der LF-Wert zeigt. Der beste Zeitpunkt für die Einstufung von PSE-Fleisch am Schlachtband ist ca. 60 - 70 min p.m., was jedoch in der Praxis nicht machbar ist, und er favorisiert eine Einstufung am Schlachtband möglichst zum gleichen Zeitpunkt wie die Klassifizierung (45 min p.m.). Im Schinken gibt es weniger Übereinstimmungen und Korrelationen als im Kotelett. BECK et al. (1992) führten bei Rindfleisch 1 Tag p.m. Messungen von pH, Leitfähigkeit, intramuskulärem Fettgehalt (IMF) und Fleischfarbe durch, mit dem Ziel, anhand dieser Messergebnisse Voraussagen über die spätere sensorische Qualität des Fleisches zu machen. Dazu verglichen sie die

Ergebnisse beziehungsweise die Voraussagen mit Untersuchungen an Proben desselben Fleisches 20 Tage p.m. Dabei wurden Scherkraftmessungen und sensorische Evaluation durch ausgebildete Testpersonen durchgeführt. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich anhand von Fettgehalt und Fleischfarbe sichere Voraussagen bezüglich der späteren Fleischqualität treffen lassen (SCHMITDKE, 2002). Eine Übersicht über die empfohlenen Grenzwerte verschiedener Verfasser gibt folgende Tabelle (Tab. 7):

		gut	fraglich	schlecht
Schmitt et al. (1984)	LF ₄₀	< 5,00	5,01 - 8,99	> 9,00
Schmitt et al. (1986)	LF ₄₀	< 4,30	4,40 - 8,20	> 8,30
	LF ₅₀	< 4,80	4,90 - 9,70	> 9,80
Reul et al. (1984)	LF ₅₀	< 5,50	5,51 - 10,94	> 10,00
Feldhusen (1987)	LF ₅₀	< 5,00	5,00 - 7,00	> 7,00
Sack (1988)	LF ₅₀	< 4,80	4,90 - 9,70	> 9,80

Tabelle 7: Empfehlungen für Grenzwerte zwischen normalem und PSE-Fleisch angegeben in mS/cm (SCHMITDKE, 2002)

FELDHUSEN (1987 a) fand heraus, dass die Leitfähigkeit des von ihm untersuchten Rindfleisches bei 5°C Fleischtemperatur kontinuierlich in Abhängigkeit von der Lagerdauer zunimmt und die Leitfähigkeit des Rindfleisches mit zunehmender Zartheit ansteigt. Eine Beziehung zwischen dem pH-Wert und der Leitfähigkeit wurde hier nicht ermittelt. Demnach hat der pH-Wert nur bei der überstürzten Glykolyse des Schweinefleisches Bedeutung für die Durchlässigkeit der Muskelmembranen und die daraus resultierende Leitfähigkeitserhöhung. Er kommt zu dem Ergebnis, dass beim Rindfleisch die Leitfähigkeitsmessung eine Diagnose des Fleischreifungszustandes unabhängig vom Fleischreifungstyp (= Glykolysetyp) ermöglicht.

Die Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit hängt auch sehr stark von der Kühlmethode ab (Tab. 8). Das effizientere Schockkühlen wirkt sich ganz entscheidend auf die Entwicklung der Leitfähigkeit beim Schwein aus (SCHWÄGELE, 1993):

	3 h	24 h	Höchstwerte
Kühlung bei +2°C	13,4	11,8	14,4
Schockkühlung 1h bei -13°C	6,4	8,8	10,6

Tabelle 8: Entwicklung der Leitfähigkeit bei stiller Kühlung und bei Schockkühlung, angegeben in mS/cm (SCHWÄGELE, 1993)

SCHWÄGELE (1992 a) wies auch nach, dass die LF-Werte im Schweinefleisch durch die Zerlegung im Mittel um 3,5 mS/cm in Schinken und Kotelett ansteigen. Dieser Anstieg sei verursacht durch die Prozedur der Zerlegung und die damit verbundene Bewegung und Zerstörung von Muskelfasern, wodurch möglicherweise ein Aufbrechen weiterer Zellmembranen im Kern der Muskulatur bewirkt werde.

Die Arbeitsgruppe der Landesanstalt für Schweinezucht in Forchheim (N.N., 2003 c) stuft bei ihren Untersuchungen (Messung der Leitfähigkeit 2, bzw. 20 h p.m.) die Werte wie folgt ein:

- Günstige Werte: $LF_1 \leq 4,0$
 $LF_2 \leq 5,0$
- Ungünstige Werte: $LF_1 \geq 5,0$
 $LF_2 \geq 8,0$.

GRESHAKE et al. (1988) beschreiben die Messung der Leitfähigkeit 24 h p.m. als indirektes Kriterium zur Charakterisierung des mit dem Tropfsaftverlust erfassten Safthaltevermögen des Fleisches. HONIKEL et al. (1995) finden ebenfalls keine lineare Beziehung zwischen dem pH_{45} und der Leitfähigkeit zu dieser Zeit. Die Leitfähigkeit werde durch höhere pH-Werte nur geringfügig beeinflusst. Bei niedrigen pH-Werten sei eine extreme Zunahme bei geringen Änderungen des pH-Wertes zu erkennen. Bei Grenzwerten der Leitfähigkeit nach 24 h von 7 mS/cm und $pH_{45} < 5,8$ wurden beim Rückenmuskel nur 1 von 37 Proben nicht den Gruppen PSE und normal zugeordnet. Im M. long. dorsi liegen die Grenzwerte niedriger und sind klarer zu ziehen als im M. semimembranosus, bei dem der Wert höher anzusetzen ist und mehr Ausreißer auftreten. Auch hier wird betont, dass 45 min p.m. die PSE-

Erkennung jedoch mittels der Leitfähigkeit nur bei extrem ausgebildetem PSE-Fleisch möglich sei. Die Leitfähigkeit von Normalfleisch ändere sich p.m. kaum, mild ausgeprägtes PSE-Fleisch weise nach 45 min eine geringe Zunahme der Leitfähigkeit auf, ausgeprägt blasses und wässriges PSE-Fleisch zeige diese Erhöhung nach 45 min schon deutlich. Nur extremes PSE-Fleisch besitze schon nach 30 min eine stark erhöhte Leitfähigkeit (SCHMIDTKE, 2002).

Der Grenzwert der Leitfähigkeit, der PSE von Normalfleisch trennt, kann allerdings von Tier zu Tier, von Muskel zu Muskel variieren, bedingt durch die Rasse, aber auch durch Einflüsse des Schlachtbetriebes. Deshalb sind Messungen der pH-Werte mit anderen Qualitätsparametern wie Leitfähigkeit und Farbhelligkeit für die Festlegung von Grenzwerten zu kombinieren (HONIKEL et al., 1995). Nimmt man ihm zufolge die übliche pH₄₅-Grenze von 5,8 zur Trennung von Normalfleisch und PSE-Fleisch, haben viele Muskeln unterhalb dieses pH-Wertes noch eine sehr niedrige Leitfähigkeit von unter 5 mS/cm. Erst bei pH-Werten von unter 5,6 nach 45 Minuten steigt allmählich die Leitfähigkeit an. Es gibt allerdings auch noch nach 3 h Muskeln, die eine elektrische Leitfähigkeit unter 5 mS/cm aufweisen, obwohl sie auf Grund des pH₄₅-Wertes PSE-Eigenschaften aufweisen müssten. Die Leitfähigkeitswerte sind im zerlegten Muskel höher als im Schlachttierkörper, die Beziehung dieser Werte zueinander ist schwach. Leitfähigkeitsmessungen sollten nicht vor 100 Minuten post mortem für eine sichere Aussage der Fleischqualität herangezogen werden (HONIKEL, 1995).

Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit im Verlauf der Fleischreifung wurden auch für andere Tierarten beschrieben. So führten FUNK-EISELE et al. (2001) bei Schaffleisch und SLOWINSKI und STOLARSKI (1998) bei Putenfleisch Untersuchungen durch.

2.2.8 Fleischfarbe, Reflexionswert

Beim Einbau von Qualitätskriterien in Abrechnungssysteme ist zu unterscheiden, ob es um die Preisgestaltung zwischen Schlachtbetrieb und Schweineproduzenten oder zwischen Schlachtbetrieb und Abnehmer der Schweinehälften, bzw. Teilstücke geht.

Im ersten Falle steht der Einfluss des Tieres (genetische Disposition) im Vordergrund, so dass wieder der pH₁-Wert herangezogen werden kann. Im letzten Fall ist es sinnvoller, den PSE-Status möglichst spät, das heißt kurz vor der Weitergabe der Schlachtkörper zu beurteilen, z.B. mit Merkmalen des passiv-elektrischen Verhaltens (LF-Wert, Py-Wert) oder der Farbhelligkeit (Reflexion). Mögliche Auswirkungen der Schlachtkörperbehandlung auf die Fleischqualität, vor allem der Kühlung, sind dann bereits in das Ergebnis eingeflossen. Für die Wareneingangskontrolle im Zerlege- oder Verarbeitungsbetrieb ist in Bezug auf PSE der pH-Wert nicht mehr aussagefähig und die passiv-elektrischen Eigenschaften können durch den Schlachtkörpertransport verändert sein (FISCHER, 2000 b). Deshalb bleiben vorerst nur die aufwändigeren Reflexionsmessungen mit Sondengeräten – eventuell in Kombination mit einer Überprüfung des Muskelfleischanteils, das heißt eine Kaltklassifizierung. Die Ausbildung der typischen Helligkeit des Fleisches bei PSE kann mehrere Stunden dauern, deshalb sind auch Messungen der Helligkeit am Schlachtband problematisch. Aus diesem Grund muss die begrenzte Aussagekraft der Ergebnisse bei der Klassifizierung direkt am Schlachtband akzeptiert werden, um ohne weiteren Aufwand (personell als auch apparativ) ein Maß für die Fleischqualität zu erhalten (FISCHER, 2000 b).

Nach HONIKEL und GARRIDO (1993) gilt für die Farbhelligkeit ebenfalls, dass deren Messung nicht direkt im Anschluss an die Schlachtung aussagekräftig ist, denn die Eigenschaft des wässrigen, blassen Schweinefleisches entwickelt sich erst als Folge des raschen pH-Wert-Abfalles und der ungenügenden Absenkung der Temperatur. Aus diesem Grund ist die Farbhelligkeit erst zu einem späteren Zeitpunkt, von ca. 2 - 3 Stunden nach dem Schlachten bis zu 40 - 50 Stunden p.m., teilweise bis zu mehreren Tage nach dem Schlachten als Messgröße zur Erfassung von PSE-Fleisch einsetzbar. Die Farbhelligkeit ermöglicht ebenso wie der hohe End-pH-Wert DFD-Fleisch zu erkennen.

2.2.8.1 Definition

Farbe ist der erste optische Eindruck, den man von Fleisch erhält. Die Farbe kann sowohl subjektiv, als auch objektiv gemessen werden, wobei das subjektive Messen

sehr häufig vom umgebenden Licht abhängt. Japanische Wissenschaftler haben für die subjektive Messung der Fleischfarbe Farbskalen in Form von Plastikklötzchen entwickelt. Drei Faktoren beeinflussen hauptsächlich die Fleischfarbe:

1. der Gehalt an Myoglobin. Er hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie der Spezies, der Rasse, des Muskels, der Fütterung und dem Alter des Tieres.
2. Behandlung der Tiere vor dem Schlachten, dem Schlachtvorgang und dem anschließenden Temperatur- und pH-Abfall.
3. Während der Zerlegung und Lagerung findet Sauerstoffbindung und Oxidation von Myoglobin statt, welche die Farbe verändert.

Die Messung der Farbe sollte erst ausgeführt werden, nachdem der End-pH des Fleisches erreicht ist. Alle Parameter, die bei der Farbmessung gerätemäßig eingestellt werden, sollen bei der Ergebnisinterpretation berichtet werden. Auch Geräte des gleichen Herstellers können etwas unterschiedliche Daten ergeben. Dies kann seine Ursachen sowohl in der Art der Beleuchtung als auch der Gerätetechnik haben, z.B. der Einsatz von Halogen- statt Xenon-Lampe (HONIKEL, 1999).

Objektiv versteht man unter der Farbe ein bestimmtes Reflexionsverhalten der Materie. Die Reflexion ruft beim Betrachter eine der Beschaffenheit der reflektierten Strahlen entsprechende Empfindung hervor (PACLT, 1958). Bei unregelmäßig gerichteten Grenzschichten, so auch im Falle von Fleisch, tritt eine diffuse Reflexion oder Remission auf (SCHARNER und SCHIEFER, 1975; WENDT et al., 1999). Unter der Remission kann die Reflexion des Lichtes an nichtspiegelnden Oberflächen verstanden werden. Physikalisch gesehen wird jede Farbe durch Farbton, Helligkeit und Sättigung charakterisiert (SCHARNER und SCHIEFER, 1975; FELDHUSEN et al., 1987 b). Der Farbton umfasst alle Spektralfarben und deren Mischungen. Die Helligkeit wird durch den Schwarz- bzw. Weissgehalt der Farbe bestimmt, und die Sättigung als weiteres Farbcharakteristikum wird durch den Sättigungsgrad, der mit der Farbinintensität zusammenhängt, angegeben.

Der Grad der Abschwächung der Farbinintensität durch „Unbunt“ bestimmt den Sättigungsgrad. Die Fleischfarbe nimmt eine besondere Stellung unter den Kriterien zur Beurteilung der Fleischqualität ein, da der sich Verbraucher beim Kauf von Frischfleisch anhand der Farbe mit entscheidet. Mit der „typischen“ Farbe verbindet er guten Geschmack, Zartheit und Frische, trotzdem keine unmittelbare Beziehung zwi-

schen diesen sensorischen Merkmalen und der Farbe bestehen muss (POTTHAST, 1986). Aus vielen Untersuchungen geht jedoch hervor, dass zwischen der Farbe und anderen Qualitätsmerkmalen des Fleisches, wie zum Beispiel der Farbe und dem pH₁-Wert, enge Beziehungen bestehen (KALLWEIT et al. 1988). Zur Erkennung von DFD- und PSE-Eigenschaften spielt die Fleischfarbe eine wichtige Rolle, wobei die physikalisch messbare Größe der Farbe maßgeblich durch die Geschwindigkeit der postmortalen Fleischreifung (pH-Wert-Senkung, Veränderung der Kerntemperatur) beeinflusst wird, die zu einer unterschiedlichen Ausprägung der Fleischstruktur führt (FISCHER, 1981; FELDHUSEN et al., 1987 a; HIEGEMANN, 2002).

2.2.8.2 Messmethodik

Zur On-Line-Beurteilung der Fleischqualität beim Schwein kann, neben den klassischen Messmethoden wie der pH-Messung oder die Messung der elektrischen Leitfähigkeit, auch die Farbe als ein Kriterium herangezogen werden. Dabei zeigt PSE-Fleisch eine sehr helle und blasse, DFD-Fleisch dagegen eine sehr dunkle Farbe. Die zur Ermittlung der Fleischfarbe verwendeten Messgeräte unterscheiden sich u.a. hinsichtlich der Messererfassung (invasiv, oder Messung der Oberfläche) und der Handhabung. Als invasiv arbeitende Geräte sind z.B. das „Fibre-Optic-Pobe“ und die Klassifizierungs sonden zu nennen (SACK und BRANSCHIED, 1990). Oberflächenmessungen werden mit dem Göttinger Fotometer (GÖFO) und dem Minolta Chromameter durchgeführt (FELDHUSEN et al., 1987). In den Niederlanden stuft das Klassifizierungspersonal die Farbe des Fleisches gegenwärtig visuell anhand einer 10-Punkte-Skala (1 = hell bis 10 = dunkel), wobei unter in der Praxis Unterschiede in der Bewertung zwischen den verschiedenen Klassifizierern nicht ganz auszuschließen sind (HULSEGGE et al., 2001).

Bei Sonden-Klassifizierungsgeräten befindet sich in der Nähe der Sondenspitze ein geteiltes Fenster. Durch die eine Hälfte wird Licht definierter Wellenlänge und Intensität ausgesandt, über die andere wird das vom Gewebe reflektierte Licht wieder aufgefangen. Die Messung der Reflexionsintensität erlaubt nicht nur die Unterscheidung von Fett- und Muskelgewebe, sondern auch von hellerem und dunklerem Fleisch. Von Vorteil ist, dass die Reflexion im Stichkanal nahezu über die gesamte Strecke

der Rückenmuskeldicke erfasst und gemittelt wird. Die von den einzelnen Geräten erhaltenen Messwerte liegen jedoch bauartbedingt auf unterschiedlichem Niveau, und sie sind auch nicht einheitlich gespreizt (FISCHER et al., 1997). Zur Feststellung des Muskelfleischanteils müssen die Sonden nur auf einen vorgeschriebenen Sollwert im Reflexionsbereich von Speck abgeglichen werden. Das genügt für die Klassifizierung, reicht aber nur bedingt, wenn es um die standardisierte Einstufung der Helligkeit des Muskelgewebes geht. Reflexionswerte sind deshalb nur vergleichbar, wenn sie nach einheitlicher Zweipunkt-Kalibrierung oder mit der identischen Messanlage ermittelt wurden (FISCHER, 2000 b).

Die CMA (1991) gibt zur Farbmessung folgende Hinweise: Zur Durchführung der Farbhelligkeitsmessungen wird hier die Verwendung des "Chroma-Meters" von Minolta empfohlen. Aus Gründen der Reproduzierbarkeit soll bei Schweinefleisch im M. long. dorsi im Bereich der 12. und 13. Rippe 24 Stunden nach dem Schlachten eine Doppelmessung ca. 10 min nach dem Anschnitt des Muskels durchgeführt werden. Bei Rindfleisch ist die Messung 36 bis 48 h p.m. am frischen Anschnitt des Roastbeefs vorgesehen.

Reflexionsmessgeräte, wie das FOM- (Fat-o-Meater) oder das Hennessy-Gerät, arbeiten nach dem photometrischen Messprinzip, bei dem an definierten Messstellen mit einer Messsonde, in der eine Infrarot-Lichtquelle und eine Photozelle integriert sind, die unterschiedliche Lichtreflexion von Magerfleisch- und Fettgewebe gemessen und aufgezeichnet werden. Nach der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweinehälften wird der Muskelfleischanteil an der durch Spaltung des Schlachtkörpers längs der Wirbelsäule hergerichteten Schweinehälfte das Speck- (Rückenspeckdicke - a - in mm) und Fleischmaß (Muskeldicke - b - in mm) 7 cm seitlich der Trennlinie im Kotelettquerschnitt in Höhe der 2./ 3.letzten Rippe gemessen. Der Muskelfleischanteil (MF) in % bei weiblichen Tieren und männlichen Mastschweinen wird durch Einsetzen der Maße in folgende Formel ermittelt (N.N., 2002 c):

$$MF = 49,123 - 0,55983 \times (a) + 0,22096 \times (b).$$

2.2.8.3 Untersuchungen zur Reflexion in Rind- und Schweinefleisch

Das Gleiche wie für die Leitfähigkeit gilt auch für die Farbhelligkeit, denn auch diese Eigenschaft des wässrigen, blassen Schweinefleisches entwickelt sich erst als Folge des raschen pH-Wert Abfalles und der ungenügenden Absenkung der Temperatur, so dass auch die Farbhelligkeit und Leitfähigkeit erst zu einem späteren Zeitpunkt, ca. 2 - 3 Stunden nach dem Schlachten, bis zu 40 - 50 Stunden, teilweise auch bis zu mehreren Tage nach dem Schlachten, als Messgröße zur Erfassung von PSE-Fleisch einsetzbar sind (SCHWÄGELE, 1993).

Inwieweit der Reflexionswert als Farbhelligkeitswert zur Beschaffenheit der Fleischqualität einen Beitrag leistet, wird unterschiedlich diskutiert. Da sich die Farbhelligkeit des Magerfleisches erst Stunden nach der Schlachtung entwickelt, wird eine frühzeitige Messung (45 min p.m.) als unsicher angesehen, und somit können nur gravierende Fälle von PSE-Mängeln erfasst werden. Folgende Grenzwerte im M. long. dorsi werden angegeben (SEIDLER et al., 1984):

- $RW_{45} \geq 46$ PSE
- $RW_{45} \leq 23$ Nicht-PSE
- $23 < RW_{45} < 46$ fraglich.

Von SCHMITTEN et al. (1989) werden folgende Grenzwerte für eine Messung 40 min p.m. im M. long. dorsi angegeben:

- $RW_{45} \geq 45$ PSE
- $RW_{45} \leq 33$ Nicht-PSE.

Bezüglich der Eignung von FOM-Reflexionswerten für die Schätzung der Fleischbeschaffenheit wurden in einer Untersuchung an insgesamt 2000 Schweineschlachtkörpern den üblichen Grenzwerten des pH-Wertes zur PSE-Einstufung folgende RW-Werte zugeordnet (REICHERT, 1996):

- pH < 5,6 und RW > 40 PSE
- $5,6 \leq \text{pH} \leq 5,8$ und RW von 34 bis 40 indifferent
- pH > 5,8 und RW < 34 normal.

Der Reflexions-Wert wird bisher hauptsächlich zur Schätzung des Fett-Magerfleisch-Verhältnisses verwendet. Inwieweit mit Hilfe dieses Messparameters Aussagen über zu erwartende Produktendqualität bzw. weitere direkte Parameter der Fleischbeschaffenheit ermöglicht werden können, ist bisher noch nicht vollständig geklärt (REICHERT, 1996). HONIKEL (1995) findet eine relativ enge Beziehung zwischen Farbreflexion und Leitfähigkeit für den Rückenmuskel von $r = 0,81$, die im M. adductor wesentlich weniger eng ausgeprägt ($r = 0,54$) ist. Hierbei streuen die Messwerte vor allem bei höheren Leitfähigkeiten, gegen den Reflexions-Wert aufgetragen, erheblich.

2.2.9 Wasserbindungsvermögen (WBV)

2.2.9.1 Definition

Muskeln bestehen zu 70 - 75% aus Wasser, zu ca. 20% aus Proteinen und lediglich zu 1,5 - 3% aus Fett. Allgemein kann man das Wasserbindungsvermögen definieren als das Vermögen des Fleisches, Wasser, sei es eigenes oder auch zugesetztes, ganz oder auch nur teilweise festzuhalten (HONIKEL, 1987). Das Wasser verteilt sich im normalen Muskel nach HAMM (1963) wie folgt:

Fibrillen	70%
Sarkoplasma	20%
Extrazellulärer Raum	10%

In der Muskulatur ist das Wasser unterschiedlich verteilt, man unterscheidet die folgenden Verteilungsräume, wobei die Grenzen fließend sind:

1. Das Wasser des sarkoplasmatischen Raumes:

Dieses Wasser wird nur durch die Zellmembranen am Austritt gehindert, ist aber frei beweglich. In den Muskelfibrillen sind ca. 20% des Gesamtwassers der Muskulatur enthalten, in den Fibrillen beträgt der Wassergehalt ca. 70% (HAMM, 1963; HAMM, 1972). Die Proteine des Sarkoplasmas spielen hier nicht die entscheidende Rolle, denn das Wasser wird hauptsächlich im Verbund der myofibrillären Proteine gebunden (HAMM, 1963).

Hier wird unterschieden zwischen:

- a) echtem Hydratationswasser, das direkt an die polaren Gruppen der Muskelproteine gebunden ist. Selbst beim Gefrieren kann dieses Wasser auf Grund der Festigkeit der Bindung nicht auskristallisieren.
- b) Wasser, das an die Fibrillen und Filamente gebunden ist, also immobilisiertes Wasser. Es befindet sich im Gegensatz zu a) in den Zwischenräumen der Eiweißmoleküle. An diese ist es durch Querverbindungen und elektrostatische Kräfte gebunden (Dipolarität des Wassers). Da diese Bindung nicht so fest ist, wird dieses Wasser als immobilisiert bezeichnet.

2. Das Wasser des extrazellulären Raumes:

Nach HAMM (1963) und HONIKEL (1987) nimmt dieses Wasser 10 - 15% des Volumens ein, je nachdem wie weit die postmortalen Prozesse fortgeschritten sind.

Nach der Schlachtung nimmt sofort die Menge des immobilisierten Wassers zwischen den Fibrillen ab. Durch Läsionen in den Zellmembranen kann es aus den Zellen treten, wodurch auch der extrazelluläre Raum vergrößert wird. Dort verteilt sich das Wasser zunächst langsam, bevor es teilweise verdunstet oder auch vom Schlachttierkörper abtropft. Im lebenden Tier und kurz nach Eintritt des Todes hat die Muskulatur ein hohes WBV. Durch die anaerobe Glykolyse sinkt der pH-Wert, der Rigor mortis entwickelt sich und parallel dazu sinkt auch das Vermögen, Wasser zu binden. Das Wasserbindungsvermögen erreicht ein Minimum ungefähr 24 - 48 Stunden p.m., danach steigt es wieder an. Direkte Ursachen des verringerten WBV sind also der sinkende pH-Wert, die Ausbildung des Rigor mortis, der Gehalt an ATP in der Muskulatur und die Reduzierung der Löslichkeit der myofibrillären Proteine (GREGORY, 1996; HAMM, 1963).

Das Wasserbindungsvermögen ist abhängig vom pH-Wert, das heißt dem Quellvermögen der Fleischproteine. Diese Abhängigkeit trifft bei allen Messverfahren zur Bestimmung des Wasserbindungsvermögens zu (HONIKEL, 1987). Der Saftaustritt bei der Zubereitung des Fleisches und die Schmackhaftigkeit von Fleischgerichten werden vom Wasserbindungsvermögen des Rohmaterials stark beeinflusst (HAMM et al., 1980). Post mortem sinkt der pH-Wert ab und nähert sich dem isoelektrischen Punkt, an dem sich die Muskelproteine nach außen hin neutral verhalten (pH = 5,0 - 5,4). Das bedeutet, dass die Zahl der freien ionisierten Gruppen an den Proteinen abnimmt, worauf die Salze, die im Sarkoplasma enthalten sind, einen Einfluss ausüben (HAMM, 1972; OFFER et al., 1988). Nach HAMM (1972) hat der pH-Wert auch auf die räumliche Anordnung der Myofibrillen Einfluss. Benachbarte Zellen werden gerade am isoelektrischen Punkt durch die größte Zahl der elektrovalenten Salzbindungen zu einem engmaschigen Netz zusammengezogen. Dadurch wird ein großer Teil des Wassers locker außerhalb der Peptide gebunden. Durch die beschriebenen Effekte kann bei Muskelstücken eine lineare Abhängigkeit vom Wasserbindungsvermögen in Abhängigkeit vom End-pH-Wert nachgewiesen werden (BOUTON et al., 1971; OFFER und KNIGHT, 1988; KIM et al., 1985).

Auch SCHWÄGELE (1993) berichtet, dass bei PSE-Schweinefleisch durch die stark beschleunigte Glykolyse die Gewebetemperatur im noch ungekühlten Tierkörper verhältnismäßig hoch ist, so dass es durch das Zusammentreffen von bereits niedrigem pH-Wert und noch hoher Fleischtemperatur kurz nach dem Schlachten zu einer schnelleren partiellen Denaturierung von Muskelproteinen und zum Aufbrechen von Muskelzellmembranen kommt. Demzufolge weist Fleisch mit PSE-Eigenschaften ein vermindertes Wasserbindungsvermögen auf. Der Saftaustritt bei der Zubereitung des Fleisches und die Schmackhaftigkeit von Fleischgerichten werden also vom WBV des Rohmaterials stark beeinflusst (HAMM, 1980). Amtlich wurde in Deutschland in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Untersuchungen nach dem Fleischhygienegesetz (AVVFIHg) vom 23.12.1986 erstmals die Filterpapierpressmethode zur Erfassung der Wasserbindung vorgeschrieben (N.N., 2002 b).

2.2.9.2 Messmethodik

Die Methoden der Messung der Wässrigkeit sind nicht unbedingt miteinander vergleichbar. So werden bei der Filterpapierpressmethode Zellstrukturen verletzt, und der Gehalt an extrazellulärer Flüssigkeit aktiv erhöht (HONIKEL, 1987). Zur Messung des Wasserbindungsvermögens verwandte Methoden lassen sich prinzipiell in drei Gruppen einteilen (HONIKEL, 1987; SCHWÄGELE, 1993):

1. Messung ohne Anwendung eines äußeren Zwangs:

Hier wird die freigesetzte, bzw. verbleibende Menge Wasser im Fleisch beim Lagern oder Hängen nach einer gewissen Zeit gemessen. Hierzu gehört die Tropfsaftverlustmessung. Diese Methoden sind in der Regel zeitaufwendig und sehr empfindlich.

2. Messung unter Anwendung eines mechanischen Zwangs:

Durch die Anwendung von Druck, Zentrifugation oder Saugen. Dazu zählen die Zentrifugiermethoden, die Filterpapier-Pressmethode und die Kapillarovolumetermethode. Bei diesen Methoden wird das Ergebnis innerhalb weniger Minuten bis zu einer Stunde erhalten.

3. Messungen unter Bedingungen des Erhitzens:

Das Wasserbindungsvermögen von erhitztem Fleisch ist von Interesse, da Fleisch in der Regel auch erhitzt verzehrt wird und das beim Erhitzen frei werdende extrazelluläre Wasser (Kochsaft) in hohem Maße von den Erhitzungsbedingungen abhängt (HONIKEL, 1986 b).

Die Bestimmung des Wasserbindevermögens von unerhitztem Fleisch unter Zuhilfenahme der Filterpapier-Pressmethode ist die bekannteste und verbreitetste Methode. Gründe dafür liegen in der einfachen Anwendbarkeit, respektive einfachen Apparatur. Die Filterpapier-Pressmethode nach GRAU-HAMM (1957) wurde von HOFMANN et al. (1982) modifiziert beschrieben. Sie empfehlen, an Stelle der damals weitverbreiteten Angabe der Flüssigkeitsfläche (Flüssigkeitsring) um den Fleischfilm, die Bestimmung des Verhältnisses von Fleischfilmfläche und Gesamtfläche, also das M/T-Verhältnis zu verwenden. Mehrere Vorteile werden hieraus ersichtlich, wobei diese Ergebnisse der Messungen von dem angewandten Pressdruck, der Dauer des Drucks und der Plastizität des Gewebes abhängig sind (HONIKEL, 1986 b):

- Sowohl die Fleischfilmfläche als auch die Fläche des Flüssigkeitsrings werden in diesem Verhältnis berücksichtigt, denn beide Flächen sind von Wichtigkeit für die Bewertung, vor allem wird die Plastizität des Fleisches durch die Größe des Fleischfilmes berücksichtigt.
- Bei einer Bestimmung des Verhältnisses ist es nicht unbedingt erforderlich exakt 0,3 g einzuwiegen, da Mengen zwischen 0,25 und 0,35 g mit Erfahrung auch ohne Wägung rasch zu gewinnen sind.

Vor Eintritt der Totenstarre ist das Fleisch noch weich und dehnbar, da sich noch keine Actinomyosinbrücken ausgebildet haben. Aus diesem Grund wird es bei „Präri-gor-Fleisch“ zu einem ausgedehnteren Fleischfilm kommen, das Verhältnis Fleisch-zu Gesamtfläche wird sich dementsprechend vergrößern (HONIKEL, 1986 b und 1987). Eine völlige sichere Differenzierung zwischen Normal- und PSE-Fleisch ist nicht zu treffen, da durch das Pressen die Zellmembranen auch in Normalfleisch zer-rissen werden. Diese Zellmembranen weisen bei PSE-Fleisch schon ohne Druck Läsionen auf (HONIKEL, 1986 a). Die Filterpapierpressmethode wird oft als Messgröße zur Erfassung von PSE-Eigenschaften empfohlen. Die Unterschiede, die jedoch kurz nach der Schlachtung offensichtlich werden, beruhen mehr auf den Unterschieden der pH-Werte, als auf einer bei PSE-Fleisch erhöhten Wässrigkeit. (HONIKEL, 1986 b). Die Beschreibung des Ablaufes der Untersuchung und der Apparatur sind im Kapitel „Verwendete Geräte und Messmethodik“ (Kap. 3.3.2.3) ausführlich beschrieben.

2.2.6.3 Untersuchungen zur Wässrigkeit in Rind- und Schweinefleisch

Das M/T-Verhältnis hat, wenn die Fleischfläche gleich der Gesamtfläche ist, einen Maximalwert von 1,0. Schlachtwarmes Fleisch mit hohen pH-Werten, also einem guten Wasserbindungsvermögen, weisen Q-Werte über 0,5 auf. Fleisch mit pH-Werten unter 5,8 zeigen einen Q-Wert zwischen 0,45 bis 0,35. Bei PSE-Fleisch können gelegentlich Werte unter 0,3 gemessen werden. Diese Angaben beziehen sich auf eine Entnahme der Fleischproben eine Stunde nach der Schlachtung (HONIKEL, 1986 b und 1987).

In seinen Untersuchungen kommt FUNK-EISELE (2001) zu dem Ergebnis, dass die Bestimmung der Wasserbindungsvermögens und der elektrischen Leitfähigkeit infolge starker Streuung der Werte als selbstständige Methoden zur Beurteilung der Fleischbeschaffenheit nicht einsetzbar sind, sich jedoch als zweckmäßige Ergänzung zur pH-Wert-Messung erweisen. Das heißt, dass eine Beurteilung der Qualität anhand des pH-Wertes durch Bestimmung des Q-Wertes und der Messung der elektrischen Leitfähigkeit abgesichert werden kann. Zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Wasserbindungsvermögen ermittelte sie eine signifikante negative Korrelation ($p < 0,05$). Daher wurden für diese beiden Parameter Richtwerte erarbeitet:

- Beschleunigte Glykolyse:
Q-Wert $< 0,3$
 $LF_{45\text{min}} > 4,4 \text{ mS/cm}$
 $LF_{24\text{h}} > 4,8 \text{ mS/cm}$
- Verzögerte Glykolyse:
Q-Wert $> 0,4$.

HAMM et al. (1980) haben umfangreiche Untersuchungen zum Wasserbindungsvermögen gemacht. Sie beschreiben, dass die Quellung des Gewebes bei pH 5,9 nur verhältnismäßig gering ist, so dass sich Vernetzungen zwischen den Filamenten beim Rigor auf die Quellung und das WBV kaum noch zusätzlich auswirken kann. Deshalb nimmt innerhalb von 24 Stunden das für die Brühwurstherstellung günstige hohe Wasserbindungsvermögen ab und die Entwicklung des Rigor mortis hat keinen Einfluss auf das Wasserbindungsvermögen von ungesalzenem Fleisch. Laut HÖRETH und DOBROWOLSKY (1994) erreichen die Beziehungen der Reflexionswerte beim Vergleich der Helligkeitsmessung mit den anderen physikalischen Merkmalen der Fleischbeschaffenheit lediglich mittlere Größenordnung.

2.3 Elektrostimulierung

2.3.1 Definition und Untersuchungen anderer Autoren

Die Elektrostimulierung wird charakterisiert als eine Reizung der Muskulatur von Schlachttierkörpern durch das Anlegen einer elektrischen Spannung post mortem. Dadurch entstehen krampfartige Muskelkontraktionen, die von Dauer, Art und Höhe der angelegten Spannung abhängig sind (BENDALL et al., 1976). Erstmals wurde der Einfluss der Elektrostimulation 1758 von FRANKLIN auf die Fleischqualität beschrieben (RING und TAYLOR, 1988). Aber erst gut 200 Jahre später wurde die Elektrostimulation erstmals 1975 in Neuseeland bei der Schlachtung von Lämmern eingesetzt (SMULDERS und EIKELENBOOM, 1986). Ziel war hierbei die Unterbindung von Cold-shortening durch zu schnelle Abkühlung von Lammschlachttierkörpern. Seit 1979 wurde vor allem in USA die Elektrostimulierung bei Rindern breitflächig eingeführt, nachdem auch andere positive Einflüsse auf die Fleischqualität wie Erhöhung der Zartheit, Verbesserungen im Geschmack und eine verkürzte Reifezeit nachgewiesen waren (WOLTERS DORF und HONIKEL, 1982; GEROLD, 1993).

Die durch die Elektrostimulierung erzeugten elektrischen Impulse führen zu einer postmortalen Muskelkontraktion (WICHLACZ et al., 1992). Zur Muskelkontraktion wird Energie in Form von ATP verbraucht, die postmortal, wie schon ausführlich beschrieben (Kap. 2.1.2), durch den Abbau von Glykogen erzeugt wird. Dadurch entsteht als Endprodukt Milchsäure, und der pH-Wert sinkt. Die Energiereserven werden durch Elektrostimulierung und den damit verbundenen Muskelkontraktionen nach dem Schlachten schneller erschöpft, und der Rigor mortis tritt schneller ein (CHRYSTALL, 1994). Der frühere Eintritt des Rigors erlaubt, ohne Cold-shortening befürchten zu müssen, eine schnellere Kühlung. Andererseits erfordert die Elektrostimulierung eine nicht zu langsame Kühlung der Karkassen, da es sonst zu einer Rigorverkürzung kommt (LOCKER und HAGYARD, 1963). PEARSON und YOUNG beschrieben bereits 1989 diesen Effekt: Ist der pH-Wert kurz vor Eintritt des Rigor mortis noch bei Werten von 5,7 - 6,0 und das bei Temperaturen von $> 20^{\circ}\text{C}$, kann die hier eintretende Verkürzung bis zu 50% ausmachen. Die Folgen sind vergleichbar mit denen des Cold-shortenings. In beiden Fällen resultiert zähes Fleisch mit hohem Kochsaftverlust. Die Geschwindigkeit der Abnahme des pH-Wertes ist von der ange-

legten Spannung der Elektrostimulation abhängig. Sie verläuft mit doppelter Geschwindigkeit im Vergleich zu unstimuliertem Fleisch (0,3 Einheiten/h statt 0,16 Einheiten/h). Die Zeitspanne bis zum Erreichen des End-pH-Wertes (etwa 5,5) kann dadurch im M. long. dorsi um den Faktor 3 reduziert werden. Der Rigor mortis kann bei Stimulation des M. long. dorsi mit 100 Volt schon nach 3,5 Stunden eintreten, wenn ein pH-Wert von etwa 6,0 erreicht ist (SPECHT und KUNIS, 1989; GEROLD, 1993).

Eine entscheidende Rolle spielte der Einsatz der Elektrostimulation bei Schlachtierkörpern von Schaf und Rind. Später wurde auch über die Stimulation von Schweinefleisch diskutiert, die aber an Stelle von zartem Fleisch, PSE-Fleisch erzeugte (HONIKEL, 2002 c). Die postmortale Glykolyse in der Muskulatur von Schweinen läuft generell wesentlich schneller ab als bei Fleisch von Wiederkäuern. Deshalb stellte sich auch hier das Problem des schnelleren Abbaus von ATP und damit der Gefahr von Cold-shortening bei schneller Kühlung nicht. Somit hat auch die Elektrostimulation von Schweinen nie praktische Bedeutung erlangt (FISCHER, 1999 a). Während die ersten Ergebnisse der Elektrostimulation vor allem bei Schafen, aber später auch bei Rindern, mit einer Hochvoltanlage durchgeführt wurden, hat sich in den letzten 20 Jahren immer mehr die Niedervoltstimulation durchgesetzt, die aus Arbeitsschutzgründen zu bevorzugen ist. Hierbei handelt es sich um Spannungen von 20 - 90 Volt innerhalb der ersten 15 Minuten p.m. (HONIKEL, 2002 c). Die Elektrostimulation mit höheren Spannungen (Hochvoltstimulation mit 200 - 1000 Volt im Zeitraum von 30 - 60 Minuten p.m.) bedingt umfangreiche Vorsichtsmaßnahmen bezüglich des Arbeitsschutzes.

Wenn auf die hygienischen und wirtschaftlichen Vorteile einer raschen Kühlung nicht verzichtet werden soll, betonen auch andere Autoren das große Interesse an der Möglichkeit die energiereichen Verbindungen post mortem schneller ablaufen zu lassen. Sie beschreiben in diesem Falle die Methode der postmortalen Elektrostimulation. Die Effektivität sei jedoch nur bis 45 min nach der Schlachtung gegeben (BENDALL et al. 1976; BOUTON et al. 1980; HONIKEL 1979), wobei hier von der Hochvoltstimulation beim Rind ausgegangen wird.

GEROLD (1993) führte Versuche zur Elektrostimulation bei Rindern durch. Er fand bei den stimulierten Schlachtrindern einen beschleunigten pH-Wert-Abfall um 0,5

Einheiten in den ersten zwei Stunden p.m., der sich durch Verdreifachung der Stimulierungsdauer noch signifikant um 0,2 pH-Einheiten steigern ließ. Ebenso konnte der Autor einen signifikanten Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit von unstimulierten (3,5 mS/cm) gegenüber stimulierten Tieren feststellen (3,7 mS/cm). Dieser Anstieg zeigte sich umso höher, je länger die Stimulierung andauerte. Die beim Schwein bekannte Korrelation zwischen erhöhtem Leitfähigkeitswert und einem verminderten Wasserbindungsvermögen durch überstürzte Glykolyse konnte er beim Rind nicht feststellen. Ebenfalls war bei diesen Untersuchungen ein schwallartiges Austreten von Blut aus dem Stich auffallend. GEROLD zeichnete die Entleerung der großen Gefäße, bedingt durch die Muskelkontraktionen und der damit verbundenen Anhebung der Vordergliedmaßen, verantwortlich. Er begründete diese Meinung damit, dass die Elektrostimulation bei seinen Versuchen keine Änderungen in der Farbheligkeit des Fleisches zeigte, es ließ sich somit kein Einfluss der Stimulierung auf die Entblutung nachweisen.

WOLTERSDORF und HONIKEL (1982) konnten auch gewichtsmäßig keine Unterschiede im Ausblutungsgrad von Rinderschlachttierkörpern feststellen. Unmittelbar nach der Elektrostimulation waren bei ihren Untersuchungen ca. 50% der Tiere besser ausgeblutet. Diese Unterschiede waren nach einer erneuten Messung nach 7-tägigem Abhängen, nicht mehr vorhanden. 2,5 Stunden nach der Elektrostimulation (Warmfleischzerlegung) an den stimulierten Tierkörperhälften fanden sie jedoch eine erhöhte Schnitffestigkeit des Fleisches.

Ebenfalls durch die Stimulierung von Rinderschlachttierkörpern fand KLETTNER (1996) einen pH-Wert-Abfall von pH 7,0 auf pH 6,6, also um 0,4 pH-Einheiten. Diese Differenz des pH-Wertes blieb bis zum Eintritt des Rigor mortis erhalten. Außerdem war durch die Stimulierung eine Temperaturerhöhung um 0,35° C festzustellen. In den stimulierten Muskeln wurde die Totenstarre (bei ca. pH 5,9) nach 7 Stunden erreicht und im Kontrollmuskel nach 13 Stunden. Der Rigor setzte also im stimulierten Muskel ca. 6 Stunden früher ein als im Kontrollmuskel. Das kann bei einer schnellen Kühlung entscheidend sein, um Kältekontraktur zu vermeiden.

BROWKER et al. (1999) gingen der Frage nach, ob sich durch die frühpostmortale Stimulierung von Schlachtschweinen PSE-Fleisch erzeugen lässt. Im M. long. dorsi der stimulierten Schlachtkörper wurde in der ersten Stunde nach dem Schlachten ein

erheblich schnellerer pH-Wert-Abfall und eine deutlich höhere Gewebetemperatur als in der nicht stimulierten Kontrollgruppe gemessen. Die Autoren bezogen in ihre Untersuchungen dabei Schweine verschiedener Rassen mit ein, auch solche, die prädestiniert für die Ausbildung von PSE sind. Signifikante Beziehungen zwischen Behandlung, Bemuskelung, bzw. Halothantyp wurden nicht festgestellt. Die Elektrostimulation wirkte sich anscheinend so stark auf den Abbau von ATP und Glykogen aus, dass die genetisch bedingten Unterschiede (NN und Nn-Tiere) vollkommen überlagert wurden. Sie führen diesen Effekt auf direkte Beschädigungen der Zellmembranen und gesteigerte Calcium-Freisetzung zurück. Abschließend kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Elektrostimulation bei Schweinen sich ausgezeichnet eigne, PSE-Fleisch darzustellen.

REES et al. (2003 a) fanden bei ihren Untersuchungen einen, durch den Einsatz der Elektrostimulation bedingten, signifikanten Unterschied in Bezug auf den postmortalen pH-Wert-Abfall an 24 männlichen unkastrierten Schweinen mit einem Lebendgewicht von durchschnittlich 90 kg. Die Betäubung wurde entweder mit CO₂ (90%) oder mit Elektrobetäubung (1,3 A für 4 sec) durchgeführt. Von jeder Gruppe wurde die Hälfte mit einer Stimuliereinheit 4 min p.m. (14 Hz für 15 sec) behandelt. Die Betäubung hatte ebenso einen Effekt auf den pH-Wert-Abfall wie auch die Stimulierung. Die Autoren konnten nachweisen, dass bei den stimulierten Tierkörpern (n = 12) der End-pH nach 2 Stunden erreicht war, bei den unstimulierten Tierkörpern jedoch erst nach 12 Stunden. In einer zweiten Arbeit von REES et al. (2003 b) wurde die Beziehung der Elektrostimulation zur Kühlmethode untersucht. Hierfür wurden bis zum Einsetzen des Rigor mortis mit Temperaturen von 2°C bzw. 14°C gekühlt. Außer bei den elektrostimulierten Tierkörpern wurde mit der niedrigeren Temperatur Cold-shortening ausgelöst. Die Kühlung bei Temperaturen von 14°C erhöhte die Zeit bis zum Eintreten des Rigor mortis um 1,3 Stunden und bewirkte eine höhere Geschwindigkeit der Zartheitsentwicklung bis zu 4 Tagen nach dem Schlachten. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Cold-shortening auf jeden Fall vermieden werden muss, und dass die Elektrostimulation mit Niedervolt unmittelbar nach der Schlachtung keine Auswirkungen auf ein vermehrtes Auftreten von PSE hat. Bei diesen untersuchten Schlachttieren handelte es sich um eine Kreuzung der Rassen LW*LR, welche von der genetischen Veranlagung her nicht zur Ausbildung von PSE-Fleisch neigt (HONIKEL, 2004).

2.3.2 Beziehung zwischen Betäubung und Elektrostimulierung

Die Betäubungsart beeinflusst ebenfalls die postmortalen Vorgänge in der Muskulatur. Durch die Elektrobetäubung wird das gesamte Nervensystem stimuliert und führt durch die Ausschüttung der Calciumionen in den extrazellulären Raum der Muskulatur zu einem erhöhten Stoffwechsel. Der Abbau der in Form von Glykogen gespeicherten Energieträger unter anaeroben Bedingungen resultiert schließlich in einer raschen Anhäufung von Laktat und Wasserstoffionen. Der pH-Wert sinkt ab und die Totenstarre tritt bereits in der noch nicht vollständig heruntergekühlten Muskulatur ein (TROEGER und WOLTERS DORF, 1989). Dadurch wird zum Einen die unerwünschte Kälteverkürzung (Cold-shortening) der Muskeln verhindert, und zum Andern ergeben sich auch Konsequenzen hinsichtlich der Umsetzungsgeschwindigkeit der an der Fleischreifung beteiligten Muskelenzyme. Lysosomale Proteasen werden durch den zügigfallenden pH-Wert aktiviert und können bei noch hohen Muskeltemperaturen effektiver und schneller Einfluss auf die Ab- und Umbauprozessen der myofibrillären Struktur nehmen (Kap. 2.1.1). Vorteilhaft ist zudem die schlagartige Erhöhung der Calciumionen-Konzentration in den Muskelzellen als Folge der elektrischen Stimulierung für die proteolytischen Enzyme. Bereits während der Betäubung wird deren Wirkung bei noch annähernd physiologischem pH-Wert verstärkt. Aufgrund der oben ausgeführten Vorgänge wird die Fleischzartheit bei Rindern durch die Elektrobetäubung positiv beeinflusst (AICHINER, 2003). Bei der heute üblichen elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen kommt es neben der erwünschten Wirkung der Bewusstlosigkeit jedoch auch zu Nebenwirkungen, wie Knochenbrüchen, Gefäßzerreißen, Tod der Tiere vor dem Entbluten, sowie zu einer vermehrten Ausschüttung von Stresshormonen. MÄNNL (1994) ist der Auffassung, dass die Glykolyse durch die Elektrobetäubung in Verbindung mit der genetischen Disposition und der Vorbehandlung der Tiere beschleunigt wird.

Versuche von DEVINE et al. (1984) zeigen, dass eine Ganzkörperdurchströmung („head to body“) im Vergleich zur Kopfbetäubung („head only“) einen schnelleren pH-Wert-Abfall zur Folge hat. So wurde bei einer Betäubungsdauer von 1,4 Sekunden ein pH von 6,0 nach ca. 7 Stunden erreicht. Der pH-Wert der kopfbetäubten Tiere lag nach dieser Zeitspanne noch über 6,4. Weiterhin konnte die Abhängigkeit des pH-Wertes von der Betäubungsdauer nachgewiesen werden. Floss der Strom 120 Se-

kunden, fiel der initiale pH noch rapider ab, und der Rigor mortis war nach spätestens 3 Stunden erreicht. Ähnliche Resultate bekamen PETERSEN und BLACKMORE (1982) bei Versuchen mit Lämmern: Im Vergleich mit Tieren, die unbetäubt waren, durch Bolzenschuss oder nur durch Kopfdurchströmung betäubt wurden, wiesen diejenigen Lämmer, bei denen gleichzeitig Kopf und Vordergliedmaßen durchströmt wurden („head to foreleg“), deutlich niedrigere initiale pH-Werte auf (AICHINGER, 2003).

AICHINGER führte 2003 an insgesamt 371 Schlachttierkörperhälften von Rindern pH-Wert-Messungen durch, um den Einfluss der Elektrobetäubung auf die Fleischqualität zu überprüfen. Im Vergleich zu konventionellen Betäubungsmethoden fiel der initiale pH-Wert schneller ab, wobei das Niveau des End-pH-Wertes sich nicht änderte. Auch bei der Verwendung unterschiedlicher Betäubungsstromstärken konnten keine negativen Einflüsse auf die Fleischqualität festgestellt werden. Die Untersuchungen an Schlachtrindern von SPECHT und KUNIS (1989) ergaben nach Elektrobetäubung anfängliche pH-Wert-Absenkungen in der Muskulatur weiblicher Rinder p.m. von ca. 0,3 bis 0,4 Einheiten, vergleichbar des pH-Wert-Abfalles nach einer Elektrostimulierung. Dagegen wiesen männliche Tiere eine abnorm verlaufende Glykolyse auf, und daraus folgend häufig einen etwa 0,3 bis 0,4 Einheiten höheren End-pH, was auf unerwünschtes DFD-Fleisch schließen lässt. Besonders in Kombination mit Elektrostimulierung traten bis zu 50 % DFD-Fleisch auf. Der Grund für dieses Phänomen scheint an dem höheren Stress der Bullen vor der Schlachtung und während der Elektrobetäubung zu liegen, wobei die Glykogenvorräte erschöpft werden. Physische Erschöpfung und sozialer Stress können beim Rind eine deutliche individuelle Variation bei der pH-Wert-Entwicklung haben und DFD-Fleisch begünstigen, insbesondere in Verbindung mit Elektrostimulierung (FJELKNER-MODIG und RUDÉRUS, 1983).

GEESINK et al. (2001) führten Untersuchungen an 20 Rindern im Zusammenhang mit der Betäubung und Stimulierung durch. Hierbei wurden 20 Tiere während der Entblutung für 20 und 80 Sekunden bei 75 V und 15 Hz durch Stromfluss immobilisiert. Die Zeit-pH-Wert Kurven zeigten, dass beide Methoden sehr effektiv waren. Die längere Stimulierung bewirkte, dass der pH-Wert bei noch zu hohen Temperaturen zu rasch absank. (Erreichen des pH von 5,5 nach 1,5 Stunden bei 25 - 30 °C). Daraus schlossen die Autoren, dass die Proteine für das Reifen und Zartwerden der

Muskulatur deaktiviert werden können. Daher wurde vorgeschlagen, die Intensität der Stimulierung nicht zu hoch anzusetzen. Die kürzere Zeit (s.o.) sei ausreichend. Sie betonen, dass bei einer Immobilisierung durch Strom die Elektrostimulation nicht vonnöten sei. Eine Messung des pH-Wertes in der frühpostmortalen Phase zusammen mit der Bestimmung der Temperatur sei in der Lage festzustellen, ob die Schlachttierkörper richtig behandelt worden seien.

3. Eigene Untersuchungen

3.1. Betriebsbeschreibung

3.1.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die Messungen wurden in einem zugelassenen süddeutschen Schlachtbetrieb durchgeführt. Die Anlieferung und Aufstallung der Tiere erfolgte bis zu 12 Stunden vor der Schlachtung in Gruppen von bis zu 60 Tieren. Die Betäubung der Tiere wurde mittels Restrainer (Stromladung: 12 - 15 Coulomb) durchgeführt.

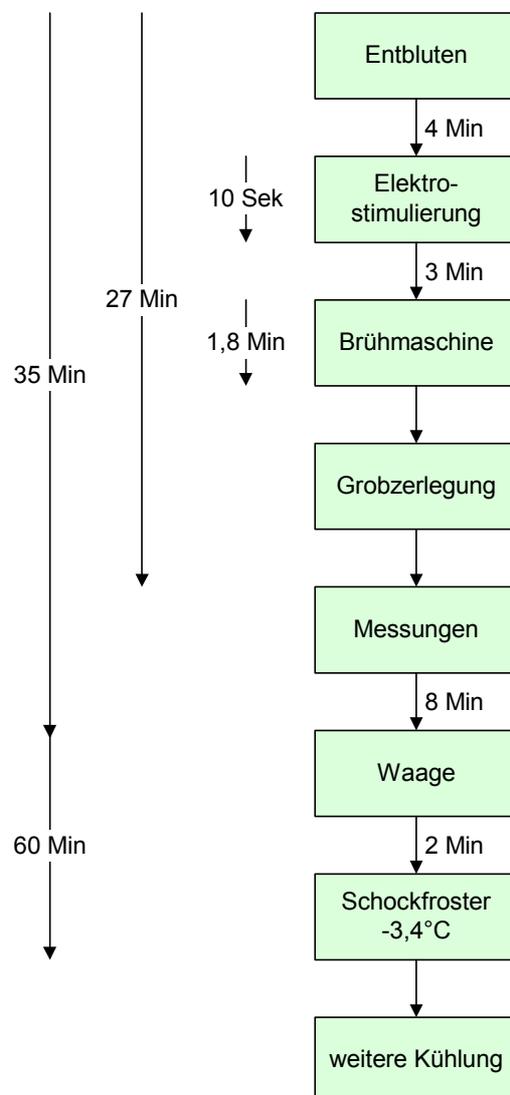


Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf der Schweineschlachtung im untersuchten Schlachtbetrieb

Die sich an die Stimulierung anschließende Brühzeit betrug 1,8 Minuten bei 64 – 62°C. Nach der Klassifizierung wurden die Schlachttiere einer Ausgleichskühlung von ca. 1 Stunde bei durchschnittlich -3,4°C unterzogen, bevor die Aufbewahrung im Kühlraum bei durchschnittlich +3,6°C erfolgte (Abb. 2).

3.1.2 Elektrostimulierung

Die elektrische Stimulierung der Schlachtschweine wurde in dem Schlachtbetrieb mit dem Gerät Beef Low Voltage Stimulator, Modell BV 80, der Firma Jarvis durchgeführt. Dieses befand sich am Schlachtband direkt nach dem Anschlingen der Schweine. Der Stromfluss erfolgte durch eine Metall-Kunststoff-Vorrichtung (= Elektrode), an der die Schweine entlang transportiert wurden. Dabei war diese Vorrichtung leicht versetzt zur Vertikalen, wodurch jedes Schlachtschwein beim Durchlaufen direkten Kontakt mit der Elektrode erhielt (Abb. 3). Das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit hat die elektrotechnischen Ausgangswerte dieses Gerätes festgestellt (N.N., 2004).



Abbildung 3: Elektrostimulierung Schweine, Apparatur im Schlachtbetrieb

Das Gerät verfügt über folgende Einstellmöglichkeiten:

1. Kippschalterstellung, Leuchtdiode ein:

Bei dieser Schalterstellung wird eine elektrische Gleichstromspannung 66 Volt, bei Anlegung eines Ohmschen Widerstandes von 150 Ohm gemessen. Bei einem Widerstand von 250 Ohm reagiert das Gerät wie

bei einem Kurzschluss. Die Spannung weist Schwankungen um 1 Volt mit einer Frequenz von 100 Herz auf.

2. Kippschalterstellung, Leuchtdiode aus:

Bei dieser Schalterstellung wird ein Gleichstrom mit Impulsen gemessen. Die Impulse treten in der Folge von ca. 60 Millisekunden für die Dauer von ca. 6 Millisekunden auf. Die Frequenz beträgt 14,04 Hertz, wobei die elektrische Spannung und Stromstärke von dem angelegten Widerstand abhängt. Diese Einstellungen wurden im untersuchten Schlachtbetrieb verwendet.

3. Kippschalterstellung, Leuchtdiode aus, Schiebeschalter ein:

Stromart und Stromverlauf sind wie unter 2. beschrieben, aber zusätzlich findet noch eine kurze Abschaltung des Stromflusses im 5-Sekunden-Rhythmus statt. Der Schiebeschalter „Stellung ein“ hat, wie unter 1. dargestellt, keine Funktion.

Das elektrische Stimulationsgerät kann sekundärseitig drei verschiedene Gleichstromarten abgeben. Im Leerlauf liegt eine Gleichspannung von > 85 Volt an, die entsprechend eines angelegten Widerstandes in der Höhe abnimmt. Bei Anlegen einer Belastung bricht die Spannung zusammen und zeigt noch Werte < 30 Volt. Anmerkung: Bei der Stromstärke verhält es sich gleich wie mit der Spannung. Bei gleichbleibender Widerstandsgröße nimmt die Stromstärke mit fallender Spannung ab. Der Hersteller empfiehlt die Stimulierung für Rinder nach 30 sec. bis 10 min p.m., die Befestigung der Elektrode am Flotzmaul (auf Grund des hohen Widerstandes bedingt durch das Fell) und die Positionierung des BV-80 Stimulators mittig im Verlauf der Strecke der Stimulierung:

Beginn Stimulierung ← BV - 80 → Ende Stimulierung.

Einstellungsmöglichkeiten sind durch einen Kippschalter mit Leuchtdiodenanzeige, einen Schiebeschalter für die Unterbrechung des Stromflusses und durch einen Mehrfachschalter zur Einstellung der Einschaltzeit gegeben. Dieser war im untersuchten Schlachtbetrieb so positioniert, dass eine Stimulationsdauer von 10 Sekunden nicht überschritten werden sollte; das heißt, der Stromfluss wurde bei einem Stopp des Schlachtbandes ebenfalls unterbrochen. Die Feuchtigkeit der Schlachttiere übertrug

sich jedoch schon nach kurzer Betriebszeit auf das Kunststoffband, das der Metallschiene unterlegt war, zusätzlich berührten sich in 50% der Fälle die Tiere schon vor der eigentlich vorgesehenen Stimulierung, so dass eine insgesamt mittlere Stimulierungsdauer von 14,26 sec. in praxi stattfand. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Vorstimulierung je nach Berührung der Tierkörper untereinander phasenweise verlief, die eigentliche Stimulierung jedoch als 10 sec Dauerstimulierung kontinuierlich vorgesehen war. Das Gerät wurde nicht auf die Einhaltung einschlägiger DIN-Normen und auf die Wirkungsweise für den Verwendungszweck der Stimulation geschlachteter Schweine geprüft. Eine Anleitung des Herstellers für die Stimulierung von Schweinen liegt nicht vor.

3.2 Tiermaterial

3.2.1 Herkunft und Auswahl der untersuchten Schlachttiere

Es wurden marktübliche Schlachttierkörper aus dem laufenden Schlachtband von insgesamt 150 verschiedenen Schweinemastbetrieben untersucht. Die Messungen des pH-Wertes konnten bei einer durchschnittlichen Schlachtgeschwindigkeit von 200 Schweinen/h an ca. jedem fünften Schlachttierkörper durchgeführt werden. Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, gezielt Tiere aus einzelnen Betrieben zu untersuchen. Eber, Binneneber und Zwitter wurden von den Messungen ausgeschlossen, ebenso wie Ferkel oder Mutterschweine. Die Identifizierung erfolgte mittels der von den Fleischkontrolleuren aufgebrachten Trichinennummer. In Verbindung mit dem Schlagstempel und der vom Fleischprüfing erfassten Schlachtnummer kann so eine einwandfreie Rückverfolgbarkeit garantiert werden.

Lediglich von 3 Zulieferbetrieben konnte jeweils eine Gruppe stimulierter und eine Kontrollgruppe mit unstimulierten Tieren erfasst werden (Kap. 4). Die Anteile der Herkunftsbetriebe an der Gesamtanzahl der untersuchten Schlachttierkörper ist im Anhang dargestellt (Abb. 41).

- Betrieb 1 verfügt über 2000 Mastplätze im Kammerstall. Die Ferkel werden mit einem Gewicht von 28 - 29 kg (Bayern-Hybrid, „Frankenferkel“) zugekauft. In der Hauptmast (ca. 120 Tage) wird Weizen, Gerste und Hauptmastergänzer gefüttert (Flüssigfütterung). Nach Erreichen des Mastendgewichtes werden zunächst die männlichen Tiere geschlachtet. Die weiblichen Schweine werden ca. eine Woche nachgemästet, bevor der Stall geleert wird. Die Verladung für den Transport zum Schlachtbetrieb dauert ca. 30 min, ebenso wie der Transport zur Schlachtstätte. Die Schlachttiere werden unmittelbar nach der Ankunft im Schlachtbetrieb der Schlachtung zugeführt.
- Betrieb 2 verfügt über 1400 - 1600 Mastplätze und Stallungen für 600 Ferkel. Die Ferkel werden von zwei verschiedenen Züchtern aus dem Bundeshybridzuchtprogramm (BHZP) mit 7 - 8 kg Gewicht zugekauft und vor der Einstellung in den Kammerstall (Spaltenboden, 100er Abteile) 6 Wochen lang bis zu einem Körpergewicht von 20 - 21 kg gemästet. Die sich anschließende Hauptmastperiode dauert zwischen 115 und 120 Tage. Die Ställe werden im „Rein-Raus“-Verfahren geleert, gereinigt und desinfiziert. Gefüttert wird eine hofeigene Mischung aus Getreide, Soja und Mineralfutter. Die Verladung für den Transport zum Schlachthof dauert 1,5 h, bei einer Transportdauer von 45 min. Die Schlachttiere ruhen länger als 4 Stunden nach dem Transport vor der Schlachtung.
- Betrieb 3 verfügt über maximal 900 Mastplätze im Kammersystem (bis zu 104 Schweine je Kammer) mit Spaltenboden. Die Tiere aus der Dänischen Hybridzucht werden in 14-tägigen Intervallen mit einem Körpergewicht zwischen 25 und 29 kg vom Ferkelerzeuger gekauft und zunächst 4 Wochen lang im abgetrennten Vormastbereich gehalten. Nach Umstallung in den Hauptmastbereich (Gruppenställe zu je 13 Tieren) schließt sich die 2 - 3 Monate dauernde Hauptmastperiode an. Die Schweine werden mit Flüssigfutter (Triticale, Nassmais, Wintergerste, Vormast- bzw. Hauptmastergänzer) bis zu einem Mastendgewicht von ca. 100 kg schlachtreif gefüttert. Einzelne Tiere verbleiben bis zum Erreichen des gewünschten Schlachtgewichtes im Nachmastbereich. Die Verladung zum Transport dauert ca. 30 min, die Transportdauer in den Schlachtbetrieb ist mit 40 min zu veranschlagen. Ebenso wie die Tiere aus Betrieb 2 werden die Schlachtschweine über 4 Stunden im Schlachtbetrieb aufgestallt.

3.2.2 Anzahl der Messungen

Am Schlachtband konnten die Messung der Leitfähigkeit und des pH-Wertes 30 min post mortem durchgeführt werden. Die Reflexionswerte wurden 35 min p.m. durch die Mitarbeiter des Fleischprüfringes e.V. erhoben. Nach 4 h, 12 h und bei einem Teil der Schlachttiere auch nach 18 h p.m. wurden die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes wiederholt (Tab. 9).

Untersuchungs- tag	Stimulierung	Leitfähig- keit pH-Wert	Auspressbare Gewebs- flüssigk.	Wasser- verbrauch	Messsonde Fleisch- prüfring	Erfassung Geschlecht
1	x	x	x	viel	x	
2	x	x	x	viel	x	
3	x	x	x	viel	Ersatz- sonde	
4		x	x	viel	x	
5		x	x	viel	x	
6	x	x	x	viel	x	
7		x	x	viel	x	
8	x	x	x	wenig	x	
9	x	x	x	wenig	x	
10	x	x		wenig	x	x
11	x	x		wenig	x	x
12	x	x		wenig	x	x
13	x	x		viel	x	x
14		x		viel	x	x
15		x		viel	x	x
16		x		viel	x	x

Tabelle 9: Messungen gesamt, Übersicht

An insgesamt 16 Messtagen (im Zeitraum von Oktober 2003 bis Januar 2004) wurden an 759 Schweinen Messungen durchgeführt. Hierbei wurde je eine Gruppe stimulierter (n = 492) und unstimulierter (n = 267) Tiere mit einbezogen (Anhang: Tab. 53). Für die Vorversuche wurden ebenfalls jeweils eine Gruppe stimulierter und nicht stimulierter Tiere untersucht (Untersuchungstage 1 - 7).

Aus betrieblichen Gründen wurde die Menge an Wasser, mit der die Schweine vor der Betäubung angefeuchtet werden, unabhängig von den Untersuchungen vermindert (Untersuchungstage 8 - 12). An den Untersuchungstagen 10 - 16 wurde das Geschlecht der Schlachttiere mit aufgenommen. Mit in die Auswertungen einbezogen wurden auch Daten der Schlachttiere, die vom Fleischprüfing 35 min p.m. erhoben werden (Kap. 3.3.3).

3.2.3 Eigene Beobachtungen

In den Stromflussphasen war bei den Tieren ein ruckartiges Heben der Vordergliedmaßen und eine Streckung der rechten, nicht angefesselten Hintergliedmaße zu sehen. Die Muskelkontraktionen verblieben für die Dauer der Stimulierung in einem tetanischen Streckkrampf; bei der „Vorstimulierung“ waren jedoch tonisch-klonische Kontraktionen zu erkennen. Bei Streckung der Vorderextremität konnte ein vermehrter Abfluss von Blut beobachtet werden. Dieser konnte aus räumlichen und sicherheitstechnischen Gründen nicht aufgefangen werden. Schätzungsweise handelte es sich um ein Volumen von ca. 50 ml. Bei den Messungen 30 min p.m. fiel bei Tieren mit $\text{pH} < 5,8$ eine Steifheit der Vordergliedmaße und die Festigkeit der gesamten Muskulatur auf (beginnender Rigor mortis). Im Schweinekühlraum, 4 h p.m., konnte festgestellt werden, dass bei den stimulierten Schweinen vermehrt Flüssigkeit aus dem Einstichloch der Hennessy-Sonde trat. Bei den späteren Messungen war dieser nun angetrocknete Flüssigkeitsstreifen deutlich zu sehen. Bei unstimulierten Schweinen war dies nur in Ausnahmefällen zu erkennen.

3.3 Verwendete Geräte und Messmethodik

3.3.1. Zeitablauf der Messungen, tägliche Übersicht

Die Bestimmung der Fleischfarbe (L^* -Wert) war aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Daher wurde das hauptsächliche Augenmerk bei der Auswertung auf die Beziehung der elektrischen Leitfähigkeit zum traditionellen Fleischbeschaffensparameter pH-Wert gelegt. Die Durchführung der Messungen musste sich in den

täglichen Schlachtablauf eingliedern, um Verzögerungen der Schlachtung und die damit verbundenen Wartezeiten für das Schlachtpersonal zu vermeiden.

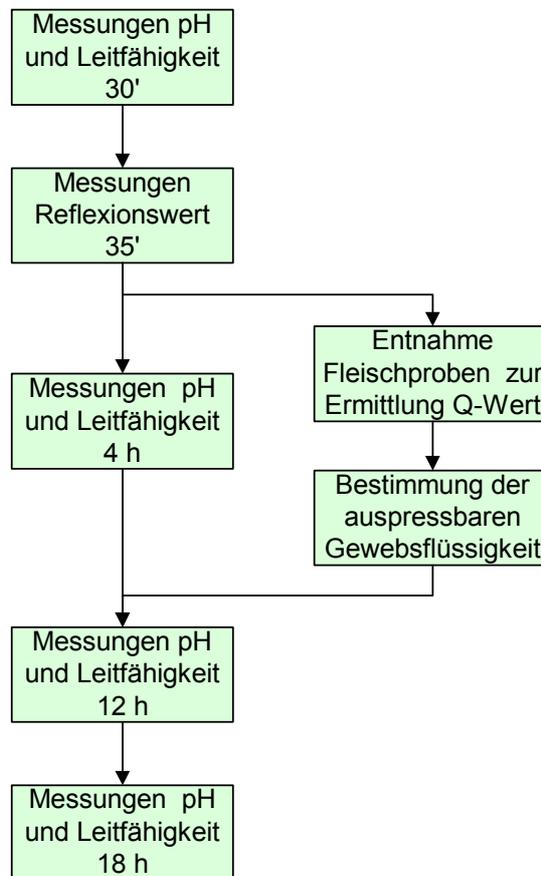


Abbildung 4: Täglicher Ablauf der Messungen

Die Messungen 30 Minuten nach Schlachtung wurden direkt an der Schlachtlinie durchgeführt. Die Tierkörper wurden gekennzeichnet und nach der Passage durch den „Schockfroster“ im Kühlraum separiert. Nach Verbringung in den Kühlraum wurden die Fleischproben für die Untersuchung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit entnommen (ca. 2 h p.m.) und sofort untersucht. Hierbei wurde die bereits ange-trocknete Muskelschicht sorgfältig abpräpariert und frisches Gewebe aus der Tiefe zur Untersuchung verwendet. Weitere Messungen von pH-Wert und elektrischer Leit-fähigkeit erfolgten 4, 12 und 18 Stunden nach der Schlachtung (Abb. 4).

3.3.2 Material und Durchführung der Messungen

3.3.2.1 pH-Wert

Die Messungen des pH-Wertes wurden mit dem Gerät pH-Star CPU (Firma Matthäus, Nobitz) durchgeführt. Es wurde jeweils die rechte Tierkörperhälfte gemessen, da die Tiere p.m. an der linken Körperhälfte aufgezogen wurden. Mit einem Vorstechdorn für die pH-Wert Elektrode (Firma Matthäus, Nobitz) wurde ein Loch in die Messkette (Fett- und Faszienuflage) gestochen. Daraufhin wurde die Glaselektrode vollständig eingeführt, um eine Einstichtiefe von 2,5 cm zu erreichen, wobei für jede Messung, zum Erhalt eines optimalen Kontaktes zur Elektrode eine neue Einstichstelle verwendet wurde. Nach Einstellung eines stabilen Endwertes wurde der pH-Wert auf 0,01 Einheiten genau angegeben, bei jeder Messlokalisierung wiederholt und zur Auswertung das arithmetische Mittel gebildet. Folgende Einstichpunkte wurden hierbei verwendet:

1. Im M. semimembranosus im Winkel von 120° ca. 5 cm vom kaudalen Ende der Symphysis pelvis von medial nach lateral.
2. Im M. long. dorsi zwischen dem 13. und 14. Processus spinosus der Brustwirbel von medial nach lateral.

Bei der ersten Messung (ca. 30 Minuten p.m.) wurden die Daten über ein digitales Diktiergerät aufgenommen und entweder sofort nach der ersten Messreihe abgenommen oder (bei zu großer Probenanzahl) in ein Notebook eingespielt und später zu Papier gebracht. Die direkt am Schlachtband gemessenen Schlachthälften wurden zusätzlich mit einem Lebensmittelstift zur besseren Rückverfolgbarkeit nach der Schnellkühlung im Schockfroster gekennzeichnet.

Um eine exakte pH-Wert-Messung zu ermöglichen, wurden vorab zu den Untersuchungszeitpunkten die Temperaturen der Tierkörperhälften an 30 - 50 Schweinen an den Messpunkten in 2,5 cm Tiefe ermittelt. Die selbst ermittelten Temperaturwerte deckten sich mit den vom Schlachtbetrieb erhobenen Daten über den Verlauf der Kühlung. Die Messung erfolgte mit dem geeichten Einstichthermometer technoterm 1500 (Firma Testoterm KG Fritzsching, Lenzkirch), die Auswertung durch Berechnen des arithmetischen Mittels. Danach ergaben sich folgende Temperatureinstellungen

des pH-Meters, die jeweils vor den Messungen manuell eingegeben wurden (Tab. 10):

	30 min	4 h	12 h	18 h
M. longissimus dorsi	40 °C	13 °C	5 °C	3 °C
M. semimembranosus	40 °C	23 °C	10 °C	6 °C

Tabelle 10: Postmortale Temperaturen in der Muskulatur, Einstellwerte für pH-Star CPU

3.3.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit dem Gerät „LF-Star“ (Firma Matthäus, Nobitz), einem tragbaren, netzunabhängigen Gerät mit LCD-Anzeige und automatischer Temperaturkompensation, gemessen. Die Messelektrode dieses Gerätes besteht aus zwei parallel zueinander angeordneten Einstichdornen mit Edelstahlspitzen. Die digitale Anzeige der LF-Werte erfolgt in mS/cm (Millisiemens/cm). Die Messung von Leitfähigkeit und pH-Wert an einem Muskel, das heißt auf der gleichen Tierkörperseite, hätte die Messergebnisse verfälschen können, da hier durch Vorstechen die Werte nicht mehr vergleichbar sind. Aus diesem Grund wurden die Messungen an der linken Tierkörperhälfte quer zum Muskelfaserverlauf beim Kotelett im M. long. dorsi zwischen dem 13. und 14. Processus spinosus der Brustwirbel von medial nach lateral vorgenommen. Das Anschlingen der Tiere am Schlachtband wurde an der linken Tierkörperhälfte durchgeführt. Da die dort erhobenen Leitfähigkeitswerte nicht aussagekräftig gewesen wären, wurden die Messungen lediglich am M. long. dorsi durchgeführt.

3.3.2.3 Reflexion

Die Messung des Reflexionswertes wurde durch Mitarbeiter des Fleischprüfzentrums 35 min p.m. aufgenommen. Hierfür wurde an der Messstelle, ca. 7 cm seitlich der Spaltlinie, in Höhe der 2. bzw. 3. -letzten Rippe die Spitze der Hennessy-Sonde GP4 ein-

geführt. Mit diesem Gerät werden die Messwerte optisch-elektronisch erfasst, wobei alle 0,5 mm die Lichtreflexion gemessen wird. Das Gerät wurde in den gesetzlich vorgesehenen Abständen geeicht, zusätzlich fand arbeitstäglich eine Überprüfung durch die Mitarbeiter des Fleischprüfingens Bayern e.V. statt.

3.3.2.4 Auspressbare Gewebsflüssigkeit

Für die Bestimmung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit wurden Muskelproben des M. semimembranosus aus der Tiefe des Gewebes entnommen. Die Durchführung erfolgte nach den Vorschriften der AVVFIHG, Kap. IV, Nr. 6 (N.N., 2002 b) gemäß folgendem Schema:

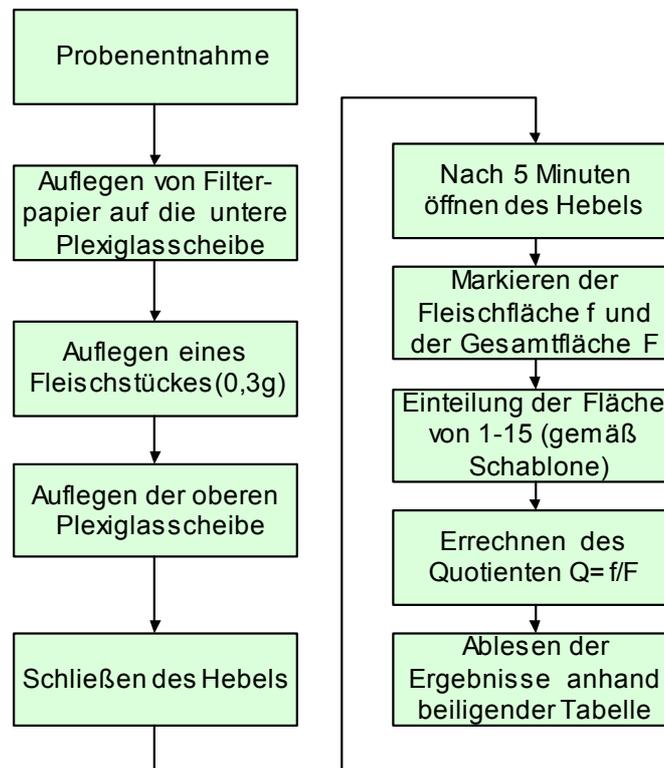


Abbildung 5: Arbeitsanweisung zur Untersuchung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit

Eine ca. 0,3 g schwere Muskelprobe wird mit standardisiertem Druck zwischen zwei Plexiglasscheiben (Braunschweiger-Gerät) gepresst, die austretende Gewebsflüssigkeit von einem standardisiertem Filterpapier (Firma Schleicher-Schüll) aufgenommen. Anhand einer Schablone und der dazugehörigen Auswertungstabelle wird der Quotient von Fleischfläche f zu Gesamtfläche F nach Kennzeichnung der Flächen mit einem wasserfesten Filzstift ermittelt. Die Filterpapiere wurden beschriftet, ausgewertet, getrocknet und zur weiteren Dokumentation archiviert (Abb.5).

3.3.3 Andere erfasste Daten

Zusätzlich zu den Messungen wurden folgende Daten, die vom Fleischprüfing (35 min p.m.) gemessen werden, zur statistischen Auswertung mit aufgenommen:

- Handelsklasse (Anhang: Abb. 40).
- Speckmaß (\varnothing 15,3 mm, Anhang: Abb. 42)
- Fleischmaß (\varnothing 65,9 mm, Anhang: Abb. 43)
- Fleischanteil (\varnothing 58 %, Anhang: Abb. 44)
- Schlachttierkörpergewicht (\varnothing 94,9 kg, Anhang: Abb. 45).

Hierbei entfielen auf die einzelnen Handelsklassen (Tab. 11):

Handelsklasse	Anzahl der Tiere	stimuliert	nicht stimuliert
E	616	379	237
U	125	98	27
R	9	6	3
O	0	0	0
P	1	1	0

Tabelle 11: Anzahl der gemessenen Tiere, Aufteilung nach Handelsklasse

4. Ergebnisse

Die in dieser Arbeit untersuchten Schlachttiere weisen unterschiedlichste Herkünfte auf und besitzen somit verschiedene Rasse als auch Mastbetriebe. Zudem können Faktoren, die im Schlachtbetrieb variieren, von Bedeutung für die Fleischreifung im Verlauf der frühpostmortalen Phase sein. Im Folgenden werden zunächst die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Reflexion und auspressbare Gewebsflüssigkeit genauer behandelt. Diese werden weiter nach den verschiedenen Messlokalisationen unterteilt, M. long. dorsi und M. semimembranosus. Die weitere Untergliederung erfolgt nach den erhobenen Einflussfaktoren auf die Fleischqualität. Hierbei zählen zunächst die Einflüsse, die sich direkt vom Schlachttier ableiten, wie Herkunft, Geschlecht und Handelsklasse. Zu den Einflüssen des Schlachtbetriebes zählen in der vorliegenden Arbeit die variierende Menge des bei der Schlachtung verbrauchten Wassers und der wechselnde Einsatz von Personal direkt beim Eintrieb in den Restrainer. Die anderen Faktoren blieben während der Versuchszeit konstant, wie in Kapitel 3.1 beschrieben. Die genaue Anzahl der untersuchten Schlachttierkörper ist aus Tabelle 53 im Anhang zu entnehmen.

Insgesamt wurden Daten von Tieren aus 150 verschiedenen Mastbetrieben erhoben und ausgewertet. Von drei Herkunftsbetrieben lagen die Betriebsdaten vor (Kap. 3.2.1). Die Angaben über das Tiermaterial der anderen 147 Betriebe konnten nicht erfasst werden.

4.1 pH-Wert

4.1.1 Auswertung der pH-Wert-Messungen

Bei der Gegenüberstellung der beiden gemessenen Muskeln der rechten Schlachttierkörperhälften konnte in der stimulierten Gruppe der Schlachtschweine eine Differenz des mittleren pH-Wertes um 0,08 Einheiten nach 30 min p.m., 0,10 nach 4 h p.m., 0,04 nach 12 h p.m. und 0,02 nach 18 h p.m. errechnet werden. An Schlachttagen ohne Stimulierung konnte bis 12 Stunden nach der Schlachtung ein um 0,15, 0,12 und 0,03 Einheiten höherer mittlerer pH-Wert im M. long. dorsi ermittelt werden.

18 h p.m. ergab sich für den pH-Wert des M. long. dorsi ein um 0,02 Einheiten höherer Wert als im M. semimembranosus (Abb. 6).

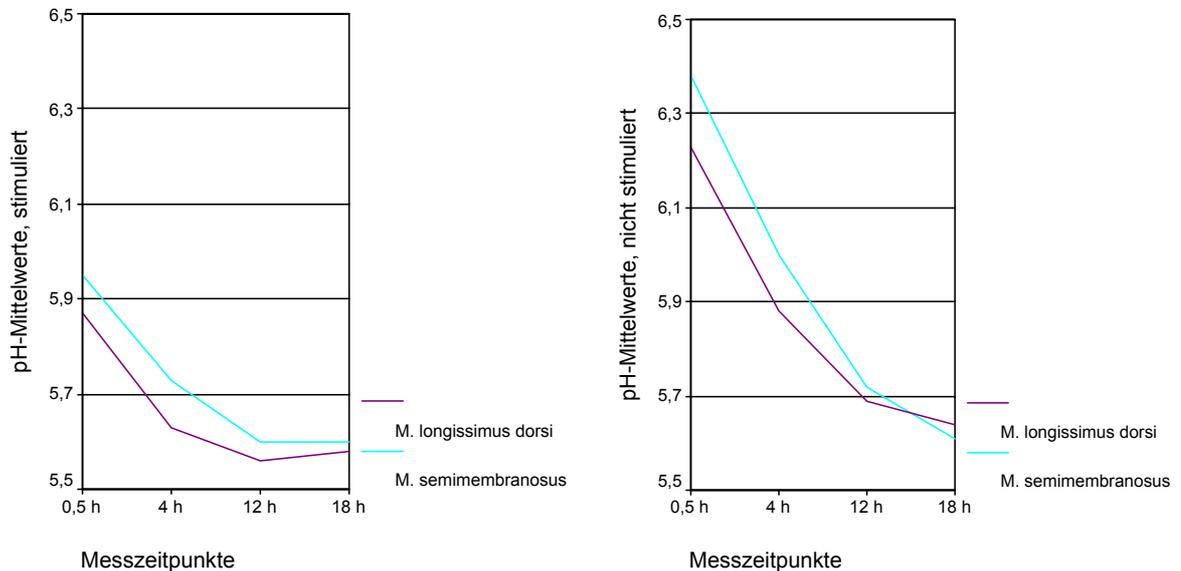


Abbildung 6: Gegenüberstellung der pH-Mittelwerte der M. long. dorsi und M. semimembranosus, stimuliert/nicht stimuliert

4.1.1.1 M. longissimus dorsi

Die pH-Messwerte des M. long. dorsi wurden gemäß der Beschreibung in Kapitel 3.3.2.1 ermittelt. In der folgenden Übersichtstabelle (Tab. 12) wurden die Einflüsse des Schlachtbetriebes und die individuellen Einflüsse der Schlachttiere nicht mit einbezogen. Die mittleren pH-Werte der unstimulierten Tiere betragen $pH_{0,5} = 6,32$, $pH_4 = 5,88$, $pH_{12} = 5,69$ und $pH_{18} = 5,64$. Die höchsten pH-Werte bei den nicht stimulierten Tieren betragen 6,80 (30 min p.m.), 6,48 (4 h p.m.), 6,28 (12 h p.m.) und 6,29 (18 h p.m.). Die Minima lagen bei 5,28, 5,19, 5,35 und 5,34 jeweils zu den genannten Untersuchungszeitpunkten. Der mittlere pH-Wert sank im Verlauf der Fleischreifung um 0,35 Einheiten zwischen den ersten beiden Messungen, danach um 0,19 und um weitere 0,05 Einheiten zwischen der dritten bzw. vierten Messung 12 und 18 h p.m..

Bei den stimulierten Schlachttieren lagen die Mittelwerte bei $pH_{0,5} = 5,87$, $pH_4 = 5,63$, $pH_{12} = 5,56$ und $pH_{18} = 5,58$. Hier fanden sich Maxima bei 6,61 (30 min p.m.), 6,16 (4

h p.m.), 6,08 (12 h p.m.) und 6,09 (18 h p.m.). Die niedrigsten pH-Werte im M. long. dorsi betragen 5,30, 5,27, 5,25 und 5,32 Einheiten.

			Mit- telwer	Median	Min.	Max.	n
Stimulierung	nicht stimuliert	pH _{0,5} MLD	6,23	6,25	5,28	6,80	267
		pH ₄ MLD	5,88	5,87	5,19	6,48	240
		pH ₁₂ MLD	5,69	5,66	5,35	6,28	238
		pH ₁₈ MLD	5,64	5,61	5,34	6,29	92
	stimuliert	pH _{0,5} MLD	5,87	5,88	5,30	6,61	492
		pH ₄ MLD	5,63	5,61	5,27	6,16	310
		pH ₁₂ MLD	5,56	5,55	5,25	6,08	309
		pH ₁₈ MLD	5,58	5,57	5,32	6,09	124

Tabelle 12: pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

In den folgenden Graphiken (Abb. 7 und 8) werden die pH-Werte von stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren zu den verschiedenen Messzeitpunkten einander gegenübergestellt. 30 Minuten post mortem liegt der Mittelwert des pH-Wertes aller stimulierten Tiere bei 5,87 gegenüber 6,23 bei unstimulierten Tieren. Somit ergibt sich eine Differenz von 0,36 Einheiten.

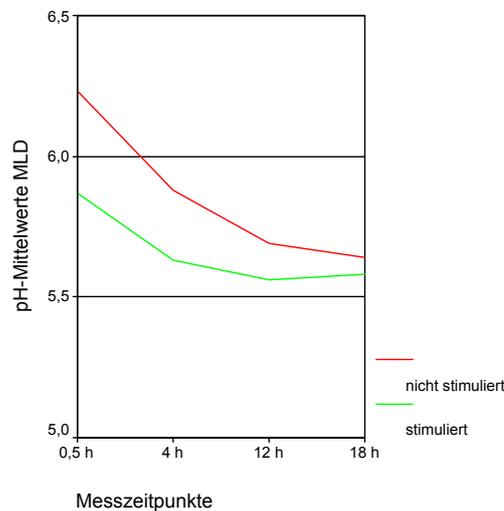


Abbildung 7: pH-Mittelwerte M. long. dorsi, stimuliert/nicht stimuliert

Im Verlauf der Fleischreifung wird die Differenz der mittleren pH-Werte des M. long. dorsi von stimulierten und unstimulierten Schlachtkörpern geringer, so dass 4 h p.m. noch ein Unterschied von 0,25 und 12 h p.m. von 0,13 und 18 h p.m. von 0,06 Ein-

heiten vorliegt, wobei der niedrigere Wert immer nach Elektrostimulierung gemessen wurde (Abb. 8).

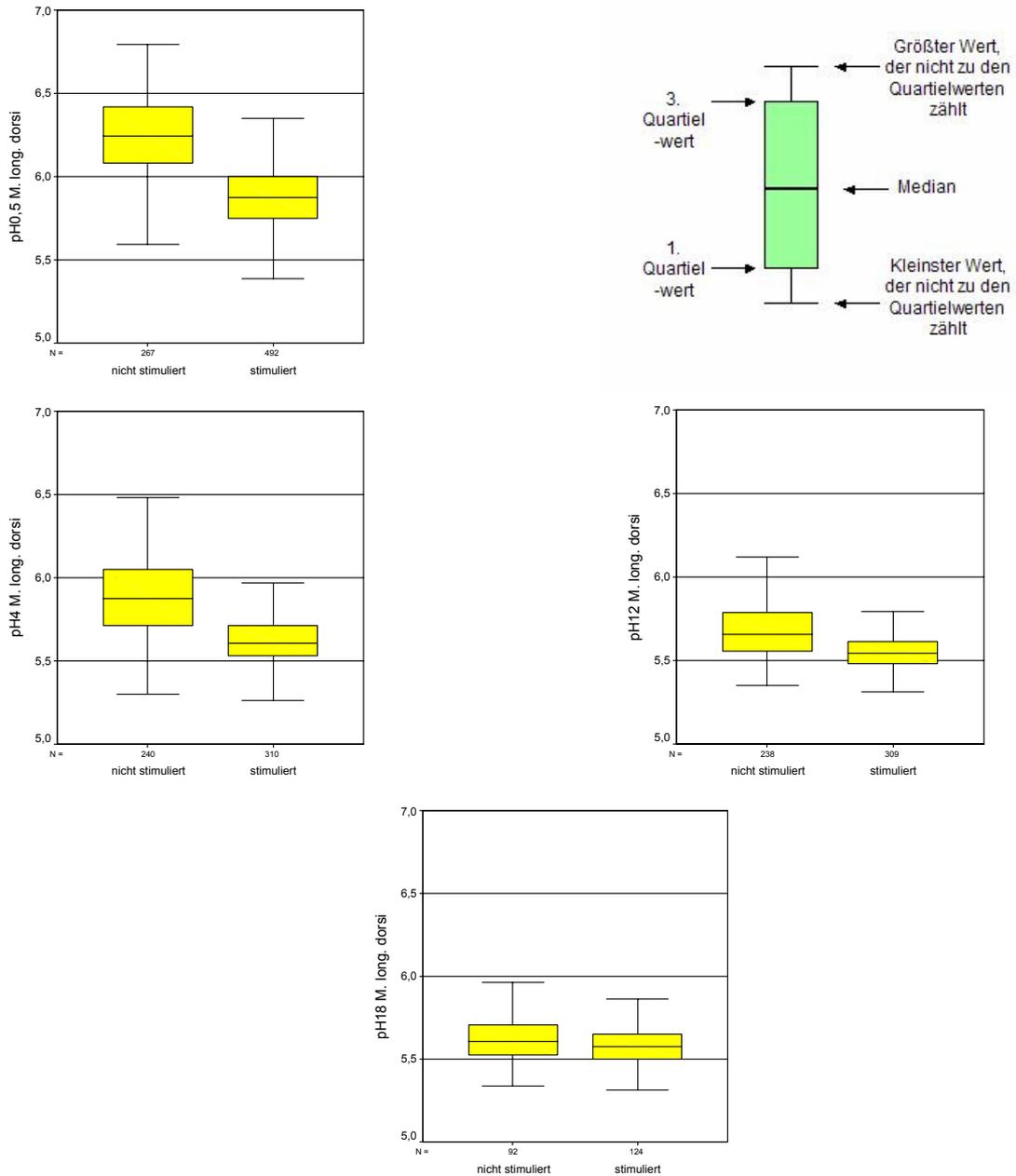


Abbildung 8: pH-Werte im M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt, stimuliert/nicht stimuliert

4.1.1.1.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Von Betrieb 1 konnten 39 stimulierte und 31 nicht stimulierte, von Betrieb 2 26 stimulierte und 30 nicht stimulierte und von Betrieb 3 51 stimulierte und 8 Schlachtschweine, die nach der Schlachtung nicht stimuliert wurden in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Betrieb	B 1	pH _{0,5} MLD	6,15	6,17	5,74	6,53	5,84	5,85	5,55	6,19
		pH ₄ MLD	5,94	5,95	5,39	6,27	5,71	5,62	5,51	6,16
		pH ₁₂ MLD	5,69	5,70	5,49	5,87	5,65	5,60	5,44	6,08
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	.	.	.	.
	B 2	pH _{0,5} MLD	6,26	6,30	5,89	6,73	6,07	6,09	5,77	6,61
		pH ₄ MLD	5,92	5,93	5,55	6,39	5,70	5,67	5,54	6,13
		pH ₁₂ MLD	5,76	5,77	5,53	6,10	5,60	5,58	5,50	5,93
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	5,63	5,61	5,45	6,09
	B 3	pH _{0,5} MLD	6,18	6,25	5,51	6,53	5,84	5,90	5,48	6,18
		pH ₄ MLD	5,75	5,75	5,44	6,07	5,58	5,58	5,30	5,80
		pH ₁₂ MLD	5,58	5,56	5,45	5,70	5,54	5,53	5,32	5,76
		pH ₁₈ MLD	5,61	5,63	5,47	5,80	5,55	5,55	5,42	5,87
	B 4-150	pH _{0,5} MLD	6,25	6,26	5,28	6,80	5,86	5,86	5,30	6,60
		pH ₄ MLD	5,87	5,87	5,19	6,48	5,62	5,60	5,27	6,13
		pH ₁₂ MLD	5,67	5,65	5,35	6,28	5,56	5,54	5,25	6,00
		pH ₁₈ MLD	5,64	5,61	5,34	6,29	5,57	5,56	5,32	5,97

Tabelle 13: pH-Werte *M. long. dorsi* in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Die pH-Wert Messungen der nicht stimulierten Schlachttiere des Betriebes 1 erbrachten Mittelwerte bei $\text{pH}_{0,5} = 6,15$, $\text{pH}_4 = 5,94$, $\text{pH}_{12} = 5,69$ (siehe Tab. 13). Die M. long. dorsi der Schweine des Betriebes 2 wiesen pH-Werte von 6,26 (30 min p.m.), 5,92 (4h p.m.) und 5,76 (12 h p.m.) auf. Von Betrieb 1 und 2 konnten keine Daten nach 18 h erfasst werden. Betrieb 3 zeigte mittlere pH-Werte im M. long. dorsi zu den genannten Untersuchungszeitpunkten von 6,18, 5,75, 5,58 und 5,61. Die pH-Mittelwerte der restlichen Betriebe (Betrieb 4-150) betragen 6,25, 5,87, 5,67 und 5,64.

Der pH-Wert im M. long. dorsi der nicht stimulierten Schlachtschweine sank im Verlauf der Fleischreifung bei Betrieb 1 zu den Messzeitpunkten um 0,21, 0,25, bei Betrieb 2 um 0,34 und 0,18 pH-Einheiten. Ebenfalls bei unstimulierten Schlachttieren zeigte sich bei Betrieb 3 ein Absinken des pH-Wertes um 0,43 im Zeitraum von 30 min bis 4 h, danach ein weiteres Absinken von 0,17 Einheiten im Zeitraum von 4 h bis 12 h. Im Zeitraum von 12 bis 18 h stieg der pH-Mittelwert bei Betrieb 3 um 0,03 Einheiten wieder leicht an. Die pH-Werte der Tiere aus Betrieb 4-150 fielen zunächst um 0,38 Einheiten, im weiteren Verlauf der Fleischreifung um 0,20 und 0,03 pH-Einheiten ab.

Bei den stimulierten Tieren aus Betrieb 1 wurden mittlere pH-Werte von 5,84, 5,71, 5,65 nach 30 min, 4 h und 12 h p.m. gemessen. Auch hier konnten keine stimulierten Tiere 18 h p.m. erfasst werden. Die Schlachtschweine aus Betrieb 2 zeigten mittlere pH-Werte von 6,07, 5,70, 5,60 und 5,63, die aus Betrieb 3 betragen 5,84, 5,58, 5,54 und 5,55. Bei Betrieb 4-150 wurden Mittelwerte von 5,86 (30 min p.m.), 5,62 (4 h p.m.), 5,56 (12 h p.m.) und 5,57 (18 h p.m.) ermittelt. Somit zeigten sich bei Betrieb 1 pH-Wert Absenkungen um 0,14 und 0,06 Einheiten, bei Schlachttieren aus Betrieb 2 0,37 und 0,10 bis 12 h p.m., danach ein geringer Anstieg des mittleren pH-Wertes um 0,03 Einheiten bis 18 h nach der Schlachtung. Bei Schlachtschweinen aus Betrieb 3 können Unterschiede der mittleren pH-Werte von 0,26, 0,04 und danach im Zeitraum von 12 bis 18 Stunden nach der Schlachtung ein leichtes Ansteigen von 0,01 Einheiten ermittelt werden. Die Messungen der stimulierten Schlachttiere aus den Betrieben 4-150 sinken um 0,24 und 0,06 bis 12 h p.m. um dann wieder um 0,01 pH-Einheiten bis 18 h p.m. anzusteigen.

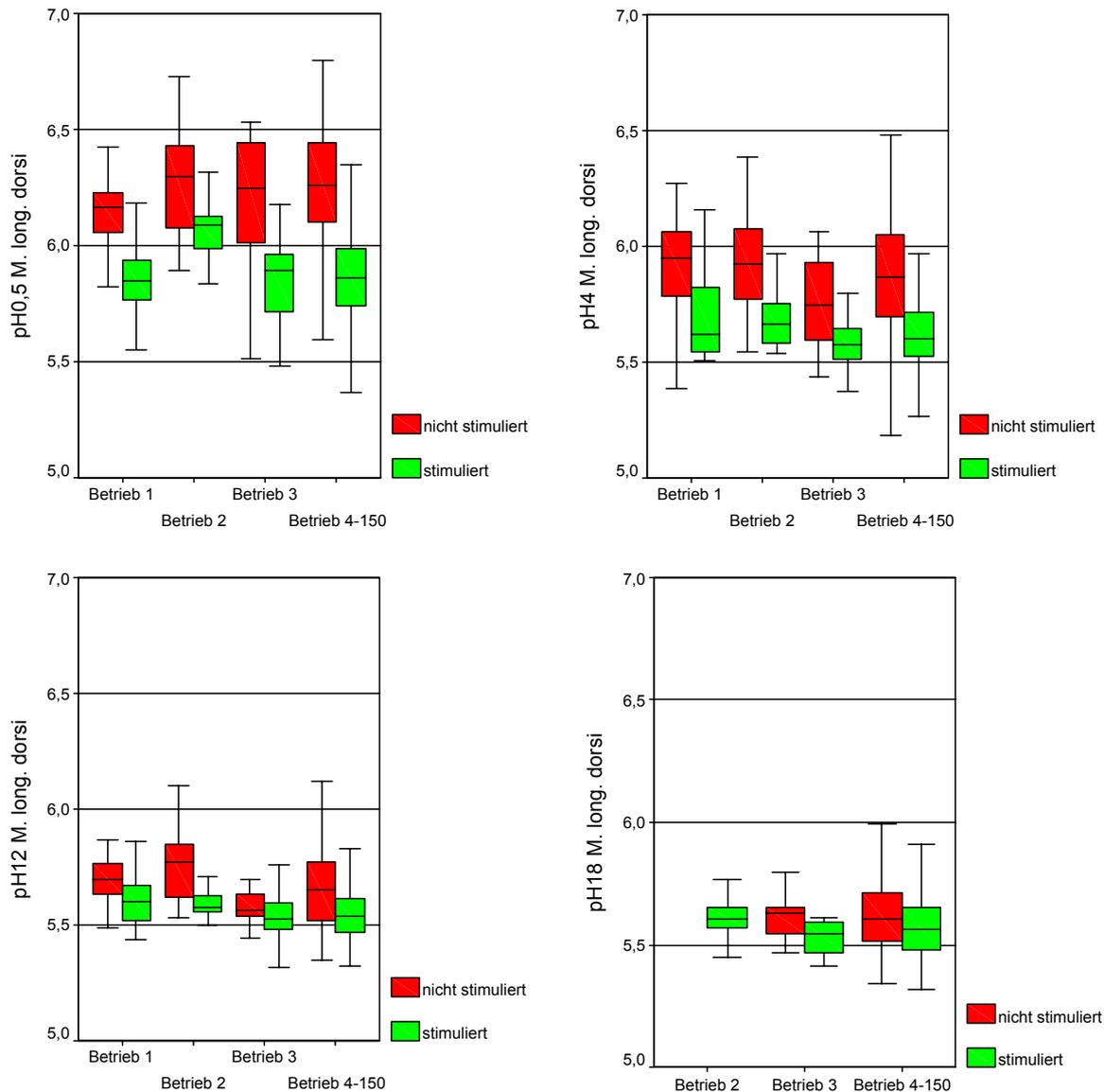


Abbildung 9: pH-Werte *M. long. dorsi* in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Bei den nicht stimulierten Tieren zeigte Betrieb 2 den höchsten mittleren pH-Wert im *M. long. dorsi* ($\text{pH}_{0,5} = 6,25$) gefolgt von Betrieb 4-150 ($\text{pH}_{0,5} = 6,25$), Betrieb 3 und 1 ($\text{pH}_{0,5} = 6,18$ und $\text{pH}_{0,5} = 6,15$). Nach 4 h zeigten die Tiere aus Betrieb 1 den noch höchsten Wert von 5,94 gefolgt von den Schlachtieren aus Betrieb 2 ($\text{pH}_4 = 5,92$), aus Betrieb 4-150 ($\text{pH}_4 = 5,87$) und aus Betrieb 3 ($\text{pH}_4 = 5,75$). Nach weiteren 8 h (12 h p.m.) konnte bei den Schweinen aus Betrieb 2 der höchste mittlere pH-Wert im *M. long. dorsi* mit $\text{pH}_{12} = 5,76$ ermittelt werden. Betrieb 1, 4-150 und Betrieb 3 schließen sich mit pH-Werten von 5,69, 5,67 und 5,58 an. Den höchsten End-pH-Wert 18 h nach der Schlachtung wiesen Schlachttiere aus Betrieb 4-150 mit einer Differenz von 0,03 Einheiten gegenüber Betrieb 3 auf. Die Spanne des pH-Wert-Abfalles bei den

nicht stimulierten Schlachttieren zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt betrug bei Betrieb 1 0,46, bei Betrieb 2 0,5 pH-Einheiten (jeweils im Zeitraum bis zu 12 h p.m.), bei der Gruppe der Tiere aus Betrieb 3 0,57 und den restlichen Betrieben 0,61 Einheiten (jeweils im Zeitraum bis zu 18 h p.m.).

Bei den stimulierten Schlachttieren konnte in der Gruppe aus Betrieb 2 der höchste Mittelwert ($\text{pH}_{0,5} = 6,07$) gefolgt von Betrieb 4-150 ($\text{pH}_{0,5} = 5,86$) und Betrieb 1 und 3 ($\text{pH}_{0,5} = 5,84$) errechnet werden. 4 h nach der Schlachtung wiesen Schlachttierkörper aus Betrieb 1 mit $\text{pH}_4 = 5,71$ den höchsten Mittelwert auf. Es schlossen sich die Werte der Schlachttiere aus den Betrieben 2, 4-150 und 3 mit Werten von 5,70, 5,62 und 5,58 an. 12 h p.m. konnten noch Unterschiede bei den stimulierten Tieren im M. long. dorsi von 0,01 pH-Einheiten (zwischen Betrieb 1 und 2), 0,14 (zwischen Betrieb 2 und 4-150) und 0,02 pH-Einheiten (zwischen Betrieb 4-150 und 3) in abfallender Reihenfolge ermittelt werden. 18 h p.m. wies die Gruppe der stimulierten Schlachttiere von Betrieb 2 den höchsten mittleren pH-Wert auf, gefolgt von Betrieb 4-150 und Betrieb 3 mit Differenzen von 0,06 und 0,02 pH-Einheiten. Die Spanne des pH-Wert-Abfalles bei den stimulierten Schlachttieren zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt betrug bei Betrieb 2 0,44, bei Betrieb 3 und den restlichen Betrieben 0,29 Einheiten. Außer bei Betrieb 2 fanden sich bei der ersten Messung bereits Werte nahe dem End-pH-Wert (Betrieb 1: 5,55, Betrieb 3: 5,48, restliche Betriebe: 5,30). Die graphische Darstellung (Abb. 9) verdeutlicht im Vergleich der einzelnen Betriebe zu den Modalitäten der Schlachtung, also stimuliert/nicht stimuliert, die beschriebenen Unterschiede im frühpostmortalen Verlauf des pH-Wertes.

Die Tabelle 14 zeigt den $\text{pH}_{0,5}$ im M. long. dorsi ausgewählter Herkunftsbetriebe mit mehreren in die Messungen einbezogenen Tieren in Bezug auf die Stimulierung. Die pH-Werte, die nach 0,5 Stunden in der Muskulatur der nach der Schlachtung stimulierten Schweine gemessen wurden, lagen fast durchgängig unter 6,0 Einheiten. Betrieb C zeigte bei den stimulierten Schlachtschweinen den niedrigsten Wert mit $\text{pH}_{0,5} = 5,70$, den höchsten $\text{pH}_{0,5}$ -Wert wies der Betrieb L mit $\text{pH}_{0,5} = 6,08$ auf. Bei den Tieren aus Betrieben, die nicht stimuliert wurden, fand sich durchgängig ein durchschnittlicher $\text{pH}_{0,5}$ -Wert von über 6,0. Lediglich zwei Betriebe (V und M) lagen im Mittel darunter.

stimuliert		Betrieb	nicht stimuliert	
n	pH _{0,5}		pH _{0,5}	n
8	6,04	A		
20	5,83	B		
6	5,70	C		
9	5,87	D		
12	5,89	E		
22	5,86	F		
20	5,97	G		
9	5,87	H		
15	5,81	I		
5	5,84	K	6,16	6
3	6,08	L	6,38	4
7	5,76	M	5,91	3
3	5,88	N	6,39	6
3	5,75	O	6,33	5
		P	6,43	5
		Q	6,34	7
		R	6,14	18
		S	6,36	5
		T	6,22	6
		U	6,18	28
		V	5,96	8

Tabelle 14: Vergleich der pH_{0,5}-Mittelwerte im M. long. dorsi ausgewählter Betriebe stimuliert/nicht stimuliert

Untersucht wurde auch, ob das Geschlecht der Schlachtschweine die frühpostmortale Entwicklung des pH-Wertes beeinflusst (Tab. 15). Hierbei konnten lediglich Messungen bis 12 h p.m. in die Auswertung mit einbezogen werden. Bei den männlichen, nicht stimulierten Schlachtschweinen (n = 89) fand sich ein pH_{0,5} = 6,21, pH₄ = 5,87 und pH₁₂ = 5,67. Die weiblichen unstimulierten Tiere (n = 81) zeigten Werte von pH_{0,5} = 6,18, pH₄ = 5,87 und pH₁₂ = 5,67. Somit fiel bei den männlichen nicht stimulierten Tieren der pH-Wert zwischen den Untersuchungszeitpunkten um 0,34 und 0,20 pH-Einheiten ab, bei den weiblichen nicht stimulierten Tieren fand sich ein Abfall der pH-Werte um 0,31 und 0,20 Einheiten.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Geschlecht	männl.	pH _{0,5} MLD	6,21	6,23	5,28	6,73	5,83	5,85	5,32	6,39
		pH ₄ MLD	5,87	5,88	5,19	6,48	5,59	5,58	5,27	6,04
		pH ₁₂ MLD	5,67	5,65	5,41	6,12	5,53	5,52	5,25	6,00
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	.	.	.	.
	weibl.	pH _{0,5} MLD	6,18	6,18	5,32	6,74	5,83	5,82	5,34	6,19
		pH ₄ MLD	5,87	5,86	5,37	6,47	5,64	5,60	5,37	6,16
		pH ₁₂ MLD	5,67	5,64	5,35	6,10	5,57	5,54	5,37	6,08
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 15: pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die männlichen stimulierten Tiere (n = 181) zeigten zu den Untersuchungszeitpunkten (30 min, 4h und 12 h p.m.) mittlere pH-Werte von 5,83, 5,59 und 5,53, die weiblichen stimulierten Tiere (n = 110) mittlere Werte von 5,83, 5,64 und 5,57 (Tab. 15). Bei den stimulierten Schlachttieren deren Geschlecht nicht erfasst wurde (n = 201) zeigten sich pH-Mittelwerte von 5,92, 5,65 und 5,58. Daraus ließ sich ein Abfall des pH-Wertes nach 4 bzw. 12 h bei den männlichen stimulierten Tieren im Mittel um 0,24 bzw. 0,06 Einheiten errechnen, bei den weiblichen stimulierten Schlachttieren um 0,19 bzw. 0,07 Einheiten und bei den Schlachttieren deren Geschlecht nicht erfasst wurde um 0,27 bzw. 0,07 pH-Einheiten.

Männliche und weibliche nicht stimulierte Tiere unterschieden sich bei der ersten Messung 30 min p.m. bezüglich des pH-Wertes des M. long. dorsi um 0,03 Einheiten, wobei die männlichen Tiere den höheren Wert aufwiesen (Abb. 10). Bei den folgenden Messungen lagen die Werte von männlichen und weiblichen mit pH₄ = 5,87 und pH₁₂ = 5,67 auf gleichem Niveau. Bei der stimulierten Gruppe fand sich 30 min nach der Schlachtung kein Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Tieren, nach 4 h ein um 0,05 und nach 12 h ein um 0,02 pH-Einheiten höherer pH-Mittelwert bei den weiblichen Schlachttieren.

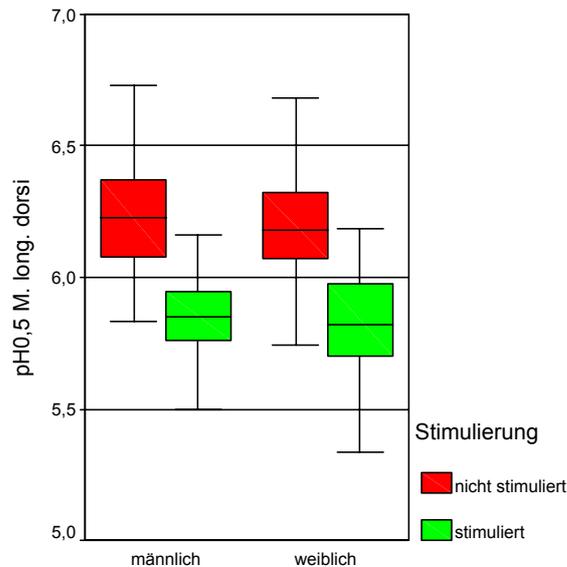


Abbildung 10: pH-Werte *M. long. dorsi* in Abhängigkeit vom Geschlecht

Durch die Erfassung der Messdaten des Fleischprüfinges konnte die Einteilung der Schlachttiere in Handelsklassen (HK) und der Art der Schlachtung (stimuliert/nicht stimuliert) in Beziehung gebracht werden (Tab. 16). Die Handelsklasse „O“ war nicht vertreten, lediglich ein Tier bekam die Bewertung „P“ und soll nicht weiter berücksichtigt werden.

In der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere zeigten die Tiere der HK „E“ Werte von $pH_{0,5} = 6,22$, $pH_4 = 5,86$, $pH_{12} = 5,68$ und $pH_{18} = 5,63$. Bei den Tiere der HK „U“ konnten Mittelwerte von $pH_{0,5} = 6,38$, $pH_4 = 6,02$ und $pH_{12} = 5,74$ und $pH_{18} = 5,72$ errechnet werden. Die Tiere aus der HK „R“ wiesen mittlere pH-Werte von 6,30, 5,86, 5,68 und 5,76 auf. Bei den nicht stimulierten Tieren der HK „E“ fiel der pH-Wert zwischen den Untersuchungszeitpunkten um 0,36, 0,18 und 0,05 pH-Einheiten ab, bei den nicht stimulierten Tieren der HK „U“ fand sich ein Abfall der pH-Werte um 0,36, 0,28 und 0,02 Einheiten. Bei den Schlachttieren der HK „R“ wurde ein Absinken von 0,44 (im Zeitraum von 30 min bis 4 h) und 0,18 pH-Einheiten (im Zeitraum von 4 h - 12 h) ermittelt. 18 h p.m. konnte nur ein Schlachttier mit der Klassifizierung „R“ zur Beurteilung herangezogen werden.

Die mit „E“ klassifizierten stimulierten Schlachttiere zeigten im Verlauf der Fleischreifung eine Absenkung des mittleren pH-Wertes im *M. long. dorsi* innerhalb der ersten 30 min p.m. auf $pH_{0,5} = 5,86$, in der Folge auf $pH_4 = 5,63$, $pH_{12} = 5,56$ und

pH₁₈ = 5,58 (Tab. 16). Die stimulierten Schlachttiere der HK „U“ zeigten Werte von pH_{0,5} = 5,90, pH₄ = 5,63 und pH₁₂ = 5,56 und pH₁₈ = 5,59, während die pH-Werte bei den Tieren der HK „R“ 5,91 (30 min p.m.), 5,65 (4 h p.m.) und 5,57 (12 h p.m.) Einheiten betragen. Hier konnten ebenfalls keine Messungen an Schlachttierkörpern 18 h p.m. durchgeführt werden. Daraus ergab sich ein mittlerer Abfall des pH-Wertes im Verlauf der ersten Stunden der Fleischreifung bei HK „E“ um 0,23 bis 4 h p.m. und 0,07 bis 12 h p.m. um dann wieder bis 18 h nach der Schlachtung um 0,02 pH-Einheiten anzusteigen. Die pH-Werte der Schlachttiere der HK „U“ sanken zwischen den Messzeitpunkten um 0,27 und 0,07 Einheiten (30 min bis 4 h bzw. 4 h bis 12 h p.m.) und stiegen bis 18 h p.m. wieder um 0,03 Einheiten an. Aus der Gruppe der mit „R“ klassifizierten Schlachtschweine konnten nur Werte bis 12 h p.m. ermittelt werden. Diese sanken im Verlauf der Reifung um 0,26 und 0,08 pH-Einheiten bis 12 h nach der Schlachtung.

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
		Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.	
Handelsklasse	E	pH _{0,5} MLD	6,22	6,23	5,28	6,80	5,86	5,86	5,30	6,61
		pH ₄ MLD	5,86	5,87	5,19	6,47	5,63	5,60	5,30	6,87
		pH ₁₂ MLD	5,68	5,65	5,35	6,25	5,56	5,55	5,32	6,08
		pH ₁₈ MLD	5,63	5,61	5,34	6,12	5,58	5,57	5,33	6,09
	U	pH _{0,5} MLD	6,38	6,38	5,87	6,75	5,90	5,92	5,38	6,51
		pH ₄ MLD	6,02	6,02	5,39	6,48	5,63	5,61	5,27	5,97
		pH ₁₂ MLD	5,74	5,73	5,43	6,28	5,56	5,55	5,25	5,95
		pH ₁₈ MLD	5,72	5,67	5,52	6,29	5,59	5,59	5,34	5,97
	R	pH _{0,5} MLD	6,30	6,23	5,94	6,75	5,91	5,88	5,78	6,16
		pH ₄ MLD	5,86	5,86	5,52	6,20	5,65	5,67	5,38	5,81
		pH ₁₂ MLD	5,68	5,68	5,58	5,79	5,57	5,57	5,46	5,72
		pH ₁₈ MLD	5,76	5,76	5,76	5,76	.	.	.	.
	P	pH _{0,5} MLD	.	.	.	.	5,59	5,59	5,59	5,59
		pH ₄ MLD	.	.	.	.	5,55	5,55	5,55	5,55
		pH ₁₂ MLD	.	.	.	.	5,43	5,43	5,43	5,43
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 16: pH-Werte *M. long. dorsi* in Abhängigkeit von der Handelsklasse

Die Handelsklasse „U“ der nicht stimulierten Tiere wies nach 30 min im Mittel einen um 0,16 Einheiten höheren pH-Wert als die der HK „E“ und einen um 0,08 Einheiten höheren pH-Wert als die der HK „R“ auf. Nach 4 h erreichten die Werte der HK „E“ und „R“ den gleichen Wert von 5,86, die HK „U“ einen pH-Wert von 6,02. 12 h nach der Schlachtung errechnete sich bei den Schlachttieren der HK „E“ und „R“ ein mittlerer pH-Wert von 5,68, bei HK „U“ von 5,74. Nach 18 h zeigte HK „E“ einen um 0,09 Einheiten niedrigeren pH-Wert als HK „U“ ($pH_{18} = 5,72$).

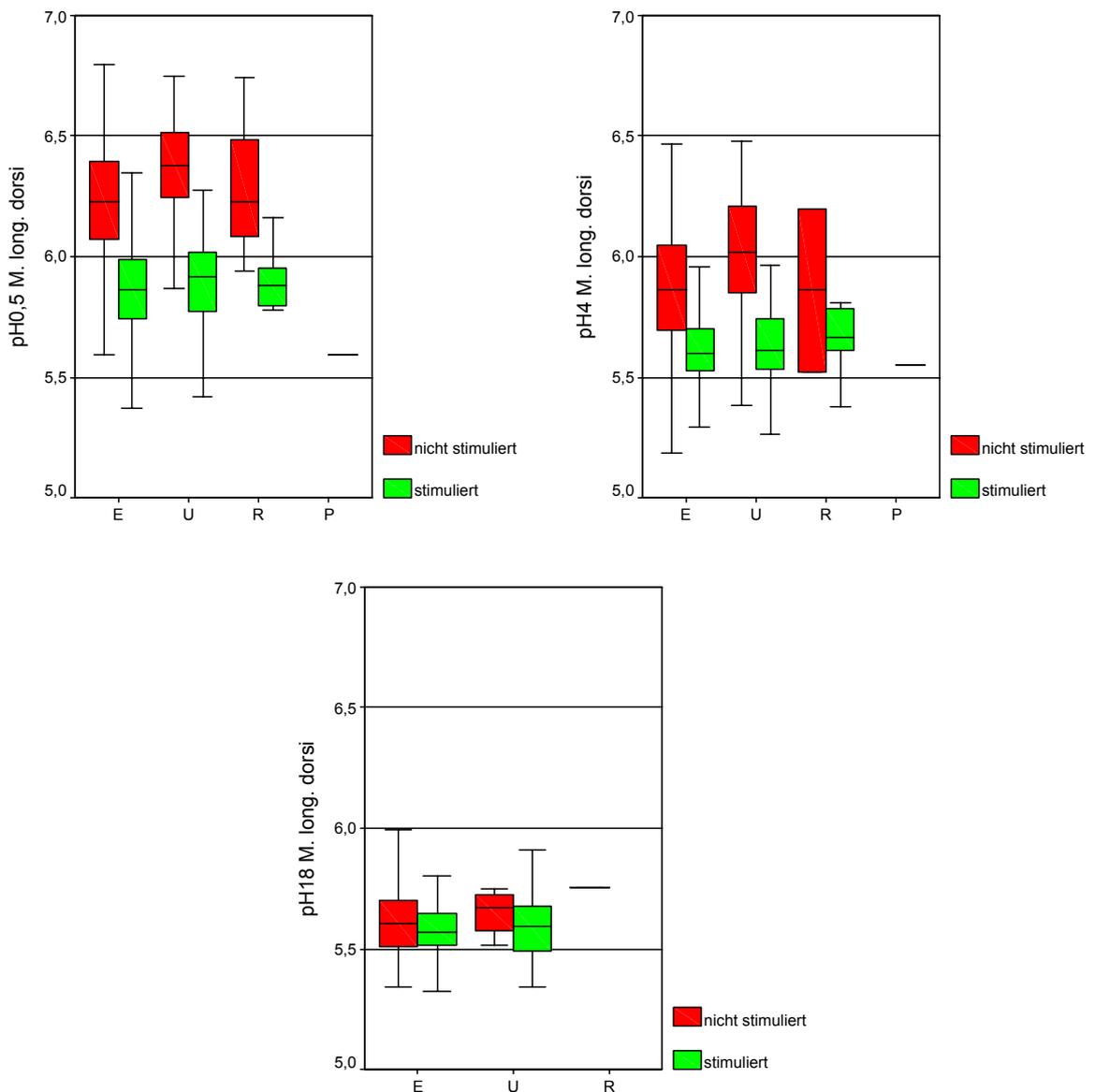


Abbildung 11: pH-Werte *M. long. dorsi* in Abhängigkeit von der Handelsklasse

Bei den stimulierten Tieren lagen die ersten Messwerte mit 5,86, 5,90 und 5,91 mit geringen Unterschieden im Hundertstelbereich (0,05 Einheiten) sehr eng zusammen. Im weiteren Verlauf der Fleischreifung fanden sich nach 4 h p.m. ebenfalls eng beieinander liegende mittlere pH-Werte von 5,63 - 5,65 mit einer maximalen Differenz von 0,02 pH-Einheiten. Nach 12 h p.m. konnten Werte zwischen 5,56 und 5,57 bei den stimulierten Tieren der einzelnen Handelsklassen ermittelt werden, d.h. eine maximale Differenz von 0,01 pH-Einheiten, 18 h p.m. bei den HK „E“ und „U“ ebenfalls eine Differenz von 0,01 Einheiten.

Die Diagramme (Abb. 11) zeigen die Differenzen mit und ohne Elektrostimulation auf. Die Tiere der HK „E“ hatten nach Stimulierung einen um 0,36 (30 min p.m.), 0,23 (4 h p.m.), 0,12 (12 h p.m.) und 0,05 (18 h p.m.) Einheiten niedrigeren mittleren pH-Wert. Bei den Schlachttieren der HK „U“ zeigten sich zu den Messzeitpunkten Unterschiede von 0,48, 0,39, 0,18 und 0,13 Einheiten. Innerhalb der untersuchten Tierkörper der HK „R“ wurden Absenkungen von 0,39, 0,21 und 0,11 Einheiten ermittelt.

4.1.1.1.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich Daten aller untersuchter Schlachtschweine über die Dauer des Transportes und der sich anschließenden Aufstallung im Schlachtbetrieb zu erhalten. Die Arbeitsteilung der Angestellten des Schlachtbetriebes im Stallbereich konnte jedoch so festgelegt werden, dass der Mitarbeiter, der beim Eintrieb in den Restraîner tätig war nachvollzogen werden konnte. Insgesamt waren an 11 Untersuchungstagen 5 verschiedene Mitarbeiter mit dieser Aufgabe betraut.

In der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere wiesen die Tiere an Schlachttagen, an denen Mitarbeiter 1 (MA 1) eingesetzt wurde, mittlere pH-Werte von 6,19, 5,70, 5,52 und 5,51 zu den Messzeitpunkten 30 min, 4h, 12 h und 18 h auf. Bei den durch MA 2 betreuten Tieren sanken die pH-Werte auf 6,35 (30 min p.m.), 5,97 (4 h p.m.), 5,80 (12 h p.m.) und 5,72 (18 h p.m.).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Personal	MA 1	pH _{0,5} MLD	6,19	6,24	5,51	6,53	.	.	.	.
		pH ₄ MLD	5,70	5,68	5,30	6,09	.	.	.	.
		pH ₁₂ MLD	5,52	5,53	5,35	5,70	.	.	.	.
		pH ₁₈ MLD	5,51	5,50	5,34	5,80	.	.	.	.
	MA 2	pH _{0,5} MLD	6,35	6,42	5,52	6,75	5,81	5,82	5,32	6,41
		pH ₄ MLD	5,97	6,01	5,51	6,37	5,62	5,57	5,34	6,16
		pH ₁₂ MLD	5,80	5,77	5,48	6,28	5,56	5,54	5,32	6,08
		pH ₁₈ MLD	5,72	5,69	5,35	6,29	.	.	.	.
	MA 3	pH _{0,5} MLD	6,32	6,38	5,73	6,80	.	.	.	.
		pH ₄ MLD	5,93	5,90	5,52	6,26	.	.	.	.
		pH ₁₂ MLD	5,79	5,68	5,46	6,28	.	.	.	.
		pH ₁₈ MLD	5,62	5,61	5,38	6,12	.	.	.	.
	MA 4	pH _{0,5} MLD	.	.	.	.	5,85	5,88	5,34	6,39
		pH ₄ MLD	.	.	.	.	5,57	5,59	5,30	5,81
		pH ₁₂ MLD	.	.	.	.	5,52	5,51	5,32	5,76
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	.	.	.	.
	MA 5	pH _{0,5} MLD	6,20	6,22	5,28	6,74	5,86	5,86	5,39	6,18
		pH ₄ MLD	5,87	5,87	5,19	6,48	5,63	5,59	5,27	6,01
		pH ₁₂ MLD	5,67	5,64	5,35	6,12	5,55	5,53	5,25	5,91
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 17: pH-Werte *M. long. dorsi* in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Bei MA 3 zeigten die Schlachttierkörper ohne Elektrostimulierung im Verlauf der Fleischreifung ein Absinken des mittleren pH-Wertes im *M. long. dorsi* auf 6,32 (30 min p.m.), 5,93 (4 h p.m.), 5,79 (12 h p.m.) und 5,62 (18 h p.m.), bei MA 5 zu den gleichen Zeitpunkten 6,20, 5,87 und 5,67 pH-Einheiten. MA 4 war an Messtagen ohne Stimulierung nicht eingesetzt, an Arbeitstagen von MA 5 wurden keine Messungen 18 h p.m. durchgeführt. Der mittlere pH-Wert in der Muskulatur bei den Schlachttieren an Arbeitstagen des MA 1 nahm zwischen den Messungen um 0,49, 0,18 und 0,01 Einheiten ab, bei von MA 2 betreuten, nicht stimulierten Schweinen, um 0,38, 0,17 und 0,08 pH-Einheiten. Die mittleren pH-Werte im *M. long. dorsi* der von MA 3 eingetriebenen Schlachttiere verringerten sich um 0,39, 0,14 und 0,17 pH-Einheiten (jeweils im Zeitraum 30 min bis 4 h, 4 h bis 12 h und 12 h bis 18 h). Die Schlachttierkörperhälften die von MA 5 betreut wurden, zeigten einen Abfall des pH-Wertes in der Muskulatur von 0,33 (30 min bis 4 h) und 0,2 (4 h bis 12 h). (Siehe Tab. 17).

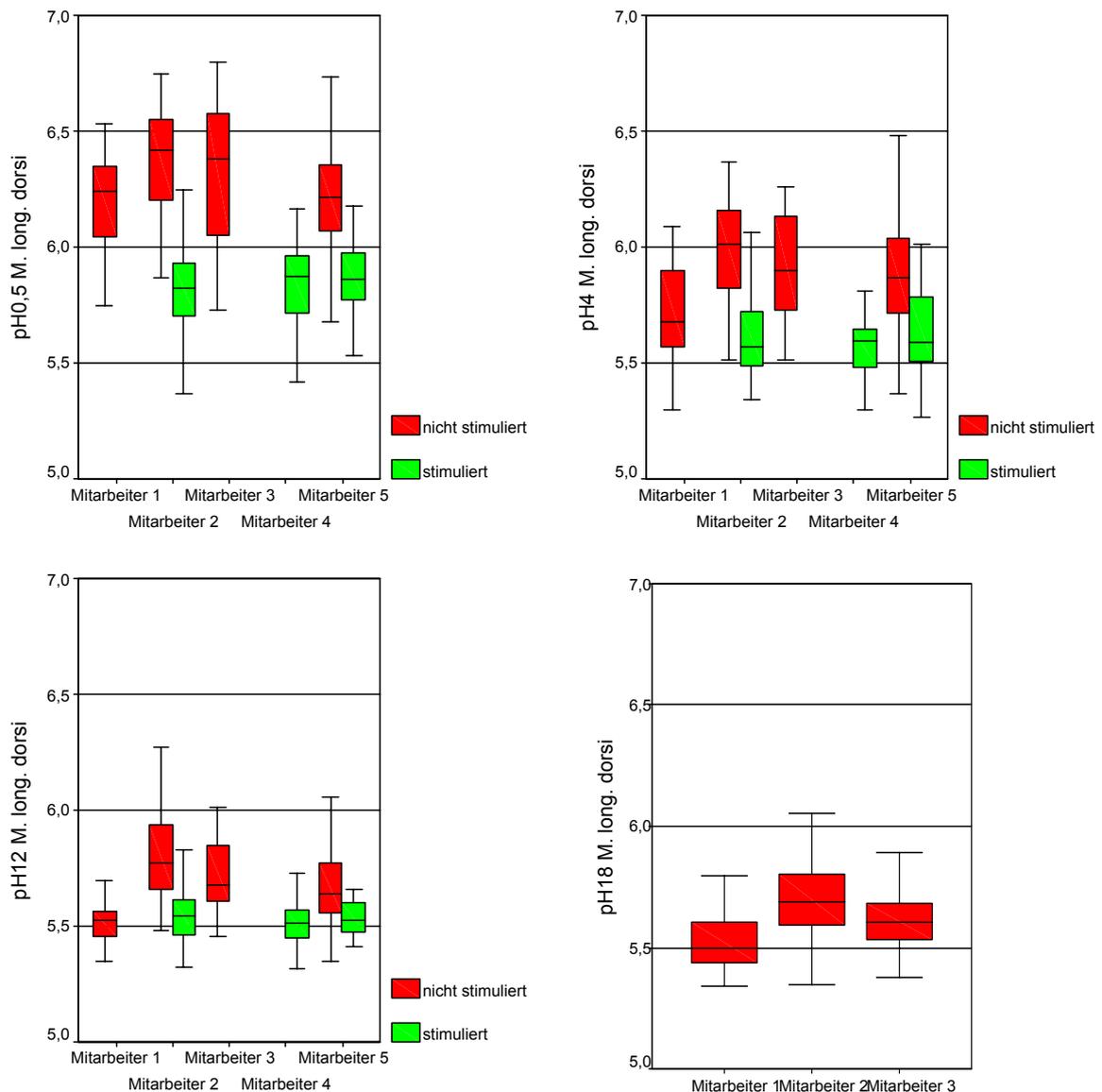


Abbildung 12: pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Bei den stimulierten Tieren wurden nur die Mitarbeiter 2, 4 und 5 eingesetzt. Es konnten keine stimulierten Tiere 18 h p.m. erfasst werden. An Arbeitstagen des MA 2 betragen die mittleren pH-Werte 5,81 (30 min p.m.), 5,62 (4 h p.m.) und 5,56 (12 h p.m.). Die Schlachtschweine, betreut von MA 4, zeigten mittlere pH-Werte von 5,85, 5,57 und 5,52, die pH-Werte der durch MA 5 betreuten Tiere $pH_{0,5} = 5,86$, $pH_4 = 5,63$ und $pH_{12} = 5,55$. Somit zeigten sich in der Muskulatur von stimulierten Tieren, die von MA 2 betreut wurden, pH-Wert-Absenkungen um 0,19 und 0,06 Einheiten, bei Schlachttieren an Arbeitstagen von MA 4 um 0,28 und 0,05 Einheiten im Verlauf der Fleischreifung bis zu 12 h post mortem. An Arbeitstagen, an denen MA 5 tätig wurde

finden sich Absenkungen der mittleren pH-Werte um 0,23 und 0,08 (nach 4 bzw. 12 h p.m.).

Bei der stimulierten Gruppe wies die Muskulatur der von MA 5 eingetriebenen Tiere den höchsten pH_{0,5}-Mittelwert von 5,86, gefolgt von MA 4 (pH_{0,5} = 5,85) und MA 2 (pH_{0,5} = 5,81), woraus sich eine maximale Differenz von 0,05 Einheiten ergab. Diese Unterschiede verblieben auch im weiteren Verlauf der Fleischreifung auf Werten von 0,05 (nach 4 h) und 0,04 Einheiten (nach 12 h).

Im Vergleich der pH-Werte der Muskulatur von Schlachttieren mit und ohne Stimulierung anhand der Diagramme in Abbildung 12, betreut durch den selben Mitarbeiter (nur möglich bei MA 2 und MA 5), konnte bei MA 2 eine anfängliche Differenz im pH_{0,5} von 0,54 und bei MA 5 von 0,34 ermittelt werden. 4 h p.m. fanden sich mittlere pH-Wert-Differenzen in der Muskulatur von 0,35 (MA 2) und 0,24 (MA 5). Nach 12 h zeigte sich bei den Tieren von MA 2 noch eine Differenz von 0,24 und bei MA 5 eine solche von 0,12, wobei das schnellere Absinken des mittleren pH-Wertes immer mit Stimulierung zu sehen war.

		Stimulierung				
		stimuliert				
			Mittelwert	Median	Min.	Max.
Wasserverbrauch	wenig Wasser	pH _{0,5} MLD	5,82	5,83	5,30	6,41
		pH ₄ MLD	5,61	5,58	5,27	6,87
		pH ₁₂ MLD	5,54	5,52	5,25	6,08
		pH ₁₈ MLD	.	.	.	.
	viel Wasser	pH _{0,5} MLD	5,93	5,94	5,38	6,61
		pH ₄ MLD	5,67	5,64	5,39	6,13
		pH ₁₂ MLD	5,59	5,57	5,38	5,95
		pH ₁₈ MLD	5,58	5,57	5,32	6,09

Tabelle 18: pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

Aus betrieblichen Gründen wurde an den Untersuchungstagen 8 bis 12 die Menge des Wassers, mit dem die Tiere vor dem Eintrieb in den Restrainer befeuchtet werden, verringert. Die Wassermenge wurde ab dem Untersuchungstag 13 wieder kurzfristig erhöht, so dass in diesem Zeitraum nur Tiere mit Elektrostimulierung erfasst werden konnten.

Hier konnten keine Schlachttiere 18 h nach der Schlachtung erfasst werden (Tab. 18). Daraus errechnete sich ein Abfall der pH-Werte im Zeitraum von 30 min bis 12 h von 0,21 und 0,07, also eine Gesamtspanne von 0,28 Einheiten. Die mittleren pH-Werte im M. long. dorsi betragen bei reduziertem Wasserverbrauch 5,82 (pH_{0,5}), 5,61 (pH₄) und 5,54 (pH₁₂).

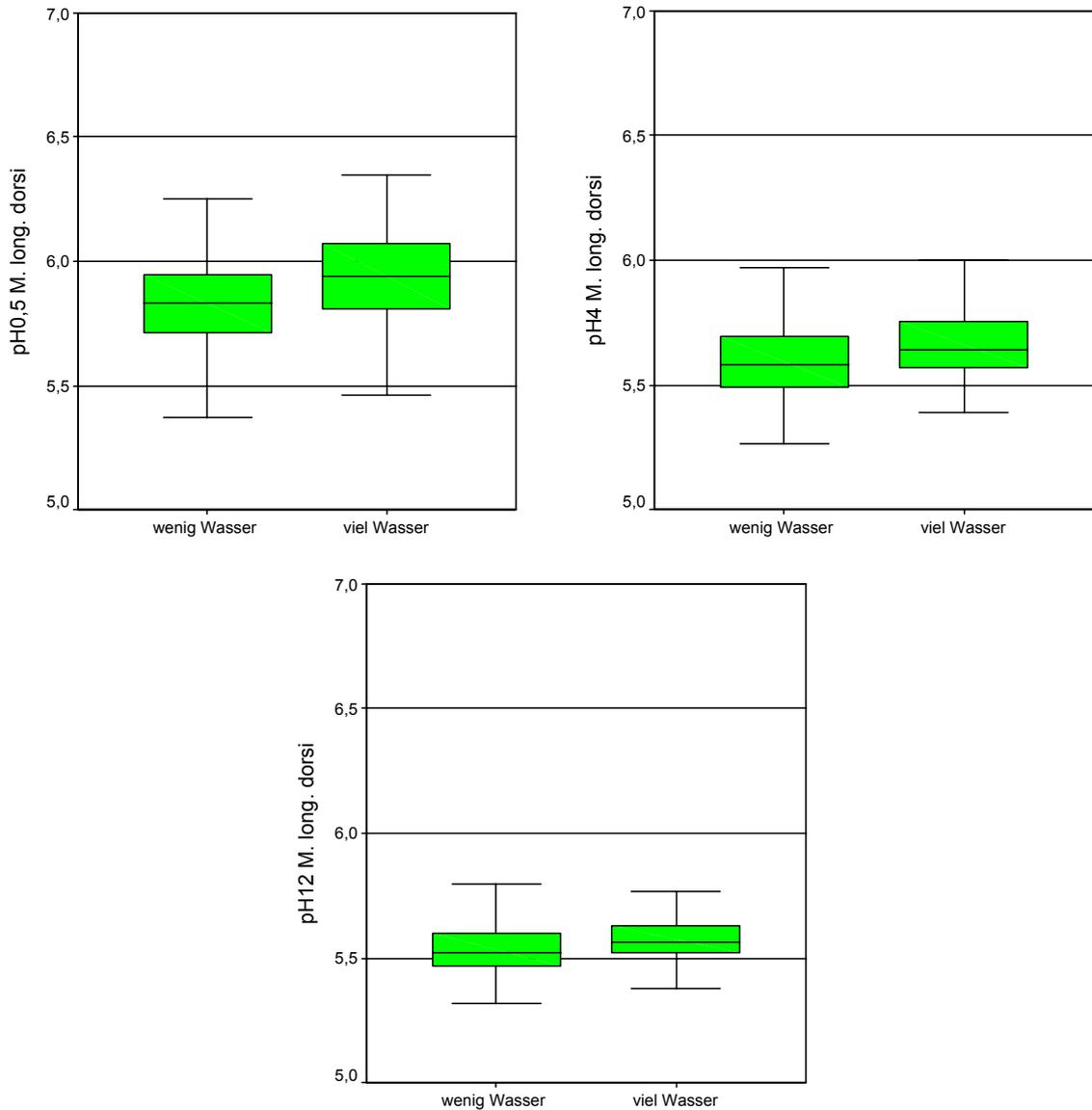


Abbildung 13: pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit Wasserverbrauch, nur stimulierte Tiere

Bei erhöhtem bzw. regulärem Wasserverbrauch beim Eintrieb in den Restrainer ergaben sich pH-Mittelwerte im M. long. dorsi von 5,93 (pH_{0,5}), 5,67 (pH₄), 5,59 (pH₁₂) und 5,58 (pH₁₈). Somit sanken die mittleren pH-Werte um 0,26, 0,08 und 0,01 Einheiten und ergaben eine Gesamtspanne von 0,37 pH-Einheiten.

Im Vergleich der pH-Werte bei hohem bzw. niedrigen Wasserverbrauch, dargestellt in folgender Graphik (Abb. 13), ergab sich ein Unterschied des $pH_{0,5}$ von 0,11 Einheiten, wobei das höhere Niveau bei der Schlachtung mit viel Wasser erkennbar war. Dieser Unterschied verringerte sich nach 4 h auf 0,06 und 12 h p.m. auf 0,05 pH-Einheiten.

4.1.1.2 M. semimembranosus

Die Messungen des pH-Wertes des M. semimembranosus wurden zu den gleichen Zeitpunkten wie beim M. long. dorsi und in der in Kapitel 3.3.2.1 beschriebenen Weise durchgeführt.

Die mittleren pH-Werte der unstimulierten Tiere betragen im M. semimembranosus $pH_{0,5} = 6,38$, $pH_4 = 6,00$, $pH_{12} = 5,72$ und $pH_{18} = 5,61$. Die höchsten pH-Werte bei den nicht stimulierten Tieren betragen 6,97 (30 min p.m.), 6,62 (4 h p.m.), 6,36 (12 h p.m.) und 6,22 (18 h p.m.). Die Minima lagen bei 5,47, 5,18, 5,35 und 5,22 jeweils zu den genannten Untersuchungszeitpunkten.

			Mittelwert	Median	Min.	Max.
Stimulierung	nicht stimuliert	$pH_{0,5}$ M. semim.	6,38	6,40	5,47	6,97
		pH_4 M. semim.	6,00	6,02	5,18	6,62
		pH_{12} M. semim.	5,72	5,70	5,35	6,36
		pH_{18} M. semim.	5,61	5,60	5,22	6,22
	stimuliert	$pH_{0,5}$ M. semim.	5,95	5,96	5,29	6,66
		pH_4 M. semim.	5,73	5,70	5,22	6,32
		pH_{12} M. semim.	5,60	5,57	5,32	6,33
		pH_{18} M. semim.	5,60	5,58	5,33	6,23

Tabelle 19: pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

Der mittlere pH-Wert sank im Verlauf der Fleischreifung um 0,38 Einheiten zwischen den ersten beiden Messungen, danach um 0,28 und um weitere 0,11 Einheiten zwischen der dritten bzw. vierten Messung 12 und 18 h p.m..

Bei den stimulierten Schlachttieren lagen die Mittelwerte bei $\text{pH}_{0,5} = 5,95$, $\text{pH}_4 = 5,73$, $\text{pH}_{12} = 5,60$ und $\text{pH}_{18} = 5,60$. Hier fanden sich Maxima bei 6,66 (30 min p.m.), 6,32 (4 h p.m.), 6,33 (12 h p.m.) und 6,23 (18 h p.m.). Die niedrigsten pH-Werte im M. semimembranosus betragen 5,29, 5,22, 5,32 und 5,33. Der pH-Mittelwert sank post mortem um 0,22 Einheiten zwischen den ersten beiden Messungen (30 min und 4 h), fiel im weiteren Verlauf der frühpostmortalen Fleischreifung um 0,13 Einheiten zwischen 4 und 12 h ab, um dann bis 18 h nach der Schlachtung bei einem Wert von 5,60 zu stagnieren (Tab. 19).

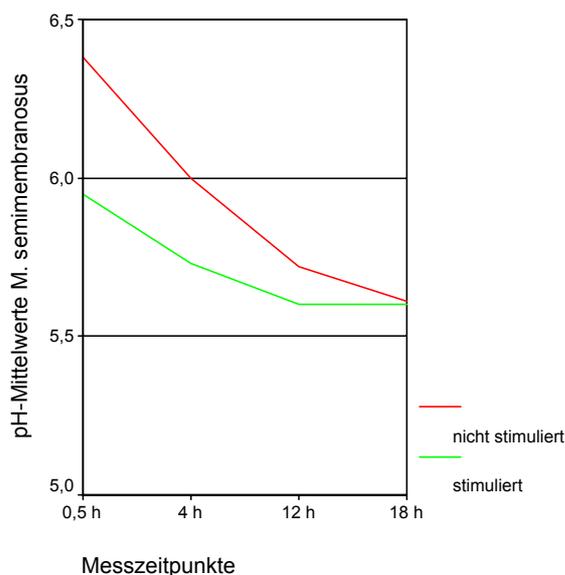


Abbildung 14: pH-Mittelwerte *M. semimembranosus*, stimuliert/nicht stimuliert

In den Graphiken wurden die pH-Werte von stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren zu den verschiedenen Messzeitpunkten einander gegenübergestellt. 30 Minuten post mortem lag der Mittelwert des pH-Wertes aller stimulierten Tiere bei 5,95 gegenüber 6,38 bei unstimulierten Tieren. Somit ergab sich eine Differenz von 0,43 Einheiten. Im Verlauf der Fleischreifung wurde die Differenz der mittleren pH-Werte des M. semimembranosus von stimulierten und unstimulierten Schlachtkörpern geringer, so dass 4 h p.m. noch ein Unterschied von 0,27 und 12 h p.m. von

0,12 und 18 h p.m. von 0,01 Einheiten vorliegt, wobei der niedrigere Wert immer nach Einsatz der Elektrostimulation gemessen wurde (Abb. 14 und 15).

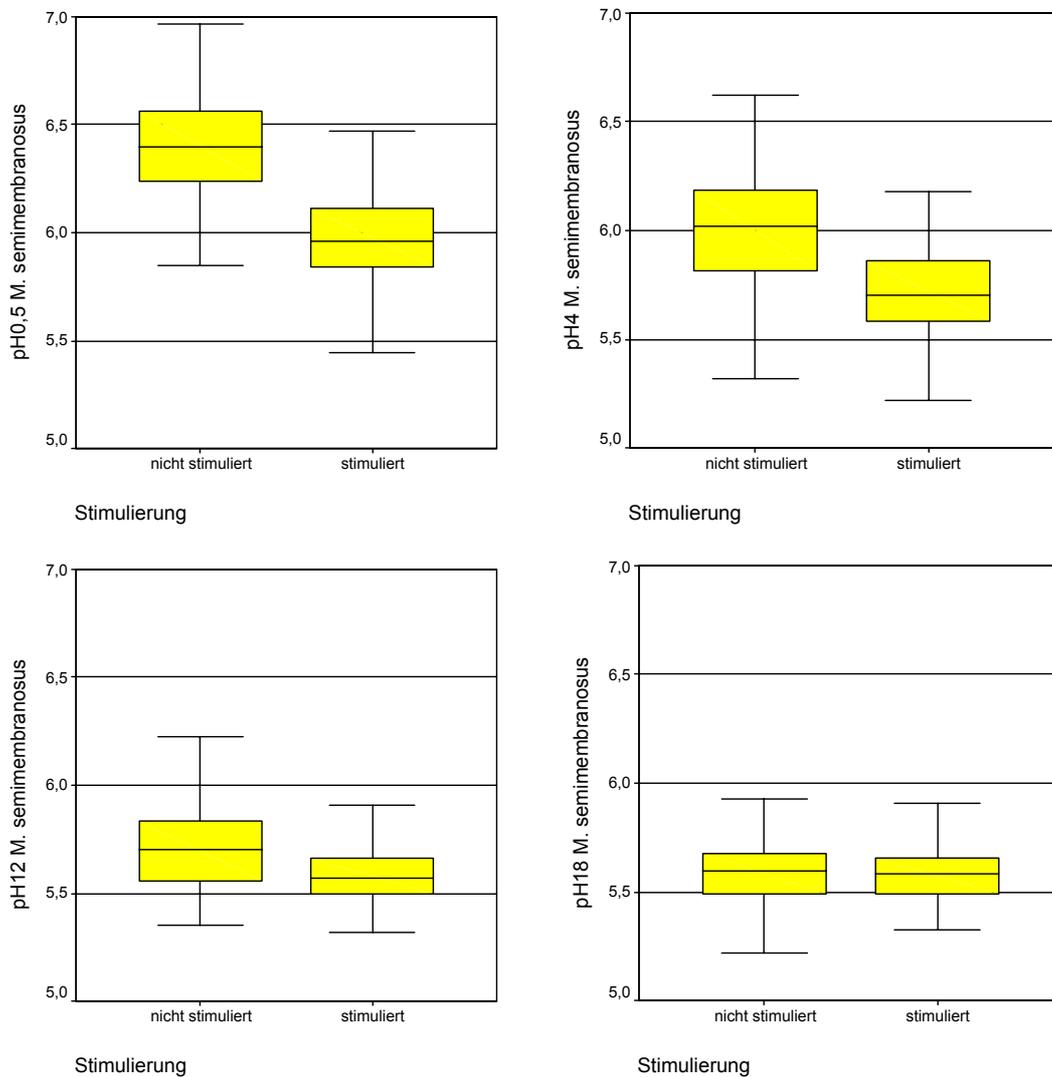


Abbildung 15: pH-Werte im M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt, stimuliert/nicht stimuliert

4.1.1.2.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Die pH-Wert Messungen im M. semimembranosus der nicht stimulierten Schlachttiere des Betriebes 1 (B 1) erbrachten Mittelwerte bei $pH_{0,5} = 6,31$, $pH_4 = 6,03$, $pH_{12} = 5,76$ (Tab. 20). Die M. semimembranosi der Schweine des Betriebes 2 (B 2) wiesen pH-Werte von 6,40 (30 min p.m.), 6,15 (4 h p.m.) und 5,85 (12 h p.m.) auf.

Von Betrieb 1 und 2 konnten keine Daten nach 18 h erfasst werden. Betrieb 3 zeigte mittlere pH-Werte im M. semimembranosus zu den genannten Untersuchungszeitpunkten von 6,41, 6,06, 5,64 und 5,56. Die pH-Mittelwerte der restlichen Betriebe (Betrieb 4-150) betragen 6,38, 5,96, 5,69 und 5,62. Der pH-Wert im M. semimembranosus der nicht stimulierten Schlachtschweine sank im Verlauf der Fleischreifung bei Betrieb 1 im Verlauf der frühpostmortalen Fleischreifung um 0,28 und 0,27 Einheiten, bei Betrieb 2 um 0,25 und 0,30 pH-Einheiten. Ebenfalls bei unstimulierten Schlachtieren zeigte sich bei Betrieb 3 (B 3) ein Absinken des pH-Wertes um 0,35 im Zeitraum von 30 min bis 4 h, danach ein weiteres Absinken von 0,42 Einheiten im Zeitraum von 4 h bis 12 h Im Zeitraum von 12 bis 18 h sank der pH-Mittelwert bei Betrieb 3 um 0,08 Einheiten weiter ab. Die mittleren pH-Werte der Tiere aus Betrieb 4-150 (B 4-150) fielen zunächst um 0,42 Einheiten, im weiteren Verlauf der Fleischreifung um 0,27 und 0,07 pH-Einheiten ab.

			Stimulierung					
			nicht stimuliert			stimuliert		
			Mittelwert	Median	n	Mittelwert	Median	n
Betrieb	B 1	pH _{0,5} M. semim.	6,31	6,31	31	5,94	5,94	39
		pH ₄ M. semim.	6,03	6,05	31	5,85	5,82	39
		pH ₁₂ M. semim.	5,76	5,77	31	5,85	5,78	39
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	31	.	.	39
	B 2	pH _{0,5} M. semim.	6,40	6,41	30	6,06	6,09	26
		pH ₄ M. semim.	6,15	6,17	30	5,73	5,65	26
		pH ₁₂ M. semim.	5,85	5,86	30	5,67	5,63	26
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	30	5,68	5,64	26
	B 3	pH _{0,5} M. semim.	6,41	6,52	8	5,96	6,00	51
		pH ₄ M. semim.	6,06	6,12	8	5,72	5,71	51
		pH ₁₂ M. semim.	5,64	5,59	8	5,60	5,59	51
		pH ₁₈ M. semim.	5,56	5,52	8	5,55	5,56	51
	B4-150	pH _{0,5} M. semim.	6,38	6,40	198	5,94	5,96	376
		pH ₄ M. semim.	5,96	5,97	198	5,72	5,70	376
		pH ₁₂ M. semim.	5,69	5,68	198	5,59	5,56	376
		pH ₁₈ M. semim.	5,62	5,60	198	5,58	5,55	376

Tabelle 20: pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Bei den stimulierten Tieren aus Betrieb 1 wurden mittlere pH-Werte von 5,84, 5,85 und 5,85 nach 30 min, 4 h und 12 h p.m. gemessen. Auch hier konnten keine stimulierten Tiere 18 h p.m. erfasst werden. Die Schlachtschweine aus Betrieb 2 zeigten

mittlere pH-Werte von 6,06, 5,73, 5,67 und 5,68, die aus Betrieb 3 betragen 5,96, 5,72, 5,60 und 5,55. Bei Betrieb 4-150 wurden Mittelwerte von 5,94 (30 min p.m.), 5,72 (4 h p.m.), 5,59 (12 h p.m.) und 5,58 (18 h p.m.) ermittelt. Somit zeigten sich pH-Wert-Absenkungen um 0,09 und 0,00 Einheiten bei Betrieb 1, bei Schlachttieren aus Betrieb 2 0,33 und 0,06 bis 12 h p.m., danach fand sich ein geringer Anstieg des mittleren pH-Wertes um 0,01 bis 18 h nach der Schlachtung. Bei Schlachtschweinen aus Betrieb 3 konnten Unterschiede der mittleren pH-Werte von 0,24, 0,12 und danach im Zeitraum von 12 bis 18 Stunden nach der Schlachtung ein weiteres Absinken von 0,05 Einheiten ermittelt werden. Die Werte der Messungen der stimulierten Schlachttiere aus den Betrieben 4-150 sanken um 0,22 und 0,13 bis 12 h p.m., im Zeitraum bis 18 h p.m. weiter um 0,01 pH-Einheiten.

Bei den nicht stimulierten Tieren zeigte Betrieb 3 den höchsten mittleren pH-Wert im M. semimembranosus ($\text{pH}_{0,5} = 6,41$) gefolgt von Betrieb 2 ($\text{pH}_{0,5} = 6,40$), Betrieb 4-150 und Betrieb 1 ($\text{pH}_{0,5} = 6,38$ und $\text{pH}_{0,5} = 6,31$). Nach 4 h zeigten die Tiere aus Betrieb 2 den höchsten Wert von 6,15 gefolgt von den Schlachttieren aus Betrieb 3 ($\text{pH}_4 = 6,06$), aus Betrieb 1 ($\text{pH}_4 = 6,03$) und aus Betrieb 4-150 ($\text{pH}_4 = 5,96$). Nach weiteren 8 h (12 h p.m.) konnte bei den Schweinen aus Betrieb 2 der höchste mittlere pH-Wert im M. long. dorsi mit $\text{pH}_{12} = 5,85$ ermittelt werden. Betrieb 1, 4-150 und Betrieb 3 schließen sich mit pH-Werten von 5,76, 5,69 und 5,64 an. Den höchsten End-pH-Wert 18 h nach der Schlachtung wiesen Schlachttiere aus Betrieb 4-150 mit einer Differenz von 0,06 Einheiten gegenüber Betrieb 3 auf. Für Betrieb 1 und 2 konnten keine pH_{18} -Werte gemessen werden. Die Spanne des pH-Wert-Abfalles bei den nicht stimulierten Schlachttieren zwischen dem ersten Messzeitpunkt und der 3. Messung betrug bei Betrieb 1 und 2 0,55 pH-Einheiten (jeweils im Zeitraum bis zu 12 h p.m.), bei Tieren mit Herkunft aus Betrieb 3 0,77 und bei Betrieb 4-150 0,69 pH-Einheiten. Bei der Gruppe der Tiere aus Betrieb 3 0,85 und den restlichen Betrieben betrug die Spanne 0,76 Einheiten (jeweils im Zeitraum von 30 min bis zu 18 h p.m.).

Bei den stimulierten Schlachttieren konnte in der Gruppe aus Betrieb 2 der höchste Mittelwert im M. semimembranosus ($\text{pH}_{0,5} = 6,06$) gefolgt von Betrieb 3 ($\text{pH}_{0,5} = 5,96$) und Betrieb 1 und 4-150 ($\text{pH}_{0,5} = 5,94$) errechnet werden. 4 h nach der Schlachtung wiesen Tiere aus Betrieb 1 mit $\text{pH}_4 = 5,85$ den höchsten Mittelwert auf. Es schließen sich die Werte der Schlachttiere aus Betrieb 2 (5,73) und den Betrieben 3 und 4-150 mit einem mittleren pH-Wert von 5,72 an. 12 h p.m. konnten noch Unterschiede bei

den stimulierten Tieren im M. long. dorsi von 0,18 pH-Einheiten (zwischen Betrieb 1 und 2), 0,07 (zwischen Betrieb 2 und 3) und 0,01 pH-Einheiten (zwischen Betrieb 3 und Betrieb 4-150) in abfallender Reihenfolge ermittelt werden. 18 h p.m. wies die Gruppe der stimulierten Schlachttiere von Betrieb 2 den höchsten mittleren pH-Wert auf, gefolgt von Betrieb 4-150 (5,58) und Betrieb 3 (5,55) mit Differenzen von 0,1 und 0,03 pH-Einheiten. Die Spanne des pH-Wert-Abfalles bei den stimulierten Schlachttieren zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt betrug bei Betrieb 1 0,09 Einheiten im Verlauf der Fleischreifung bis 12 h p.m.. Bei Betrieb 3 konnte eine Spanne von 0,41, bei Betrieb 2 von 0,38 und bei Betrieb 4-150 eine Spanne von 0,36 Einheiten im Zeitraum bis 18 h nach der Schlachtung errechnet werden (Abb. 16).

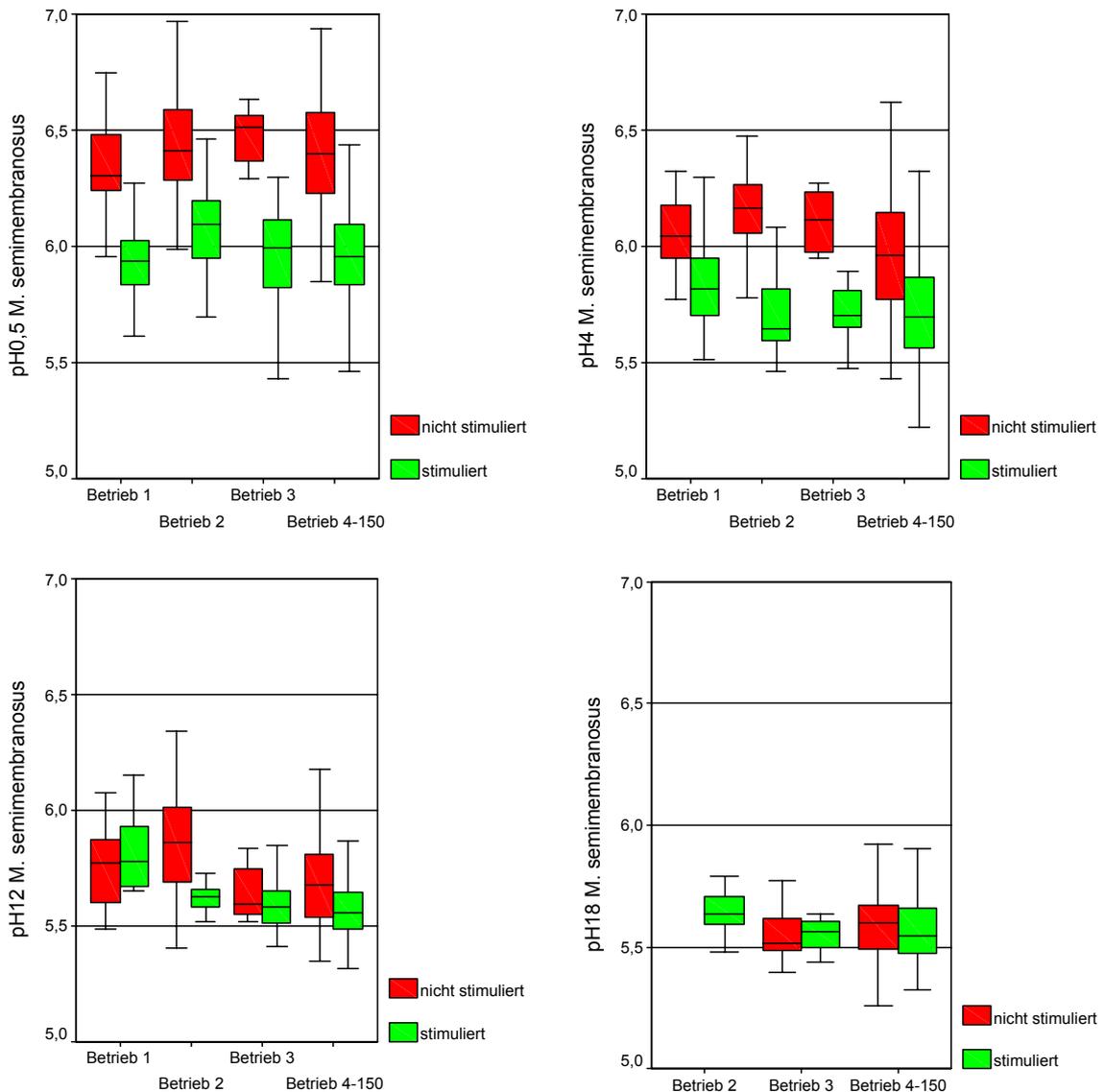


Abbildung 16: pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Im Vergleich der stimulierten zu der nicht stimulierten Gruppe wiesen die Schlachttiere von Betrieb 1 30 Minuten nach der Schlachtung einen um 0,37 Einheiten schnelleren Abfall des mittleren pH-Wertes auf, die Schlachttiere von Betrieb 2 zeigten im gleichen Zeitraum einen pH-Wert-Abfall von 0,34 (Abb. 16). Die Unterschiede des Betriebes 3 wurden mit 0,45 und die der restlichen Betriebe mit 0,44 ermittelt. 4 Stunden nach der Schlachtung verringerte sich diese Differenz bei Betrieb 1 auf 0,18, bei Betrieb 3 auf 0,34 und bei Betrieben 4-150 auf 0,24. Der Unterschied zwischen stimulierten und nicht stimulierten Tieren bei Betrieb 2 erhöhte sich jedoch zu diesem Zeitpunkt auf 0,42. Nach 12 Stunden wiesen die Schlachttierkörper aus Betrieb 1 einen um 0,09 pH-Einheiten höheren Wert nach Stimulierung auf. Bei den nicht stimulierten Tieren aus Betrieb 2 errechnete sich ohne Stimulierung ein um 0,18 höherer mittlerer pH-Wert, bei den Tieren aus Betrieb 3 von 0,04 und bei den Betrieben 4-150 ein um 0,10 höherer Wert ohne Stimulierung. 18 h nach der Schlachtung konnten nur noch die Betriebe 3 und 4-150 erfasst werden. Sie wiesen eine Differenz des pH-Wertes nicht stimuliert gegenüber stimuliert von 0,01 (Betrieb 3) bzw. 0,04 (Betrieb 4-150) auf.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Geschlecht	männl.	pH _{0,5} M. semim.	6,34	6,37	5,64	6,86	5,93	5,94	5,35	6,47
		pH ₄ M. semim.	5,99	6,00	5,43	6,43	5,68	5,68	5,22	6,32
		pH ₁₂ M. semim.	5,70	5,72	5,38	6,23	5,57	5,56	5,32	6,19
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	.	.	.	.	.	.
	weibl.	pH _{0,5} M. semim.	6,34	6,33	5,59	6,97	5,91	5,93	5,32	6,44
		pH ₄ M. semim.	6,00	5,98	5,32	6,62	5,72	5,71	5,32	6,30
		pH ₁₂ M. semim.	5,73	5,68	5,44	6,34	5,62	5,57	5,37	6,33
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 21: pH-Werte *M. semimembranosus* in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die Tabelle 21 gibt einen Überblick über den Einfluss des Geschlechtes der Schlachtschweine auf die frühpostmortale Entwicklung des mittleren pH-Wertes im M. semimembranosus. Hierbei konnten lediglich Messungen bis 12 h p.m. in die Auswertung mit einbezogen werden. Bei den männlichen, nicht stimulierten Schlachtschweinen fand sich ein $pH_{0,5} = 6,34$, $pH_4 = 5,99$ und $pH_{12} = 5,70$. Die weiblichen unstimulierten Tiere zeigten Werte von $pH_{0,5} = 6,34$, $pH_4 = 6,00$ und $pH_{12} = 5,73$. Somit fiel bei den männlichen nicht stimulierten Tieren der pH-Wert zwischen den Untersuchungszeitpunkten um 0,35 und 0,29 pH-Einheiten, bei den weiblichen nicht stimulierten Tieren um 0,34 und 0,27 Einheiten ab.

Die männlichen stimulierten Tiere ($n = 181$) zeigten zu den Untersuchungszeitpunkten (30 min, 4 h und 12 h p.m.) mittlere pH-Werte von 5,93, 5,68 und 5,57, die weiblichen stimulierten Tiere ($n = 110$) mittlere Werte von 5,91, 5,72 und 5,62. Daraus ließ sich ein Abfall des pH-Wertes nach 4 bzw. 12 h bei den männlichen stimulierten Tieren im Mittel um 0,25 bzw. 0,11 Einheiten, bei den weiblichen stimulierten Schlachttieren um 0,19 bzw. 0,10 pH-Einheiten errechnen.

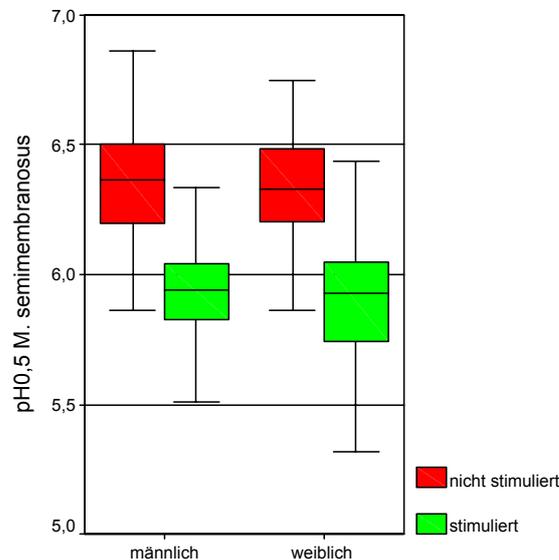


Abbildung 17: pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Geschlecht

Männliche und weibliche nicht stimulierte Tiere unterschieden sich bei der ersten Messung 30 min p.m. bezüglich des pH-Wertes des M. semimembranosus nicht ($pH_{0,5} = 6,34$). Bei den folgenden Messungen unterschieden sich die Werte von

männlichen und weiblichen Schlachttieren um 0,01 (nach 4 h) und 0,03 (nach 12 h), wobei die männlichen Tiere den niedrigeren Wert aufwiesen (Abb. 17).

Bei der stimulierten Gruppe zeigten die männlichen Tiere 30 min nach der Schlachtung einen um 0,02 höheren mittleren pH-Wert auf. 4 Stunden p.m. wurde bei den männlichen Schlachttieren ein um 0,03 und 12 h p.m. ein um 0,05 niedrigerer Wert gemessen.

Durch die Erfassung der Messdaten des Fleischprüfringes konnte die Einteilung der Schlachttiere in Handelsklassen (HK) und der Art der Schlachtung (stimuliert/nicht stimuliert) in Beziehung gebracht werden (Tab. 22). In der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere zeigten die Tiere der HK „E“ Werte von $pH_{0,5} = 6,36$, $pH_4 = 5,98$, $pH_{12} = 5,71$ und $pH_{18} = 5,61$. Bei den Tiere der HK „U“ konnten Mittelwerte von $pH_{0,5} = 6,52$, $pH_4 = 6,17$ und $pH_{12} = 5,80$ und $pH_{18} = 5,67$ errechnet werden. Die Tiere der HK „R“ wiesen mittlere pH-Werte von 6,10, 5,84, 5,70 und 5,87 auf. Somit fiel bei den nicht stimulierten Tieren der HK „E“ der pH-Wert zwischen den Untersuchungszeitpunkten um 0,38, 0,27 und 0,10 pH-Einheiten ab. Bei den nicht stimulierten Tieren der HK „U“ fand sich ein Abfall der pH-Werte um 0,35, 0,37 und 0,13 Einheiten. Bei den Schlachttieren der HK „R“ wurde ein Absinken von 0,26 (im Zeitraum von 30 min bis 4h), 0,14 pH-Einheiten (im Zeitraum von 4 – 12 h) ermittelt. 18 h p.m. konnte nur ein Schlachttier mit der Klassifizierung „R“ beurteilt werden, deshalb wird diese Handelsklasse im Folgenden nicht berücksichtigt.

In der Gruppe der mit „E“ klassifizierten Schlachttiere mit Elektrostimulation zeigte sich im Verlauf der Fleischreifung eine Absenkung des mittleren pH-Wertes im M. long. dorsi innerhalb der ersten 30 min p.m. auf $pH_{0,5} = 5,95$, in der Folge auf $pH_4 = 5,73$, $pH_{12} = 5,62$ und $pH_{18} = 5,61$. Die stimulierten Schlachttiere der HK „U“ erbrachten Werte von $pH_{0,5} = 5,97$, $pH_4 = 5,70$, $pH_{12} = 5,55$ und $pH_{18} = 5,57$, während die pH-Werte bei den Tieren der HK „R“ 5,92 (30 min p.m.), 5,75 (4 h p.m.) und 5,61 (12 h p.m.) betragen. Hier konnten ebenfalls keine Messungen an Schlachttierkörpern 18 h p.m. durchgeführt werden. Daraus ergab sich ein mittlerer Abfall des pH-Wertes im Verlauf der ersten Stunden der Fleischreifung bei HK „E“ um 0,22 bis 4 h p.m., 0,11 bis 12 h p.m. und um 0,01 pH-Einheiten um 0,01 im Zeitraum zwischen 12 und 18 Stunden nach der Schlachtung. Die pH-Werte der Schlachttiere der HK

„U“ sanken zwischen den Messzeitpunkten um 0,27 und 0,15 Einheiten (30 min bis 4h bzw. 4h bis 12 h p.m.) und stiegen bis 18 h p.m. wieder um 0,02 Einheiten an. Die pH-Mittelwerte des M. semimembranosus der Gruppe der mit „R“ klassifizierten Schlachtschweine sanken im Verlauf der Reifung um 0,17 und 0,14 pH-Einheiten bis 12 h nach der Schlachtung. Lediglich ein Schlacht tier wurde mit „P“ klassifiziert und wird nicht in die Auswertung mit einbezogen (Tab. 22).

Bei nicht stimulierten Tieren wiesen die Tiere der Handelsklasse „U“ gegenüber den Tieren der Handelsklasse „E“ im Mittel einen um 0,16 Einheiten höheren $pH_{0,5}$ -Wert nach 30 min, gegenüber der HK „R“ einen um 0,42 Einheiten höheren pH-Wert auf. Nach 4 h betragen die Differenzen der mittleren pH-Werte im M. semimembranosus 0,19 (HK „U“ gegenüber HK „E“) und 0,14 (HK „E“ gegenüber HK „R“). Auch noch 12 h p.m. weisen Tiere die mit HK „U“ klassifiziert wurden den höchsten mittleren pH-Wert auf, gefolgt mit einem Abstand von 0,09 zur HK „E“ und einem Abstand von 0,1 zur HK „R“. Nach 18 h zeigten die Schlacht tierkörper der HK „E“ einen um 0,06 Einheiten niedrigeren pH-Wert als HK „U“ ($pH_{18} = 5,67$).

Bei den stimulierten Tieren lagen die ersten Messwerte mit 5,95 (HK „E“), 5,97 (HK „U“) und 5,92 (HK „R“) mit geringen Unterschieden im Hundertstelbereich (0,05 Einheiten) sehr eng zusammen. Im weiteren Verlauf der Fleischreifung fanden sich nach 4 h p.m. ebenfalls eng beieinander liegende mittlere pH-Werte von 5,70 - 5,75, mit einer maximalen Differenz von 0,05 pH-Einheiten. 12 h p.m. zeigten die mit „E“ klassifizierten Schlacht tierkörper (5,62) einen um 0,01 pH-Einheiten höheren Muskel-pH im Vergleich zu den Schlacht tierkörpern der HK „R“ (5,61) einen um 0,01 höheren pH-Wert. Bei den Tieren der HK „U“ konnte ein schnellerer Abfall des pH-Wertes um 0,06 gegenüber den Tieren der HK „R“ ermittelt werden. Im Verlauf der Fleischreifung erreichen die Tiere der HK „E“ einen um 0,04 Einheiten höheren pH-Wert als die Schlacht tiere der HK „U“.

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
		Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.	
Handelsklasse	E	pH _{0,5} M. semim.	6,36	6,40	5,47	6,97	5,95	5,95	5,29	6,66
		pH ₄ M. semim.	5,98	5,99	5,18	6,62	5,73	5,70	5,34	6,32
		pH ₁₂ M. semim.	5,71	5,68	5,35	6,34	5,62	5,59	5,32	6,33
		pH ₁₈ M. semim.	5,61	5,58	5,22	6,06	5,61	5,59	5,34	6,23
	U	pH _{0,5} M. semim.	6,52	6,59	6,14	6,81	5,97	6,00	5,35	6,47
		pH ₄ M. semim.	6,17	6,20	5,71	6,47	5,70	5,71	5,22	6,15
		pH ₁₂ M. semim.	5,80	5,79	5,49	6,36	5,55	5,55	5,35	5,97
		pH ₁₈ M. semim.	5,67	5,60	5,48	6,22	5,57	5,56	5,33	5,88
	R	pH _{0,5} M. semim.	6,10	6,14	5,64	6,52	5,92	5,99	5,62	6,17
		pH ₄ M. semim.	5,84	5,84	5,43	6,26	5,75	5,70	5,56	6,01
		pH ₁₂ M. semim.	5,70	5,70	5,51	5,90	5,61	5,60	5,51	5,81
		pH ₁₈ M. semim.	5,87	5,87	5,87	5,87	.	.	.	.
	P	pH _{0,5} M. semim.	.	.	.	.	5,76	5,76	5,76	5,76
		pH ₄ M. semim.	.	.	.	.	5,60	5,60	5,60	5,60
		pH ₁₂ M. semim.	.	.	.	.	5,58	5,58	5,58	5,58
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 22: pH-Werte *M. semimembranosus* in Abhängigkeit von der Handelsklasse

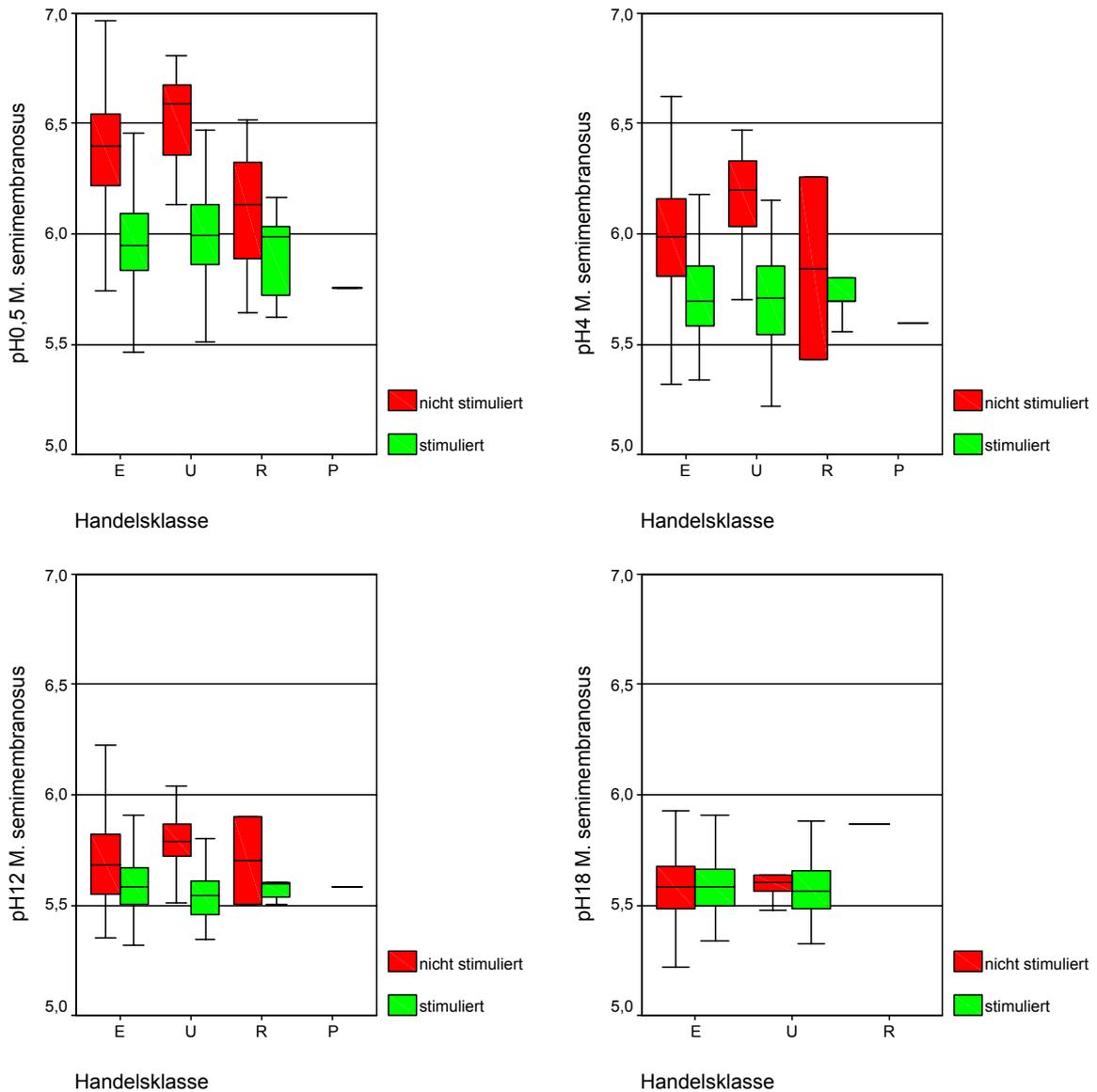


Abbildung 18: pH-Werte *M. semimembranosus* in Abhängigkeit von der Handelsklasse

Die Tiere der HK „E“ hatten nach Stimulierung einen um 0,41 (30 min p.m.), 0,25 (4 h p.m.), 0,09 (12 h p.m.) erniedrigten mittleren pH-Wert gegenüber den unstimulierten Tieren und lagen nach 18 Stunden p.m. auf gleichem Niveau ($pH_{18} = 5,61$). Bei den Schlachttieren der HK „U“ zeigten sich zu den Messzeitpunkten Unterschiede von 0,55, 0,47, 0,25 und 0,10 pH-Einheiten. Innerhalb der untersuchten Tierkörper der HK „R“ wurden Absenkungen von 0,18 und 0,09 Einheiten in den Zeiträumen von 30 min - 4 h und 4 - 12 h ermittelt. In folgenden Diagrammen (Abb. 18) sind die Differenzen mit und ohne Elektrostimulierung der verschiedenen Handelsklassen deutlich erkennbar.

4.1.1.2.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

In der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere wiesen die Tiere an Schlachttagen, an denen Mitarbeiter 1 eingesetzt wurde, mittlere pH-Werte im M. semimembranosus von 6,31, 5,90, 5,56 und 5,47 Einheiten zu den Messzeitpunkten 30 min, 4 h, 12 h und 18 h auf. Bei den durch MA 2 betreuten Tieren sanken die pH-Werte von 6,48 (30 min p.m.), auf 6,01 (4 h p.m.), 5,82 (12 h p.m.) und 5,70 (18 h p.m.). Bei MA 3 zeigten die Schlachttiere ohne Elektrostimulation im Verlauf der Fleischreifung ein Absinken des mittleren pH-Wertes im M. semimembranosus auf 6,48 (30 min p.m.), 6,11 (4 h p.m.), 5,71 (12 h p.m.) und 5,59 (18 h p.m.), bei MA 5 zu den gleichen Zeitpunkten auf Werte von 6,34, 5,99 und 5,71 pH-Einheiten (Tab. 23).

Somit erniedrigte sich der pH-Wert bei den Schlachttieren an Arbeitstagen des MA 1 zwischen den Messungen um 0,41, 0,34 und 0,09 Einheiten. Bei den von MA 2 betreuten nicht stimulierten Schweinen um 0,47, 0,19 und 0,12 Einheiten zwischen den Messzeitpunkten. Die mittleren pH-Werte im M. semimembranosus der von MA 3 eingetriebenen Schlachttiere verringerten sich um 0,37, 0,40 und 0,12 pH-Einheiten (jeweils im Zeitraum 30 min bis 4 h, 4 h bis 12 h und 12 h bis 18 h). Die Schlachttiere, die von MA 5 betreut wurden, zeigten einen Abfall der pH-Wert in der Muskulatur von 0,35 (30 min bis 4 h) und 0,28 (4 h bis 12 h) auf.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Personal	MA 1	pH _{0,5} M. semim.	6,31	6,33	5,47	6,64	.	.	.	.
		pH ₄ M. semim.	5,90	5,86	5,18	6,37	.	.	.	.
		pH ₁₂ M. semim.	5,56	5,56	5,35	5,84	.	.	.	.
		pH ₁₈ M. semim.	5,47	5,48	5,22	5,78	.	.	.	.
	MA 2	pH _{0,5} M. semim.	6,48	6,50	5,97	6,94	5,91	5,93	5,32	6,66
		pH ₄ M. semim.	6,01	6,06	5,54	6,47	5,67	5,62	5,32	6,32
		pH ₁₂ M. semim.	5,82	5,80	5,44	6,36	5,62	5,57	5,36	6,33
		pH ₁₈ M. semim.	5,70	5,65	5,44	6,22	.	.	.	.
	MA 3	pH _{0,5} M. semim.	6,48	6,57	5,85	6,81	.	.	.	.
		pH ₄ M. semim.	6,11	6,13	5,70	6,50	.	.	.	.
		pH ₁₂ M. semim.	5,71	5,69	5,42	6,06	.	.	.	.
		pH ₁₈ M. semim.	5,59	5,57	5,33	6,06	.	.	.	.
	MA 4	pH _{0,5} M. semim.	.	.	.	.	5,92	5,94	5,55	6,44
		pH ₄ M. semim.	.	.	.	.	5,67	5,70	5,22	6,07
		pH ₁₂ M. semim.	.	.	.	.	5,54	5,50	5,32	5,90
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	.	.	.	.	.	.
MA 5	pH _{0,5} M. semim.	6,34	6,36	5,59	6,97	5,96	5,99	5,35	6,39	
	pH ₄ M. semim.	5,99	5,99	5,32	6,62	5,75	5,74	5,35	6,15	
	pH ₁₂ M. semim.	5,71	5,70	5,38	6,34	5,58	5,57	5,35	6,00	
	pH ₁₈ M. semim.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 23: pH-Werte *M. semimembranosus* in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Bei der nicht stimulierten Gruppe konnte der höchste mittlere Muskel-pH-Wert bei den von MA 2 und MA 3 eingetriebenen Schweinen gemessen werden ($\text{pH}_{0,5} = 6,48$), gefolgt von Tieren, die an Arbeitstagen von MA 5 ($\text{pH}_{0,5} = 6,34$) und MA 1 ($\text{pH}_{0,5} = 6,31$) geschlachtet wurden. Daraus ließ sich eine Gesamtspanne von 0,17 pH-Einheiten im Verlauf der ersten 30 min p.m. errechnen. 4 h nach der Schlachtung fanden sich Unterschiede in den mittlere pH-Werten von 0,10 (MA 3 und MA 2), 0,09 (MA 5 und MA 1) und 0,02 (MA 2 und MA 5) in absteigender Reihe, also eine Spanne von insgesamt 0,21 pH-Einheiten. 12 Stunden nach der Schlachtung wiesen die Schlachttiere an Arbeitstagen von MA 2 einen um 0,11 höheren mittleren pH-Wert als MA 3 und 5 (5,71) auf. Schlachttiere betreut durch MA 1 zeigten zu diesem Untersuchungszeitpunkt einen schnelleren pH-Wert-Abfall um 0,15 Einheiten gegenüber den Tieren die an Arbeitstagen der MA 3 und 5 geschlachtet wurden. Daraus errechnete sich eine maximale Differenz zwischen MA 2 und MA 1 von 0,26 pH-Einheiten 12 h p.m.. 18 Stunden nach der Schlachtung zeigten die Schlachttiere, betreut durch MA 2, den höchsten $\text{pH}_{0,5}$ -Wert (5,70) mit einer Differenz von 0,11 zu den Schlachttieren von MA 3. Die Gruppe der nicht stimulierten Tiere an Einsatztagen von MA 1 wiesen einen um nochmals 0,12 niedrigeren pH-Wert auf, woraus sich eine Spanne von 0,23 Einheiten errechnen lässt.

Bei der stimulierten Gruppe wiesen die von MA 5 eingetriebenen Tiere den höchsten pH-Mittelwert von 5,96 auf, gefolgt von MA 4 ($\text{pH}_{0,5} = 5,92$) und MA 2 ($\text{pH}_{0,5} = 5,91$), woraus sich eine Gesamtdifferenz von 0,05 Einheiten ermitteln ließ. Zum nächsten Messzeitpunkt nach 4 Stunden erbrachten die mittleren pH-Werte des M. semimembranosus der von MA 2 und 4 betreuten Tiere gleiche Werte mit $\text{pH}_4 = 5,67$. An Einsatztagen von MA 5 zeigten die Schlachttiere nach Elektrostimulation einen um 0,08 Einheiten höheren Wert (5,75). 12 h p.m. hatten die Tiere jeweils eine Differenz im mittleren pH-Wert von 0,04 Einheiten (MA 2, MA 5 MA 4) in absteigender Reihenfolge.

Beim Vergleich der mittleren pH-Werte der Schlachttiere nach der Stimulierung, die von MA 2 und MA 5 betreut wurden (jeweils stimuliert und nicht stimuliert), kann bei den Schlachttieren von MA 2 eine anfängliche Differenz im $\text{pH}_{0,5}$ von 0,57 und bei MA 5 eine solche von 0,38 ermittelt werden (Abb. 19). 4 h p.m. finden sich bei den Schlachttieren an Einsatztagen von MA 2 ein um 0,34 und von MA 5 ein um 0,24

niedrigerer pH-Wert nach Stimulierung. Nach 12 h zeigte sich bei den Tieren von MA 2 noch eine Differenz von 0,20 und bei denjenigen von MA 5 eine solche von 0,13, wobei das schnellere Absinken des mittleren pH-Wertes immer mit Stimulierung zu sehen war.

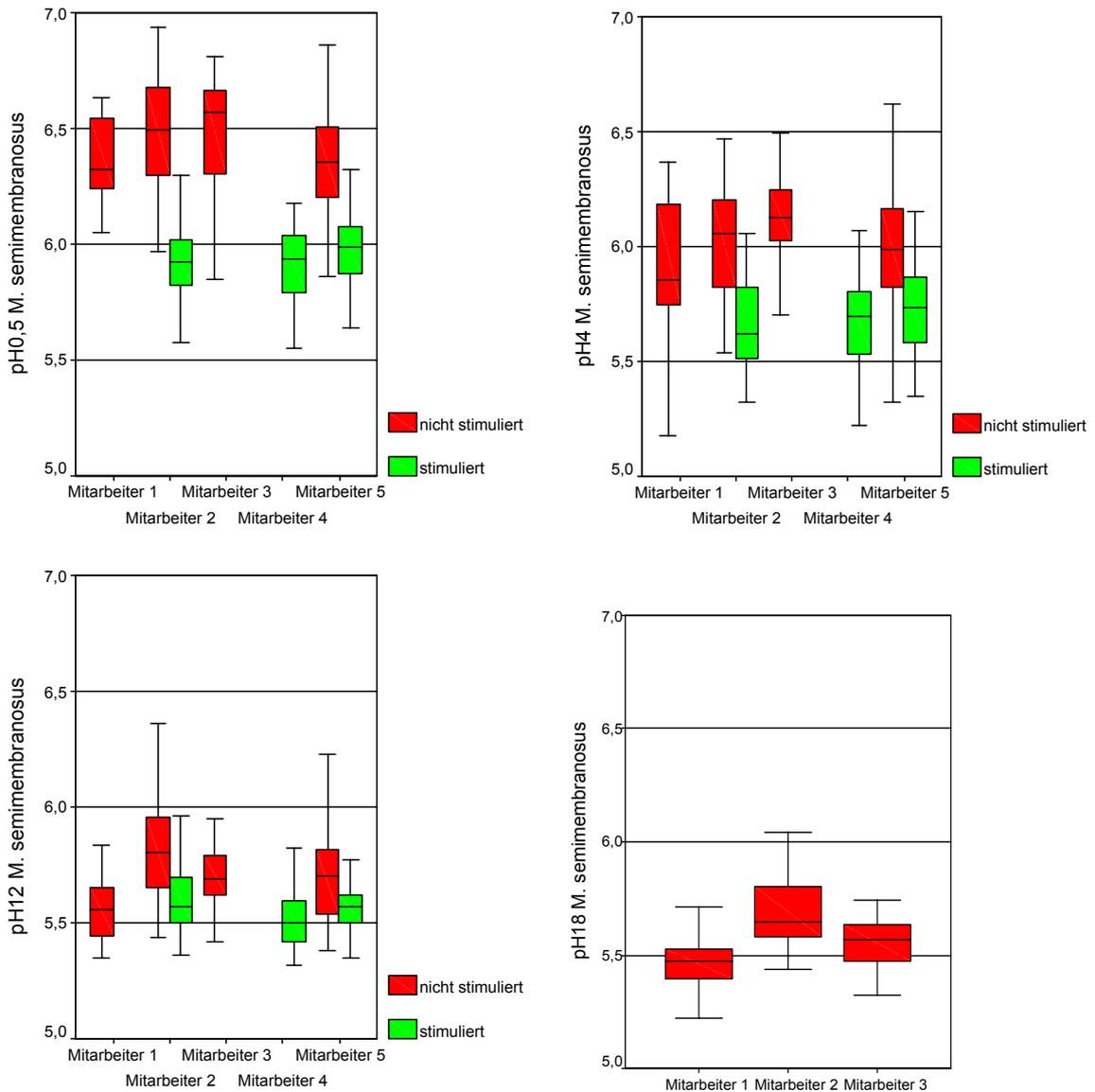


Abbildung 19: pH-Werte *M. semimembranosus* in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Bezüglich des unterschiedlichen Wasserverbrauches war es nur möglich stimulierte Tiere zu erfassen (Tab. 24). Im *M. semimembranosus* betragen die mittleren pH-Werte bei reduziertem Wasserverbrauch 5,90 (pH_{0,5}), 5,70 (pH₄) und 5,60 (pH₁₂). Daraus errechnete sich ein Abfall der pH-Werte im Zeitraum von 30 min bis 12 h von 0,20 und 0,10, also eine Gesamtspanne von 0,30 Einheiten.

			Stimulierung stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.
Wasser- verbrauch	wenig Wasser	pH _{0,5} M. semim.	5,90	5,93	5,29	6,66
		pH ₄ M. semim.	5,70	5,69	5,22	6,32
		pH ₁₂ M. semim.	5,60	5,56	5,32	6,33
		pH ₁₈ M. semim.	.	.	.	.
	viel Wasser	pH _{0,5} M. semim.	6,02	6,03	5,40	6,65
		pH ₄ M. semim.	5,77	5,76	5,45	6,30
		pH ₁₂ M. semim.	5,61	5,59	5,36	6,29
		pH ₁₈ M. semim.	5,60	5,58	5,33	6,23

Tabelle 24: pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

Bei erhöhtem bzw. regulärem Wasserverbrauch beim Eintrieb in den Restrainer ergaben sich pH-Mittelwerte im M. semimembranosus von 6,02 (pH_{0,5}), 5,77 (pH₄), 5,61 (pH₁₂) und 5,60 (pH₁₈). Somit sanken die mittleren pH-Werte um 0,25, 0,16 und 0,01 Einheiten und ergaben eine Gesamtspanne von 0,42 pH-Einheiten im Verlauf der Fleischreifung bis 18 h nach der Schlachtung.

Im Vergleich der pH-Werte gemessen im M. semimembranosus bei hohem bzw. niedrigem Wasserverbrauch, dargestellt in folgender Graphik (Abb. 20), ergibt sich ein Unterschied des mittleren pH_{0,5} in der Muskulatur von 0,12 Einheiten, wobei das höhere Niveau bei der Schlachtung mit viel Wasser erkennbar ist. Dieser Unterschied verringert sich nach 4 h auf 0,07 und 12 h p.m. auf 0,01 pH-Einheiten.

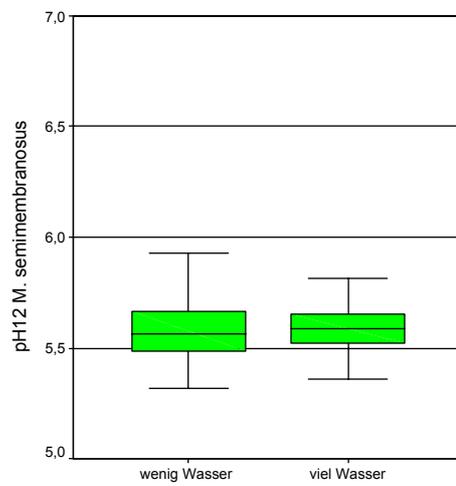
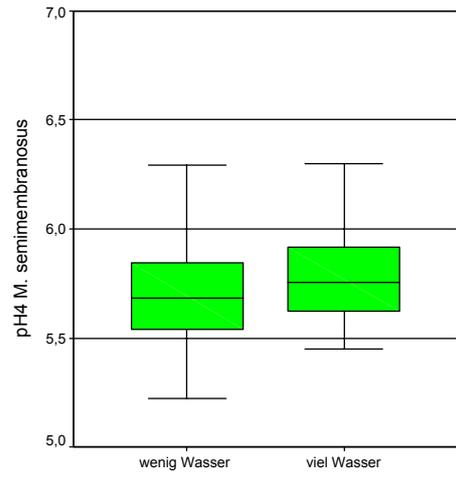
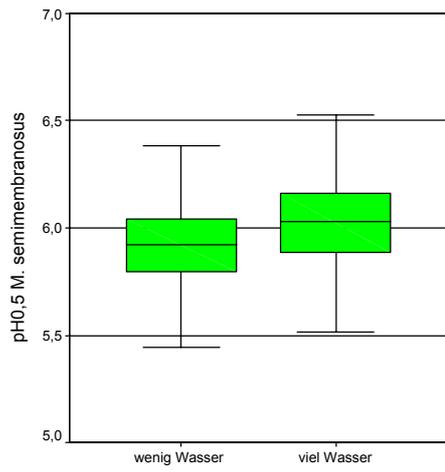


Abbildung 20: pH-Werte *M. semimembranosus* in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

4.1.2 Signifikanzen und Korrelationen

4.1.2.1 M. longissimus dorsi

Die Überprüfung mittels Kolmogorow-Smirnow-Test ergab bei den allen pH-Werten im M. long. dorsi bezüglich der Herkunftsbetriebe normal verteilte Werte. Die weitere Auswertung der Signifikanzen erfolgte demzufolge unter Verwendung des T-Testes bzw. bei mehr als 2 Stichproben mittels der ANOVA-Analyse.

4.1.2.1.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Im Vergleich der stimulierten mit der nicht stimulierten Schlachttiergruppe aus dem Zulieferbetrieb 2 konnten zu allen Untersuchungszeiten höchst signifikante Unterschiede errechnet werden ($p = 0,001$ 30 min p.m., $p = 0,000$ zu den anderen Messzeitpunkten), ebenso wie bei Schlachttieren aus den Herkunftsbetrieben 4-150 ($p = 0,000$). Innerhalb der Schlachttiere mit Herkunft aus Betrieb 1 konnte höchste Signifikanz 30 min p.m. ($p = 0,000$), 4 h nach der Schlachtung signifikante Differenzen ($p = 0,012$) der Werte der stimulierten gegenüber den der nicht stimulierten Schlachttiere ermittelt werden. 12 h p.m. glichen sich die pH-Werte bei Betrieb 1 an und zeigten keinen signifikanten Unterschied mehr zwischen stimulierten und nicht stimulierten Schlachttierkörpern ($p = 0,543$). Bei den Tieren aus Betrieb 3 konnte nur ein signifikanter Unterschied 30 min p.m. festgestellt werden ($p = 0,025$), danach glichen sich auch hier die Werte an und zeigten in ihren Differenzen keine Signifikanz mehr ($p = 0,060 - 0,625$).

Beim Vergleich der pH-Mittelwerte von Schlachttieren aus den verschiedenen Herkunftsbetrieben (Oneway-ANOVA) an Tagen ohne Stimulierung zeigten sich 0,5 h p.m. homogene Untergruppen, die sich nicht signifikant unterschieden ($p = 0,223$). Nach 4 Stunden unterschieden sich die Tiere von Betrieb 3 signifikant von den Schlachttieren aus den Betrieben 1 und 2, die in sich eine Gruppe bildeten, 12 h p.m. unterschieden sich nur noch die Tiere mit Herkunft aus Betrieb 3 von denen aus Betrieb 2 signifikant ($p = 0,022$). Beim Vergleich der Tiergruppen die post mortem einer Stimulierung unterzogen wurden, zeigte sich höchste Signifikanz der Untergruppen

30 min p.m. bestehend aus den Betrieben 1, 3 und 4-150 und den Tieren aus Betrieb 2 ($p = 0,000$). Signifikante Unterschiede fanden sich auch nach 4 bzw. 12 h p.m. ($p = 0,012$, bzw. $0,027$). Nach 4 h bildeten hierbei Betrieb 1 und 2 eine Untergruppe, die den Ergebnissen der pH-Wert-Messungen der Tiere aus Betrieb 3 gegenüberstehen. 12 h nach der Schlachtung konnte eine Untergruppe bestehend aus den Tieren mit Herkunft aus Betrieb 3 und 4-150 nachgewiesen werden, die sich signifikant von den Schlachttieren aus Betrieb 1 unterschieden. Der mittlere pH_{18} wies keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Herkunft der Schlachttiere auf ($p = 0,104$).

Die mittleren pH-Werte der Schlachttiere ausgewertet nach dem Geschlecht der Schlachttiere waren ebenfalls normal verteilt. Die Überprüfung mittels T-Test erbrachte höchste Signifikanz der mittleren Muskel-pH-Werte bei weiblichen stimulierten und unstimulierten, ebenso wie in der männlichen Kohorte mit und ohne Elektrostimulation ($p = 0,000$). Im Gegensatz dazu konnte beim Vergleich der nicht stimulierten männlichen mit den weiblichen Schlachttieren auch wie bei der stimulierten männlichen und weiblichen Gruppe keinen Signifikanzen ermittelt werden ($p = 0,819 - 0,130$)

Werden die mittleren pH-Werte innerhalb der einzelnen Handelsklassen nach der Art der Schlachtung überprüft, so konnten bei Tieren der HK „E“ und „U“ höchst signifikante Unterschiede zwischen stimulierten und unstimulierten Tieren bis 12 h p.m. errechnet werden ($p = 0,000$). 18 h nach der Schlachtung konnten noch bei Tieren der HK „E“ signifikante ($p = 0,040$), bei Tieren der HK „U“ keine signifikanten Differenzen mehr festgestellt werden ($p = 0,244$). Stimulierte Schlachttiere der beiden ausgewerteten Handelsklassen zeigten zu keinem Zeitpunkt im M. long. dorsi signifikante Unterschiede in ihren mittleren pH-Werten ($p > 0,080$), unstimuliert wurden 30 min p.m. sehr signifikante ($p = 0,001$), 4 h p.m. signifikante ($p = 0,007$) und 12 Stunden nach der Schlachtung keine signifikanten Differenzen mehr ermittelt ($p = 0,384$).

4.1.2.1.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

Es bestand in den Werten aller Tiere aufgeschlüsselt nach den eingesetzten Mitarbeitern des Schlachtbetriebes Normalverteilung. Beim Vergleich der stimulierten mit

den nicht stimulierten Schlachttieren, die an Arbeitstagen von MA 2 geschlachtet wurden konnten zu allen Untersuchungszeitpunkten höchst signifikante ($p = 0,000$), werden. Bei den Tieren, die an Arbeitstagen von MA 5 geschlachtet wurden, fanden sich ebenfalls höchst signifikante Unterschiede bei Schlachttagen mit und ohne Stimulierung ($p = 0,000$). Die Überprüfung der Zusammenhänge der verschiedenen pH-Werte bei unstimulierten Schlachtschweinen in Bezug auf das Stallpersonal ergab zu allen Untersuchungszeitpunkten höchst signifikante ($p = 0,001 - 0,000$) Unterschiede. Hierbei bildeten die Tiere der MA 1 und 5 30 min p.m. eine Untergruppe, die den Werten der Schlachttiere betreut von MA 2 und 3 gegenüber standen. 4 h nach der Schlachtung bildeten sich 2 Untergruppen, bestehend aus den Tieren von MA 1 und denen von MA 2, 3 und 5. Nach 12 h konnten 3 Untergruppen nachgewiesen werden (Tiere betreut von MA 1, MA 3 und 5, MA 2). Bei den stimulierten Tieren fanden sich sowohl zwischen verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, als auch bei den Tieren durch die an diesen Tagen tätigen Mitarbeitern keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,168 - 0,535$).

Bei geringem Wassereinsatz konnte 30 min und 4 h nach der Schlachtung und bei höherem Wasserverbrauch nur 0,5 h p.m. Normalverteilung der Werte ermittelt werden. Die Überprüfung des Unterschiedes der pH-Werte stimulierter Schlachttiere nach 30 min (T-Test) und der Werte nach 4 bzw. 12 h (Mann-Whitney-Test) ergab zu allen 3 Untersuchungszeitpunkten höchst signifikante Unterschiede in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch ($p = 0,000$). Im Vergleich der Signifikanzen bei hohem Wassereinsatz zwischen der stimulierten und der nicht stimulierten Probandengruppe zeigten sich ebenfalls höchst signifikante Unterschiede ($p = 0,000$).

Bei Schlachttierkörpern ohne Stimulierung konnten zwischen den pH-Werten im M. long. dorsi 30 min p.m. mittlere Beziehungen zum pH₄ M. long. dorsi ($r = 0,62$), pH_{0,5} im M. semimembranosus ($r = 0,60$), LF₄ ($r = -0,58$), LF₁₈ ($r = -0,50$), die höchste Signifikanz aufwiesen, errechnet werden. Die Werte des M. long. dorsi erbrachten 4 Stunden nach der Schlachtung mittlere Beziehungen von $r = 0,64$ zum pH₁₂, $r = 0,55$ zum pH₁₈, $r = 0,54$ zum pH₄ im M. semimembranosus und $r = 0,52$ ebenfalls zu den Werten im M. semimembranosus. Auch hier zeigten die Beziehungen höchste Signifikanz. Die Beziehung der pH-Werte des M. long. dorsi zeigten 12 Stunden p.m. enge Korrelation zu den pH-Werten im gleichen Muskel 18 h p.m. ($r = 0,72$). Mittlere Be-

ziehungen konnten zu den mittleren pH_{12} und pH_{18} des M. semimembranosus ($r = 0,59$, bzw. $r = 0,63$) errechnet werden. Eine sehr lockere Beziehung konnte zwischen dem pH_{12} des M. long. dorsi und der elektrischen Leitfähigkeit 18 h post mortem ($r = -0,24$) ermittelt werden. Der pH_{18} im M. long. dorsi konnte mittlere Beziehungen zum pH_{12} und pH_{18} des m. semimembranosus ($r = 0,56$ und $r = 0,61$) und eine lose Beziehung zum pH_4 des M. semimembranosus erbringen (Anhang: Tab. 44).

Bei Schlachttierkörpern mit Stimulierung (Anhang: Tab. 46) zeigten sich mittlere Beziehungen des $\text{pH}_{0,5}$ im M. long. dorsi zum pH_4 ($r = 0,50$), zum $\text{pH}_{0,5}$ des M. semimembranosus ($r = 0,68$), zur elektrischen Leitfähigkeit 30 Minuten p.m. ($r = -0,54$), 4 Stunden p.m. ($r = -0,67$), zur Leitfähigkeit nach 18 Stunden ($r = -0,56$) und zum Reflexionswert ($r = -0,51$). Ebenfalls mittlere Beziehungen konnten zwischen dem mittleren pH_4 im M. long. dorsi zum pH_{12} des gleichen Muskels festgestellt werden ($r = 0,69$). Die Korrelation mit dem pH_4 im M. semimembranosus und der LF_4 zeigten ebenfalls mittlere Werte ($r = 0,55$ und $r = -0,52$). Die Beziehungen des pH_4 zeigten zum $\text{pH}_{0,5}$ im M. semimembranosus $r = 0,41$ und der LF_{18} $r = -0,45$, jedoch alle von höchster Signifikanz. Bei den mittleren pH-Werten 12 Stunden post mortem konnte eine enge Beziehung zum pH_{18} des MLD ($r = 0,76$) ermittelt werden. Mittlere Korrelation konnten hier zum pH_4 , pH_{12} und pH_{18} des M. semimembranosus ($r = 0,48$, $r = 0,56$ und $r = 0,42$) errechnet werden. Nur lockere Beziehung wiesen der pH_{12} des M. long. dorsi mit den Leitfähigkeitswerten 12, bzw. 18 Stunden nach der Schlachtung auf. Die Werte des pH_{18} erbrachten ebenfalls mittlere Korrelation zum pH_{12} und pH_{18} des M. semimembranosus ($r = 0,55$, bzw. $r = 0,56$). Eine eher lose Beziehung bestand zum pH_4 des M. semimembranosus. Auch hier zeigte sich bei allen Beziehungen höchste Signifikanz. Die pH-Werte des M. long. dorsi konnten keine Korrelation zu den Q-Werten aufzeigen, weder mit noch ohne Stimulierung.

Die pH-Werte der Muskulatur konnten keine eindeutige Beziehung zu den erfassten Parametern des Schlachtbetriebes und der Schlachttiere erbringen. Nur zum Wasserverbrauch konnte mit Stimulierung eine eher lockere Korrelation ($r = 0,27$) mit höchster Signifikanz errechnet werden (Anhang: Tab.49 und 50).

4.1.2.2 M. semimembranosus

4.1.2.2.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Die Überprüfung der mittleren Muskel-pH-Werte der Schlachttiere in Abhängigkeit von den Herkunftsbetrieben ausgewertet nach der Stimulierung (mit und ohne Stimulierung) ergab höchst signifikante Unterschiede bei Tieren aus Betrieb 1, Betrieb 2 und Betrieb 4-150 30 min nach der Schlachtung ($p = 0,000$). Ebenso waren die Differenzen zwischen den pH-Werten der stimulierten und der nicht stimulierten Schlachttiere aus den Betrieben 2 und 4-150 nach 4 bzw. 12 h p.m. höchst signifikant ($p = 0,000$). Sehr signifikante Unterschiede konnten bei Schlachttieren aus Betrieb 3 bis 30 min p.m. ($p = 0,003$) nachgewiesen werden. Tiere aus Betrieb 1 weisen 4 h p.m. signifikante Unterschiede im mittleren pH-Wert auf ($p = 0,039$). Keine Signifikanzen der pH-Werte im M. semimembranosus konnten 12 h p.m. bei den Tieren aus Betrieb 3 ($p = 0,877$) und 4-150 ($p = 0,138$) ermittelt werden. Die Signifikanzen von Tiere aus Betrieb 1 und 2 konnten 18 h nach der Schlachtung wegen fehlender Daten über stimulierte Tiere nicht errechnet werden.

An Schlachttagen mit Stimulierung konnte 30 min nach der Schlachtung signifikante ($p = 0,048$), 4 h p.m. keine ($p = 0,281$), 12 h p.m. höchste ($p = 0,000$) und 18 h p.m. sehr signifikante ($p = 0,008$) Unterschiede im mittleren pH-Wert der Schlachttiere in Abhängigkeit von den Herkunftsbetrieben nachgewiesen werden. Hierbei konnten 0,5 Stunden post mortem 2 Untergruppen, bestehend aus Tieren der Betriebe 1, 3, 4-150 und Betrieb 2, ermittelt werden. 4 und 12 Stunden nach der Schlachtung hatten sich 2 Untergruppen gebildet (Betrieb 2, 3, 4-150 und Betrieb 1).

Ohne Stimulierung bildeten die Tiere aller Herkunftsbetriebe eine homogene Gruppe in der sich die Schlachttierkörper in ihren Anfangswerten (30 min p.m.) nicht signifikant unterschieden ($p = 0,538$). Höchst signifikante Unterschiede fanden sich jedoch bei den mittleren Werten der Tieren im weiteren Verlauf der frühpostmortalen Phase der Fleischreifung ($p = 0,001$ 4 h. p.m., $p = 0,000$ 12 h p.m.), wobei jeweils 2 Gruppen bestehend aus Tieren mit Herkunft aus den Herkunftsbetrieben 4-150 und Betrieb 2 (4 h p.m.) und den Schlachttieren aus den Zulieferbetrieben 3, 4-150 und 2

gebildet wurden. Zum letzten Messzeitpunkt (18 h p.m.) konnten wiederum keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden ($p = 0,397$).

Die Überprüfung mittels T-Test ergab sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Schlachttieren höchst signifikante Unterschiede zwischen der unstimulierten und der stimulierten Gruppe ($p = 0,000$) 30 min und 4 h p.m.. 12 Stunden nach der Schlachtung konnte bei der weiblichen Schlachttiergruppe sehr signifikante ($p = 0,004$), bei der männlichen Gruppe höchst signifikante Unterschiede ($p = 0,000$) nachgewiesen werden. Beim Vergleich von männlichen und weiblichen stimulierten, bzw. männlichen und weiblichen unstimulierten Tieren konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden ($p > 0,543$).

Der Vergleich innerhalb der einzelnen Handelsklassen zwischen stimulierten und nicht stimulierten Tieren der HK „E“ und „U“ erbrachte im Zeitraum bis 12 h p.m. höchste Signifikanz ($p = 0,000$). Bis 18 Stunden nach der Schlachtung unterschieden sich die Mittelwerte dagegen nicht mehr signifikant (HK „E“: $p = 0,930$, HK „U“: ($p = 0,333$). Für die Tiere der HK „R“ konnte auf Grund der geringen Anzahl von Probanden keine Signifikanz ermittelt werden. Ebenfalls wurden die pH-Werte der Tiere der HK „E“ und „U“ mit Stimulierung miteinander verglichen, wobei 30 min ($p = 0,477$), 4 ($p = 0,315$) und 18 h p.m. ($p = 0,168$) keine signifikanten Unterschiede, 12 h p.m. ($p = 0,001$) dagegen höchst signifikante Unterschiede zwischen den beiden Handelsklassen errechnet wurden. In der nicht stimulierten Gruppe wurden die Unterschiede in den mittleren pH-Werten bei den genannten Handelsklassen 30 min p.m. als sehr, 4 h p.m. als höchst signifikant ($p = 0,001$), 12 h p.m. als signifikant ($p = 0,034$) und 18 Stunden nach der Schlachtung lediglich als signifikant ermittelt ($p = 0,533$).

4.1.2.2.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

Der Unterschied in den mittleren pH-Werten, die im M. semimembranosus der Schlachttiere ermittelt wurden, wies bei Tieren an Einsatztagen von MA 2 und MA 5 (im Vergleich der stimulierten zu der unstimulierten Tiergruppe) zu allen Untersuchungszeiten höchste Signifikanz auf ($p = 0,000$). An Schlachttagen ohne Stimulie-

rung konnten höchst signifikante Unterschiede zwischen den Schlachttieren an den verschiedenen Arbeitstagen des Stallpersonals zu den Messzeitpunkten 30 min, 12 h und 18 h ermittelt werden ($p = 0,000$). 4 h p.m. fanden sich lediglich signifikant unterschiedliche Muskel-pH-Werte ($p = 0,030$). Im Folgenden sollen wieder nur die oben genannten, sich signifikant unterscheidenden Ergebnisse der Tiere der einzelnen MA genannt werden. 30 min p.m. konnte eine Untergruppenbildung (MA 1 und 5; MA 2 und 3), 4 h p.m. ein signifikanter Unterschied zwischen MA 1 und MA 3 nachgewiesen werden. Eine Aufteilung in 3 Untergruppen fand sich im Zeitraum bis 12 h nach der Schlachtung (Tiere der MA 1, MA 3 und 5, MA 2). An Schlachttagen mit Einsatz der Elektrostimulierung bildeten die mittleren pH-Werte aller geschlachteten Tiere (ohne Unterschied in Abhängigkeit vom tätigen Mitarbeiter) im Zeitraum bis 4 h p.m. einheitliche Gruppen ohne signifikante Unterschiede ($p = 0,322$ und $p = 0,110$). Lediglich 12 h p.m. konnte eine Bildung von 2 Untergruppen ermittelt werden, wobei sich die Schlachttiere betreut von MA 4 signifikant von denen des MA 2 unterscheiden ($p = 0,026$).

Die pH-Mittelwerte in Abhängigkeit zum unterschiedlichen Wasserverbrauch waren 30 Minuten und 4 Stunden nach der Schlachtung normal verteilt. 12 Stunden post mortem fand sich keine Normalverteilung. Dementsprechend konnte zu den ersten 2 Untersuchungszeitpunkten unter Zuhilfenahme des T-Testes, 12 h p.m. mittels des Mann-Whitney-Testes jedoch in jedem Falle höchste Signifikanz der pH-Wert-Unterschiede ($p = 0,000$) in Abhängigkeit zur verwendeten Menge an Brauchwasser ermittelt werden (nur möglich an Schlachttagen mit Stimulierung). Beim Vergleich von stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren, unter Verwendung von viel Wasser zur Befeuchtung der Schlachttiere vor dem Eintrieb in den Restrainer, zeigte sich ebenfalls zu allen Untersuchungszeitpunkten höchste Signifikanz ($p = 0,000$).

Die Korrelation des $pH_{0,5}$ in der Muskulatur des M. semimembranosus bei nicht stimulierten Schlachttierkörpern erbrachte mittlere Beziehungen zum pH_4 desselben Muskels mit $r = 0,62$ und zur Leitfähigkeit nach 4 ($r = -0,47$) und 12 Stunden ($r = -0,44$). Zur elektrischen Leitfähigkeit 30 Minuten und 18 Stunden post mortem konnten lockere Beziehungen nachgewiesen werden ($r = -0,36$, bzw. $r = -0,37$). Die Korrelation zwischen dem pH_4 im M. semimembranosus und dem pH_{12} bzw. dem pH_{18} des selben Muskels betrug 0,58 bzw. 0,46. Eine relativ enge Beziehung konnte zum pH_{18}

des M. semimembranosus ($r = 0,70$) hergestellt werden. Alle Werte zeigten sich höchst signifikant.

An Schlachttagen mit Stimulierung zeigten sich mittlere Korrelationen zum pH_4 im M. semimembranosus ($r = 0,66$), der Leitfähigkeit nach 30 min p.m. ($r = -0,51$), ebenso wie zur elektrischen Leitfähigkeit 12 bzw. 18 Stunden nach der Schlachtung ($r = -0,48$, bzw. $r = -0,47$). Zum Zeitpunkt von 4 Stunden nach der Schlachtung konnten die Beziehungen zu den pH_{12} - ($r = 0,61$) und pH_{18} -Werten ($r = 0,50$) ermittelt werden. Zwischen dem pH_4 und den Werten der elektrischen Leitfähigkeit 4 bzw. 12 Stunden post mortem konnten Korrelationen von $r = 0,46$ errechnet werden. Eine lose Beziehung bestand zu den Werten der Leitfähigkeit 18 h post mortem ($r = -0,37$) und den Reflexionswerten ($r = -0,37$). Die Beziehung des pH_{12} des M. semimembranosus mit dem pH_{18} des selben Muskels konnte mit $r = 0,84$ nachgewiesen werden. Auch hier zeigten die genannten Beziehungen höchste Signifikanz. Keine deutlichen Zusammenhänge wurden zwischen den pH-Werten 18 h post mortem und den anderen gemessenen Parametern gefunden. Ebenso wenig konnten Beziehungen zu den Q-Werten hergestellt werden.

Zu den erfassten Parametern der Schlachttiere und des Schlachtbetriebes konnte nur zwischen dem $\text{pH}_{0,5}$ des M. semimembranosus und dem Wasserverbrauch ($r = 0,25$) eine lockere Beziehung an Schlachttagen mit Stimulierung hergestellt werden, die sich als höchst signifikant darstellte.

4.2 Elektrische Leitfähigkeit

4.2.1 Auswertung der Messungen der elektrischen Leitfähigkeit

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit im M. long. dorsi wurden gemäß der Beschreibung in Kapitel 3.3.2.2 durchgeführt. In der folgenden Übersichtstabelle (Tab. 25) wurden die Einflüsse des Schlachtbetriebes und die individuellen Einflüsse der Schlachttiere nicht mit einbezogen. Die mittleren Leitfähigkeitswerte (LF-Werte) der unstimulierten Tiere betragen $LF_{0,5} = 3,25$, $LF_4 = 3,90$, $LF_{12} = 4,02$ und $LF_{18} = 3,65$ mS/cm. Die höchsten LF-Werte bei den nicht stimulierten Tieren betragen 10,35 (30 min p.m.), 10,95 (4 h p.m.), 10,50 (12 h p.m.) und 9,10 mS/cm (18 h p.m.). Die Minima lagen bei 2,40, 2,20, 2,10 und 2,15 mS/cm, jeweils zu den genannten Untersuchungszeitpunkten. Der mittlere LF-Wert stieg im Verlauf der Fleischreifung um 0,65 mS/cm zwischen den ersten beiden Messungen, danach um 0,12 mS/cm zwischen der zweiten und dritten Messung, um danach wieder um 0,37 mS/cm bis 18 h p.m. abzufallen (Anhang: Abb. 48 und Abb. 49).

Bei den stimulierten Schlachttieren lagen die Mittelwerte bei $LF_{0,5} = 3,92$, $LF_4 = 5,73$, $LF_{12} = 5,76$ und $LF_{18} = 4,70$ mS/cm. Hier fanden sich Maxima bei 13,40 (30 min p.m.), 11,95 (4 h p.m.), 10,40 (12 h p.m.) und 9,15 mS/cm (18 h p.m.). Die niedrigsten pH-Werte im M. long. dorsi betragen 2,45, 2,50, 2,45 und 2,10 mS/cm.

Stimulierung			Mittelwert	Median	Min.	Max.
	nicht stimuliert	LF _{0,5}	3,25	3,10	2,40	10,35
		LF ₄	3,90	3,50	2,20	10,95
		LF ₁₂	4,02	3,65	2,10	10,50
		LF ₁₈	3,65	3,20	2,15	9,10
	stimuliert	LF _{0,5}	3,92	3,60	2,45	13,40
		LF ₄	5,73	5,20	2,50	11,95
		LF ₁₂	5,76	5,70	2,45	10,40
		LF ₁₈	4,70	4,15	2,10	9,15

Tabelle 25: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

In den folgenden Graphiken (Abb. 21 und 22) werden die LF-Werte von stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren zu den verschiedenen Messzeitpunkten einan-

der gegenübergestellt. 30 Minuten post mortem lag der mittlere LF-Wert aller stimulierten Tiere bei 3,25 gegenüber 3,92 mS/cm bei unstimulierten Tieren. Somit ergab sich eine Differenz von 0,67 Einheiten.

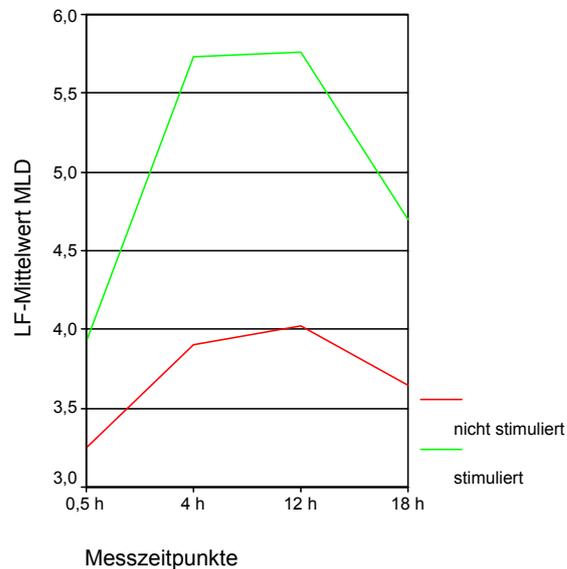


Abbildung 21: LF-Mittelwerte *M. long. dorsi*, stimuliert/nicht stimuliert

Im Verlauf der Fleischreifung wurde die Differenz der mittleren pH-Werte des *M. long. dorsi* von stimulierten und unstimulierten Schlachtkörpern größer, so dass 4 h p.m. ein Unterschied von 1,83 und 12 h p.m. von 1,74 mS/cm vorlag. 18 h p.m. verringerte sich diese Differenz wieder auf 1,05 mS/cm, wobei der niedrigere Wert immer ohne Elektrostimulation gemessen wurde (Abb. 22).

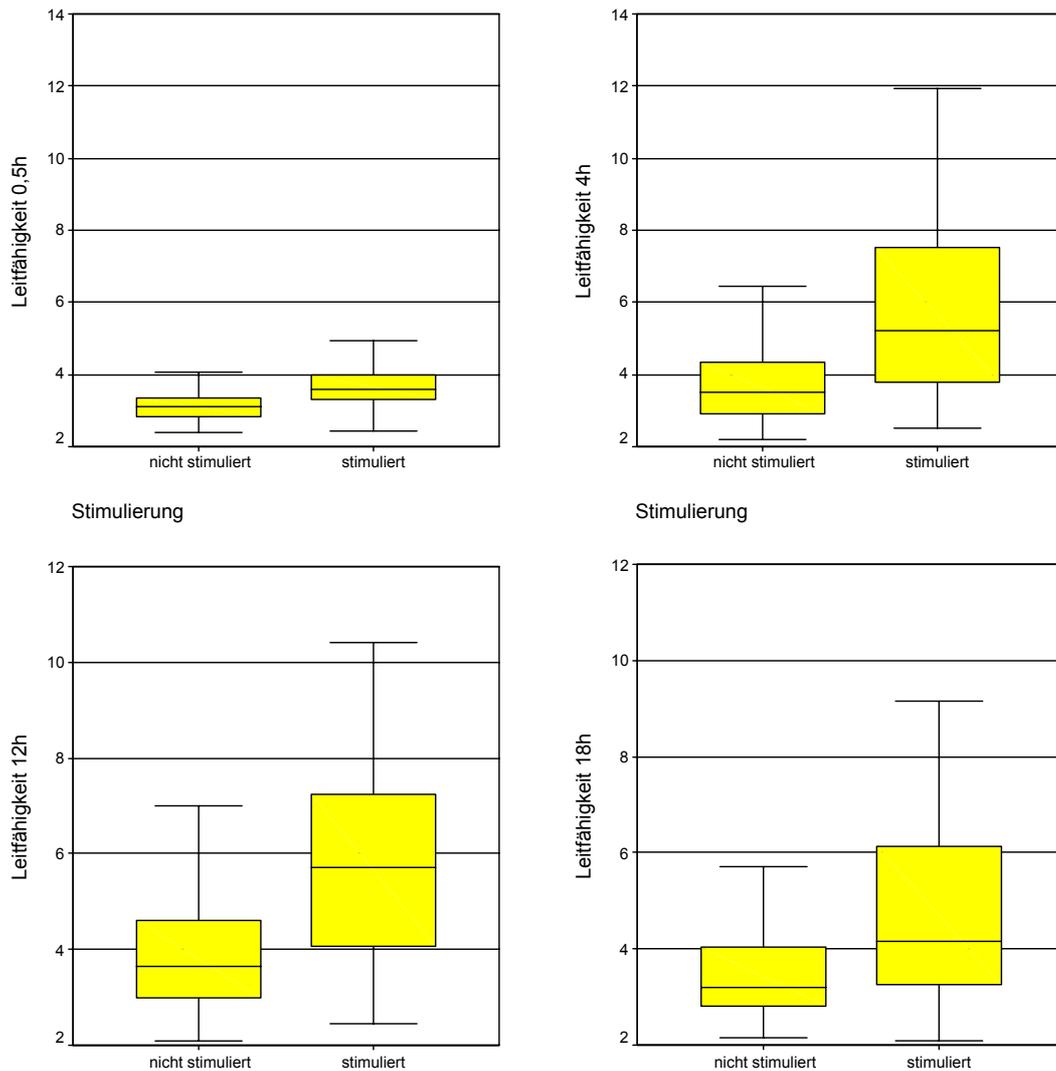


Abbildung 22: Elektrische Leitfähigkeit *M. long. dorsi*, in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt, stimuliert/nicht stimuliert

4.2.1.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit der nicht stimulierten Schlachttiere in Abhängigkeit des Herkunftsbetriebes erbrachten bei Betrieb 1 Mittelwerte bei $LF_{0,5} = 3,23$, $LF_4 = 3,88$, $LF_{12} = 3,79$ mS/cm (Tab. 26). Die *M. long. dorsi* der Schweine des Betriebes 2 wiesen LF-Werte von 3,20 (30 min p.m.), 4,22 (4 h p.m.) und 4,47 (12 h p.m.) mS/cm auf. Von Betrieb 1 und 2 konnten keine Daten nach 18 h erfasst werden. Betrieb 3 zeigte mittlere LF-Werte im *M. long. dorsi* zu den genannten Un-

tersuchungszeitpunkten von 3,38, 3,65, 3,82 und 3,84 mS/cm. Die LF-Mittelwerte der restlichen Betriebe (Betrieb 4-150) betragen 3,26, 3,86, 4,00 und 3,64 mS/cm.

Der LF-Wert im M. long. dorsi der nicht stimulierten Schlachtschweine stieg im Verlauf der Fleischreifung bei Betrieb 1 zu den genannten Messzeitpunkten um 0,65 mS/cm um danach leicht um 0,09 mS/cm abzusinken. Bei Betrieb 2 stieg der LF-Wert um 1,12 mS/cm und 0,25 mS/cm. Ebenfalls bei unstimulierten Schlachttieren zeigte sich bei Betrieb 3 ein Ansteigen des LF-Wertes um 0,27 mS/cm im Zeitraum von 30 min bis 4 h, danach ein weiteres Ansteigen 0,17 mS/cm im Zeitraum von 4 h bis 12 h. Im Zeitraum von 12 - 18 h stieg der LF-Mittelwert bei Betrieb 3 um 0,02 Einheiten nochmals leicht an. Die LF-Werte der Tiere aus Betrieb 4-150 erhöhten sich zunächst um 0,60 mS/cm, im weiteren Verlauf der Fleischreifung um 0,14 und sanken bis 18 h p.m. um 0,36 mS/cm ab.

Bei den stimulierten Tieren aus Betrieb 1 wurden mittlere LF-Werte von 3,93, 5,94, und 6,43 mS/cm nach 30 min, 4 h und 12 h p.m. gemessen. Auch hier konnten keine stimulierten Tiere 18 h p.m. erfasst werden. Die Schlachtschweine aus Betrieb 2 zeigten mittlere pH-Werte von 3,47, 3,77, 4,89, und 4,01 mS/cm, die Mittelwerte der Schlachttiere aus Betrieb 3 betragen 3,76, 5,65, 5,92 und 5,13 mS/cm. Bei Betrieb 4-150 wurden Mittelwerte von 3,97 mS/cm (30 min p.m.), 5,94 mS/cm (4 h p.m.), 5,83 mS/cm (12 h p.m.) und 4,86 (18 h p.m.) ermittelt. Somit zeigten sich hier Erhöhungen der mittleren Leitfähigkeitswerte um 2,01 und 0,49 mS/cm bei Betrieb 1, bei Schlachttieren aus Betrieb 2 0,30 und 0,12 mS/cm bis 12 h. p.m., danach ein Abfall des mittleren Leitfähigkeitswertes um 0,88 mS/cm bis 18 h nach der Schlachtung. Bei Schlachttierkörpern aus Betrieb 3 konnten Erhöhungen der mittleren LF-Werte von 1,89 und 0,27 mS/cm, und danach im Zeitraum von 12 bis 18 Stunden nach der Schlachtung ein Abfall von 0,79 mS/cm ermittelt werden. Die Messergebnisse der stimulierten Schlachttiere aus den Betrieben 4-150 stiegen um 1,97 mS/cm, fielen bis 12 h p.m. um 0,09 mS/cm um dann wieder bis 18 h nach der Schlachtung um 0,03 mS/cm anzusteigen.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Min.	Max.	Median	Mittelwert	Min.	Max.	Median
Be- trieb	B 1	LF _{0,5}	3,23	2,55	4,70	3,15	3,93	2,85	5,60	3,80
		LF ₄	3,88	2,55	9,75	3,45	5,94	3,30	7,70	6,45
		LF ₁₂	3,79	2,70	8,10	3,33	6,43	3,15	8,75	6,38
		LF ₁₈	.	.	.	.	.	.	.	.
	B 2	LF _{0,5}	3,20	2,55	4,10	3,10	3,47	2,60	4,40	3,43
		LF ₄	4,22	2,65	6,90	3,95	3,77	2,50	6,00	3,40
		LF ₁₂	4,47	3,00	6,60	4,30	4,89	2,65	7,45	5,08
		LF ₁₈	.	.	.	.	4,01	2,40	7,80	3,60
	B 3	LF _{0,5}	3,38	2,95	3,85	3,38	3,76	2,80	6,70	3,65
		LF ₄	3,65	2,40	6,40	3,38	5,65	2,85	10,00	5,30
		LF ₁₂	3,82	2,70	5,30	3,68	5,92	3,55	9,20	5,55
		LF ₁₈	3,84	2,35	6,35	3,70	5,13	2,40	8,70	5,10
	B 4-150	LF _{0,5}	3,26	2,40	10,35	3,10	3,97	2,45	13,40	3,60
		LF ₄	3,86	2,20	10,95	3,40	5,94	2,70	11,95	5,60
		LF ₁₂	4,00	2,10	10,50	3,60	5,83	2,45	10,40	5,93
		LF ₁₈	3,64	2,15	9,10	3,15	4,86	2,10	9,15	4,55

Tabelle 26: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Eine Übersicht gibt Abbildung 23. Bei den nicht stimulierten Schlachttierkörpern zeigte solche aus Betrieb 3 den höchsten mittleren pH-Wert im M. long. dorsi (LF_{0,5} = 3,38 mS/cm) gefolgt von Betrieb 4-150 (LF_{0,5} = 3,26 mS/cm) und Betrieb 1 und 2 (pH_{0,5} = 3,23 und pH_{0,5} = 3,20 mS/cm). Nach 4 h zeigten die Tiere aus Betrieb 2 den höchsten Wert von 4,22 mS/cm, gefolgt von den Schlachttieren aus Betrieb 1 (LF₄ = 3,88 mS/cm), aus Betrieb 4-150 (pH₄ = 3,86 mS/cm) und aus Betrieb 3 (LF₄ = 3,65 mS/cm). Nach weiteren 8 h (12 h p.m.) konnte wiederum bei den Schweinen aus Betrieb 2 der höchste mittlere LF-Wert im M. long. dorsi mit LF₁₂ = 4,47 mS/cm ermittelt werden. Betrieb 4-150, 3 und Betrieb 1 schließen sich mit pH-Werten von 4,00, 3,82 und 3,79 mS/cm an. Den höchsten End-LF-Wert 18 h nach der Schlachtung wiesen Schlachttiere aus Betrieb 3 mit einer Differenz von 0,20 mS/cm Einheiten gegenüber Betrieb 4-150 auf. Die Spanne des LF-Wert-Abfalles bei den nicht stimulierten Schlachttieren zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt betrug bei Betrieb 1 im Mittel 0,56 mS/cm, bei Betrieb 2 1,27 mS/cm (jeweils im Zeitraum bis zu 12 h p.m.), bei der Gruppe der Tiere aus Betrieb 3 0,46 mS/cm und den restlichen Betrieben 3,38 mS/cm (jeweils im Zeitraum bis zu 18 h p.m.).

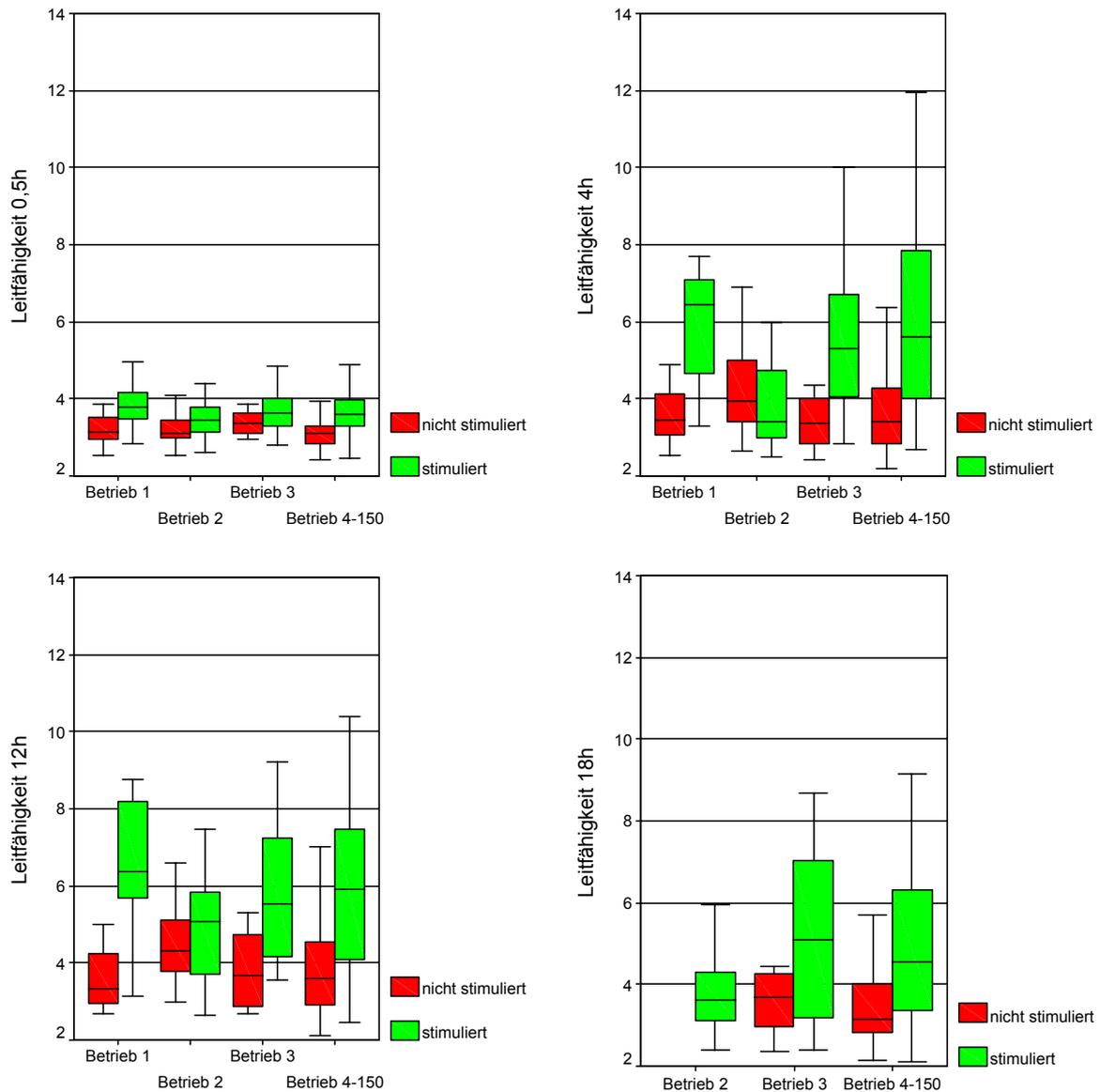


Abbildung 23: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Bei den stimulierten Schlachttieren konnte in der Gruppe aus Betrieb 4-150 der höchste Mittelwert ($LF_{0,5} = 3,97$ mS/cm) gefolgt von Betrieb 1 ($LF_{0,5} = 3,93$ mS/cm) und Betrieb 3 ($LF_{0,5} = 3,76$ mS/cm) und bei den Schlachttieren aus Betrieb 2 ($LF_{0,5} = 3,47$ mS/cm) errechnet werden. 4 h nach der Schlachtung wiesen Tiere aus den Betrieben 1 und 4-150 mit $LF_4 = 5,94$ mS/cm den höchsten Mittelwert auf. Es schlossen sich die Werte der Schlachttiere aus den Betrieben 2 und 3 mit Werten von 3,77 und 5,65 mS/cm an. 12 h p.m. wies die Gruppe der stimulierten Schlachttiere von Betrieb 1 ($LF_{12} = 6,43$ mS/cm) den höchsten mittleren Leitfähigkeitswert auf, gefolgt von Betrieb 3 ($LF_{12} = 5,92$ mS/cm), den Betrieben 4-150 ($LF_{12} = 5,83$ mS/cm) und Betrieb 2 ($LF_{12} = 4,89$ mS/cm). 18 h p.m. konnten noch Unterschiede bei den

stimulierten Tieren im M. long. dorsi von 0,27 mS/cm (zwischen Betrieb 3 und 4-150) und 0,85 (zwischen Betrieb 4-150 und 2) ermittelt werden. Die Spanne des pH-Wert-Abfalles bei den stimulierten Schlachttieren zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt betrug bei Betrieb 1 2,50 mS/cm, bei Betrieb 3 1,37 mS/cm, bei Betrieb 4-150 0,89 mS/cm und bei Betrieb 2 0,54 mS/cm. Die graphische Darstellung (Abb. 23) verdeutlicht im Vergleich der einzelnen Betriebe zu den Modalitäten der Schlachtung, also stimuliert und nicht stimuliert, die beschriebenen Unterschiede im frühpostmortalen Verlauf der Leitfähigkeits-Werte.

Geringe Unterschiede fanden sich in Abhängigkeit vom Geschlecht der Schlachttiere bei der ersten Messung der nicht stimulierten Gruppe (3,32 mS/cm bei männlichen, 3,30 mS/cm bei weiblichen Schlachtschweinen). Die Minima lagen bei 2,40 und 2,55 mS/cm, die Maxima wiesen den größten Unterschied von 1,30 mS/cm 12 h p.m. auf. Das Geschlecht der Probanden wurde an den Untersuchungstagen 10 - 16 erfasst, deshalb konnte hier keine Unterscheidung zum Untersuchungszeitpunkt nach 18 h stattfinden. In der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere in Abhängigkeit zum Geschlecht konnten mittlere Leitfähigkeitswerte bei den männlichen Tieren von 3,32 mS/cm ($LF_{0,5}$), 4,02 mS/cm (LF_4) und 4,19 mS/cm (LF_{12}) ermittelt werden (Tab. 27). Die weiblichen unstimulierten Tiere zeigten mittlere Leitfähigkeitswerte im M. long. dorsi von 3,30 mS/cm ($LF_{0,5}$), 4,20 (LF_4) und 4,21 mS/cm (LF_{12}). Die mittleren LF-Werte stiegen bei den männlichen nicht stimulierten Schlachttieren um 0,7 und 0,17 mS/cm, bei den weiblichen Tieren um 0,90 und 0,01 mS/cm innerhalb der ersten 12 Stunden der frühpostmortalen Fleischreifung.

Die Muskulatur der männlichen Schlachttierkörper nach Elektrostimulation konnte mit einem Mittelwert von $LF_{0,5} = 3,96$, $LF_4 = 6,40$ und $LF_{12} = 6,15$ gemessen werden. In der weiblichen Kohorte wurden mittlere LF-Werte von 3,89 mS/cm ($LF_{0,5}$), 6,62 mS/cm (LF_4) und 6,42 mS/cm (LF_{12}) ermittelt. Die Leitfähigkeitsmittelwerte stiegen bei den männlichen Schlachttieren innerhalb 4 Stunden nach der Schlachtung um 2,44 mS/cm und sanken dann wieder bis 12 h p.m. um einen Wert von 0,25 mS/cm. Bei den Schlachttierkörpern der weiblichen Tiere wurde einen Anstieg des mittleren LF-Wertes in der Muskulatur von 2,73 mS/cm bis 4 h nach der Schlachtung errechnet, der dann wieder um 0,20 mS/cm sank.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittel- Wert	Me- dian	Min.	Max.	Mittel- wert	Me- dian	Min.	Max.
Ge- schlecht	männl.	LF _{0,5}	3,32	3,10	2,40	10,35	3,96	3,65	2,80	13,40
		LF ₄	4,02	3,63	2,20	10,95	6,40	6,08	2,70	11,95
		LF ₁₂	4,19	3,93	2,30	9,20	6,15	6,25	2,60	9,70
	weibl.	LF _{0,5}	3,30	3,10	2,55	10,30	3,89	3,55	2,80	12,35
		LF ₄	4,20	3,85	2,25	10,00	6,62	6,50	2,85	11,80
		LF ₁₂	4,21	3,80	2,30	10,50	6,42	6,65	2,45	10,40

Tabelle 27: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die männlichen, nicht stimulierten Schlachttiere zeigten gegenüber der stimulierten Gruppe einen um 0,64 (0,5 h), 2,38 (4 h) und 1,96 mS/cm (12 h) niedrigeren Leitfähigkeitswert. Bei den weiblichen Schlachttieren ohne Stimulierung konnte nach 30 min ein um 0,59 mS/cm (12 h) niedrigerer mittlerer Leitfähigkeitswert ermittelt werden. Nach 4 h wies der mittlere LF-Wert bei der Gruppe der weiblichen Schlachttiere einen um 2,42 mS/cm und nach 12 h einen um 2,21 mS/cm niedrigeren Wert auf (Abb. 24).

Bei den männlichen nicht stimulierten Schlachttieren konnte gegenüber der weiblichen Vergleichsgruppe ein um 0,02 mS/cm höheren mittleren Leitfähigkeitswert nach 0,5 h nachgewiesen werden. Nach 4 h p.m. wurde bei den männlichen Schlachttierkörpern ein um 0,18 mS/cm, 12 h nach der Schlachtung ein um 0,02 niedrigerer Wert als bei den weiblichen Schlachttierkörpern ohne Stimulierung errechnet. In der stimulierten Gruppe erbrachte die mittlere Leitfähigkeit der Muskulatur der männlichen Tiere einen um 0,05 mS/cm höheren Wert als die der weiblichen Schlachttiere. 4 h. p.m. zeigten die männlichen Tiere einen um 0,22 und 12 h post mortem einen um 0,27 mS/cm niedrigeren Wert als die weiblichen Tiere (Abb. 24)

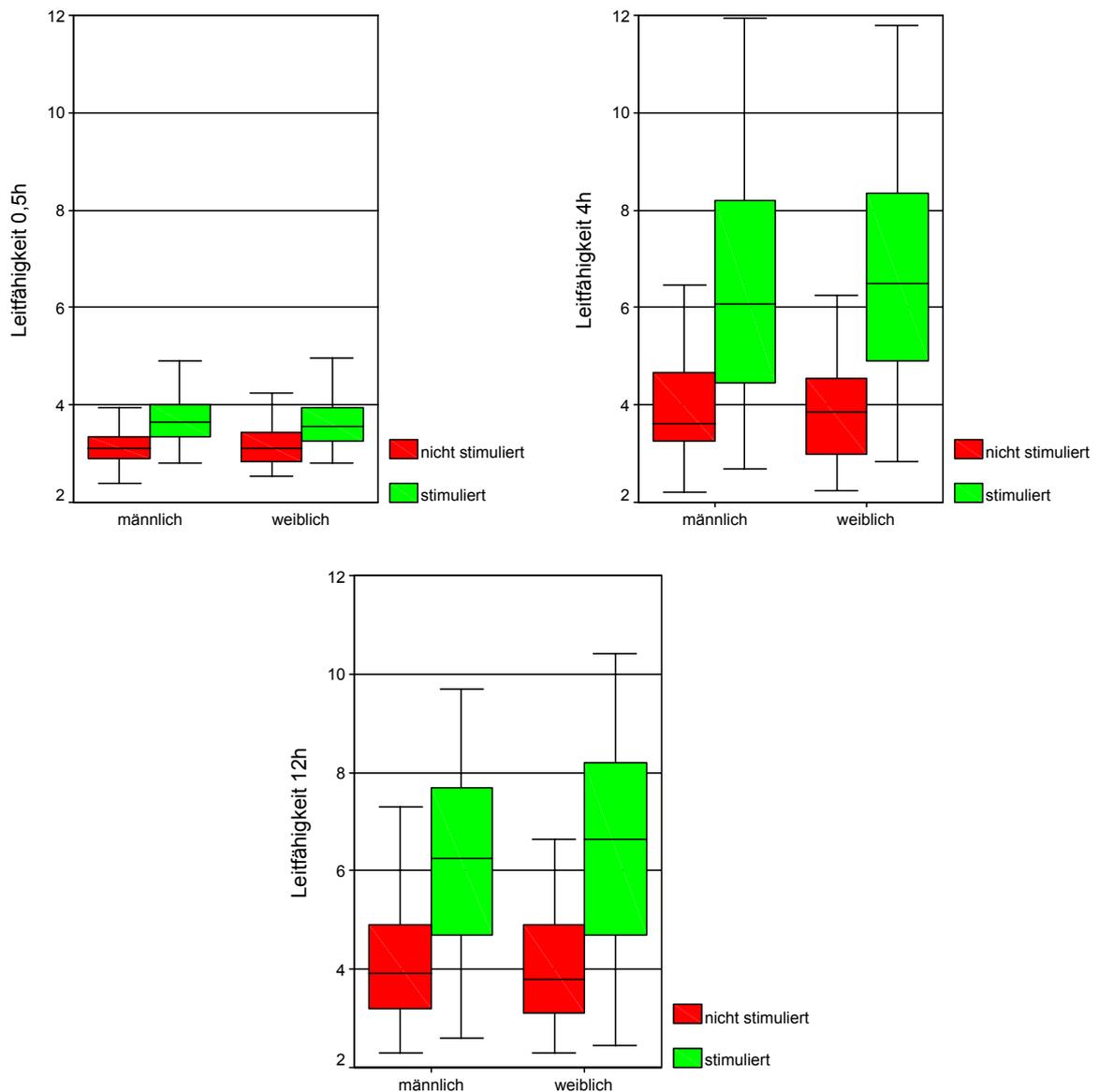


Abbildung 24: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Geschlecht

In der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere zeigten die mit „E“ klassifizierten Schweine Werte von $LF_{0,5} = 3,28$ mS/cm, $LF_4 = 3,99$ mS/cm, $LF_{12} = 4,09$ mS/cm und $LF_{18} = 3,67$ mS/cm. Bei den Schlachttierkörpern der HK „U“ konnten Mittelwerte von 2,98 mS/cm (30 min p.m.), 3,11 mS/cm (4 h p.m.), 3,46 mS/cm (12 h p.m.) und 3,56 mS/cm nach 18 Stunden ermittelt werden. Die Schlachttiere, die von den Mitarbeitern des Fleischprüfrings Bayern e.V. mit HK „R“ klassifiziert wurden, zeigten mittlere Leitfähigkeitswerte von 3,22 mS/cm, 3,85 mS/cm, 4,38 mS/cm und 2,65 mS/cm jeweils zu den genannten Untersuchungszeitpunkten. Innerhalb der nicht stimulierten Kohorte erbrachten die Tiere der HK „E“ einen Anstieg der mittleren LF-Werte um

0,71 mS/cm innerhalb des Zeitraumes von 30 min bis 4 h, danach einen Anstieg um 0,10 mS/cm bis 12 h p.m., um dann bis 18 h p.m. um 0,42 mS/cm abzufallen. Bei der mit „U“ klassifizierten Gruppe konnte ein durchgehender Anstieg der Leitfähigkeit um 0,13, 0,35 und 0,10 mS/cm in den gleichen Zeiträumen errechnet werden. Bei den nicht stimulierten Schlachttieren der HK „R“ ergab sich ein Anstieg des mittleren LF-Wertes um 0,63 und 0,53 mS/cm, danach ein Abfallen um 1,73 mS/cm bis 18 h.

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
		Mittelwert	Min.	Max.	Median	Mittelwert	Min.	Max.	Median	
HK	E	LF _{0,5}	3,28	2,45	10,35	3,10	3,92	2,60	13,40	3,65
		LF ₄	3,99	2,20	10,95	3,60	5,78	2,50	11,95	5,30
		LF ₁₂	4,09	2,10	10,50	3,75	5,88	2,55	10,40	5,90
		LF ₁₈	3,67	2,15	9,10	3,28	4,68	2,40	9,15	4,15
	U	LF _{0,5}	2,98	2,40	3,95	2,90	3,95	2,65	9,90	3,60
		LF ₄	3,11	2,40	5,20	2,88	5,55	2,70	10,70	4,65
		LF ₁₂	3,46	2,25	6,40	3,15	5,34	2,45	9,50	5,05
		LF ₁₈	3,56	2,50	6,50	3,00	4,78	2,10	8,65	4,15
	R	LF _{0,5}	3,22	3,00	3,60	3,05	3,34	2,90	3,65	3,38
		LF ₄	3,85	2,70	5,00	3,85	5,24	3,15	7,75	5,45
		LF ₁₂	4,38	3,40	5,35	4,38	5,70	5,35	6,05	5,70
		LF ₁₈	2,65	2,65	2,65	2,65	.	.	.	.
	P	LF _{0,5}	.	.	.	.	3,35	3,35	3,35	3,35
		LF ₄	.	.	.	.	10,05	10,05	10,05	10,05
		LF ₁₂	.	.	.	.	8,95	8,95	8,95	8,95
		LF ₁₈	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 28: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Handelsklasse

In der Kohorte der mit „E“ klassifizierten Schlachttierkörpern mit Elektrostimulation zeigte sich im Verlauf der frühpostmortalen Fleischreifung eine Erhöhung der mittleren LF-Werten im M. long. dorsi von LF_{0,5} = 3,92 mS/cm auf LF₄ = 5,78 mS/cm und LF₁₂ = 5,88 mS/cm, danach ein Absinken auf LF_{0,18} = 4,68 mS/cm. Die stimulierten Tiere der HK „U“ erbrachten Mittelwerte von LF_{0,5} = 3,95 mS/cm, LF₄ = 5,55 mS/cm, LF₁₂ = 5,34 mS/cm und LF₁₈ = 4,78 mS/cm, während die Leitfähigkeitsmittelwerte der HK „R“ 3,34 mS/cm (30 min p.m.), 5,24 (4 h p.m.) und 5,70 mS/cm (12 h p.m.) betragen. Daraus ergab sich ein mittlerer Anstieg des LF-Wertes in den ersten Stunden post mortem bei Schlachttieren der HK „E“ um 1,86 mS/cm bis 4 h p.m. und 0,1 mS/cm bis 12 h p.m., danach ein Absinken um 1,2 mS/cm bis 18 h nach der Schlach-

tung. Die mittleren LF-Werte der stimulierten Tiere der HK „U“ stiegen um 1,6 mS/cm zwischen den beiden ersten Messzeitpunkten, sanken danach um 0,21 mS/cm und 0,56 mS/cm bis 18 Stunden post mortem. Die mit „R“ klassifizierten Schlachttiere erbrachten einen Anstieg zwischen den Untersuchungszeitpunkten von 1,90 mS/cm und 0,46 mS/cm bis 12 h p.m.

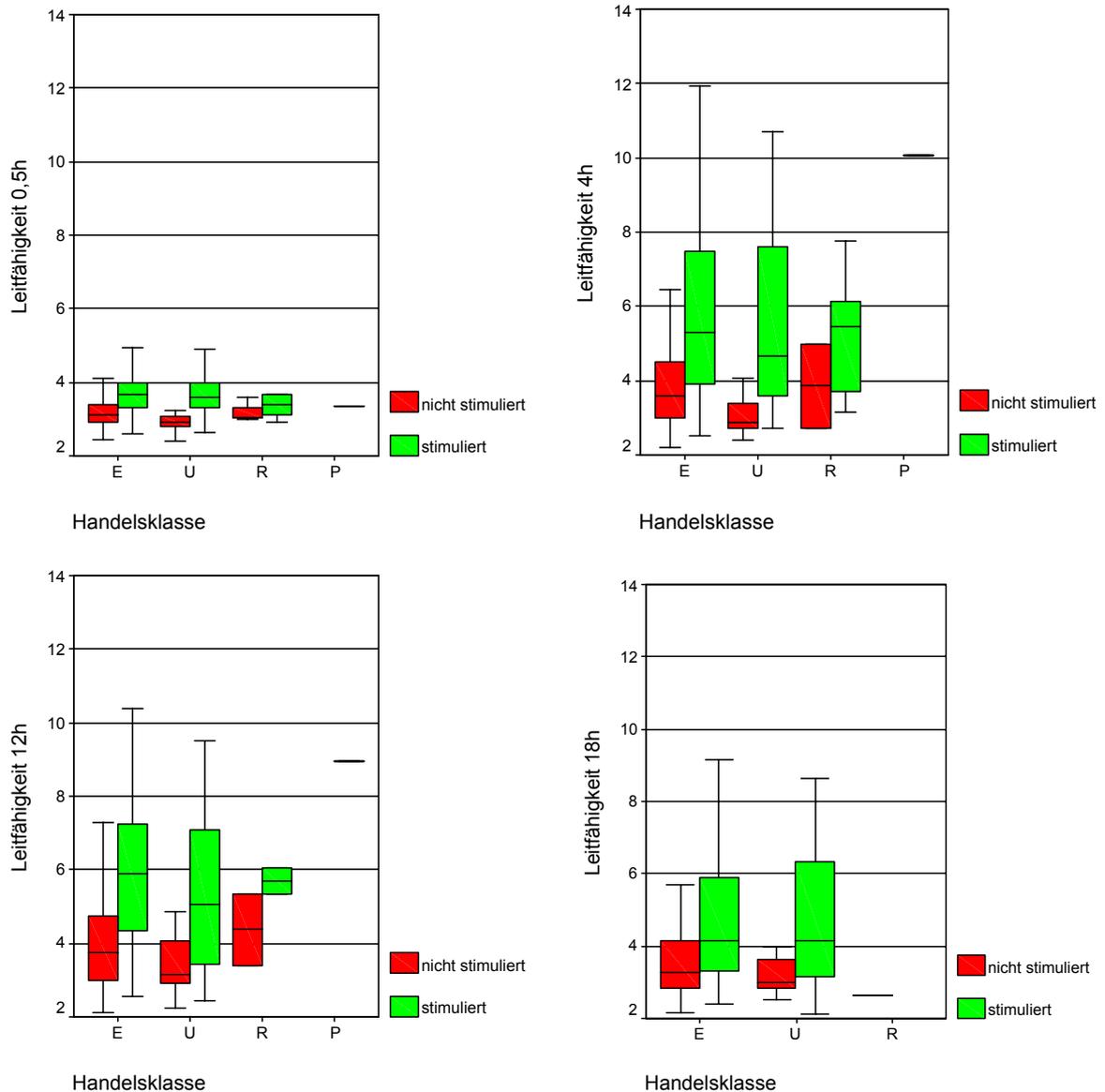


Abbildung 25: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Handelsklasse

Die Diagramme (Abb. 25) zeigen die Differenzen der Handelsklassen mit und ohne Elektrostimulierung auf. Die Tiere der HK „E“ zeigten nach Stimulierung einen um 0,64 (30 min p.m.), 1,79 (4 h p.m.), 1,79 (12 h p.m.) und 1,01 mS/cm (18 h p.m.) höheren mittleren LF-Wert im M. long. dorsi. Bei den Schlachttieren der HK „U“ ergaben

sich zu den Messzeitpunkten höhere mittlere Leitfähigkeitswerte von 0,97, 2,44, 1,88 und 1,22 mS/cm nach Stimulierung. Innerhalb der Gruppe der HK „R“ wurden höhere Werte nach Stimulierung von 0,12, 1,39, und 1,32 mS/cm bis 12 h nach der Schlachtung ermittelt.

Auf Grund der geringen untersuchten Anzahl der mit „R“ klassifizierten Schlachttiere soll hier nur die HK „E“ und „U“ miteinander verglichen werden. Ohne Stimulierung wies der Mittelwert der Schlachttiere der HK „E“ 30 min p.m. ein um 0,3 mS/cm höheres Niveau auf. Auch zum Zeitpunkt der zweiten Messung konnte bei der Handelsklasse „E“ ein um 0,88 mS/cm höherer Leitfähigkeitsmittelwert bei den nicht stimulierten Schlachttieren ermittelt werden (Abb. 25). Nach 12 h p.m. lag der Unterschied bei 0,63 mS/cm, nach 18 h p.m. bei 0,11 mS/cm, wobei auch hier die Schlachttiere der HK „E“ die höheren Werte erbrachten. Bei den stimulierten Tieren lagen 30 min nach der Schlachtung die Tierkörper der HK „E“ und „U“ auf annähernd gleichem Niveau (0,03 mS/cm höher bei HK „E“). Zum zweiten und dritten Untersuchungszeitpunkt errechneten sich bei den Schlachttierkörpern der HK „E“ höhere mittlere Leitfähigkeitswerte mit Unterschieden von 0,23 und 0,54 mS/cm über denen der HK „U“. 18 h p.m. konnte bei den Tieren der HK „U“ ein um 0,10 mS/cm höherer Wert ermittelt werden.

4.2.1.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

In der Kohorte der nicht stimulierten Schlachttiere konnte an Arbeitstagen von MA 1 mittlere LF-Werte von 3,25, 3,38, 3,49 und 3,53 mS/cm zu den Messzeitpunkten (0,5 h, 4 h, 12h, 18 h) ermittelt werden (Tab. 29). Bei den von MA 2 betreuten Tieren wurden die Werte mit $LF_{0,5} = 3,10$ mS/cm, $LF_4 = 3,50$ mS/cm $LF_{12} = 3,58$ mS/cm und $LF_{18} = 3,40$ mS/cm gemessen. Bei MA 3 zeigten die Schlachttiere ohne Stimulierung im frühpostmortalen Verlauf der Fleischreifung LF-Werte von 3,15 mS/cm (30 min p.m.), 3,88 mS/cm (4 h p.m.), 4,32 mS/cm (12 h p.m.) und 4,42 mS/cm nach 18 h. Von MA 4 konnten an Schlachttagen ohne Stimulierung, ebenso wie bei MA 5 zum Zeitpunkt von 18 Stunden nach der Schlachtung keine Daten erhoben werden. Die von MA 5 betreuten Tiere wiesen LF-Werte von 3,31, 4,10 und 4,20 mS/cm bis 12 Stunden p.m. auf.

Es ergab sich bei Schlachttieren an Arbeitstagen von MA 1 ein Anstieg der mittleren Leitfähigkeitswerte der von ihm betreuten, nicht stimulierten Schlachttiere von 0,13, 0,09 und 0,04 mS/cm. An Arbeitstagen von MA 2 konnte bei den Schlachttieren bis 12 h p.m. zunächst ein Anstieg der Leitfähigkeit um 0,40 bzw. 0,08 mS/cm, danach ein Absinken um 0,18 mS/cm im Zeitraum von 12 - 18 h p.m. beobachtet werden. Die mittleren LF-Werte im M. long. dorsi der von MA 3 eingetriebenen, nicht stimulierten Schlachtschweine erhöhten sich um 0,73, 0,44 und 0,10 mS/cm bis 12 h nach der Schlachtung. Die Tiere, die von MA 5 betreut wurden zeigten nach der Schlachtung einen Anstieg des mittleren Leitfähigkeitswertes um 0,79 mS/cm zwischen 30 min und 4 h p.m. und 0,10 mS/cm bis 12 h.

An Schlachttagen mit Stimulierung wurden nur die MA 2, 4 und 5 eingesetzt. Nach 18 h p.m. konnten keine Tiere erfasst werden und bei MA 4 wurden nur Daten bis 4 Stunden post mortem erhoben. An Arbeitstagen des MA 2 betragen die mittleren LF-Werte in der Muskulatur der von ihm eingetriebenen Schlachttiere 4,08 mS/cm (30 min p.m.), 7,00 mS/cm (4 h p.m.) und 6,78 mS/cm (12 h p.m.). Die von MA 4 betreuten Schlachttiere mit Stimulierung zeigten LF-Werte von 3,66 und 5,74 mS/cm (30 min - 12 h p.m.). Schlachttierkörper, die an Arbeitstagen von MA 5 geschlachtet wurden, wiesen $LF_{0,5} = 3,77$ mS/cm, $LF_4 = 6,36$ mS/cm und $LF_{12} = 5,68$ mS/cm auf. Aus den gemessenen Daten ließ sich bei den Tieren an Schlachttagen mit Einsatz von MA 2 mit Elektrostimulierung zunächst ein Anstieg von 2,92 mS/cm im Zeitraum von 30 min bis 4 h, danach ein Absinken des mittleren LF-Wertes um 0,22 mS/cm bis 12 h p.m. errechnen. Die Erhöhung der Leitfähigkeit bei Eintrieb der Schlachttiere durch MA 4 konnte mit 2,08 mS/cm ermittelt werden. Bei den Tieren, die von MA 5 in den Restrainer eingetrieben wurden, konnte zunächst ein Anstieg um 2,59 mS/cm, danach bis 12 h p.m. ein Absinken der mittleren Leitfähigkeit um 0,68 mS/cm registriert werden.

Ein Vergleich der Leitfähigkeitswerte konnte an Schlachttagen mit und ohne Stimulierung bei den Schlachttieren von den Mitarbeitern 2 und 5 betreuten Schlachttieren durchgeführt werden. Die Leitfähigkeitswerte bei Einsatz von MA 2 erhöhten sich unter Elektrostimulierung um 0,98, 3,50 und 3,20 mS/cm zwischen den Untersuchungszeitpunkten. An Einsatztagen von MA 5 lagen die mittleren LF-Werte in der Muskula-

tur 30 Minuten nach der Schlachtung um 0,46 mS/cm, 4 h p.m. um 2,26 mS/cm und 12 h p.m. um 2,48 mS/cm höher nach Stimulierung.

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
		Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.	
Personal	MA 1	LF _{0,5}	3,25	3,20	2,65	4,05	.	.	.	.
		LF ₄	3,38	3,20	2,40	6,40	.	.	.	.
		LF ₁₂	3,49	2,95	2,55	6,70	.	.	.	.
		LF ₁₈	3,53	3,15	2,35	6,35	.	.	.	.
	MA 2	LF _{0,5}	3,10	3,05	2,45	4,25	4,08	3,70	2,80	13,40
		LF ₄	3,50	3,13	2,35	7,85	7,00	6,88	2,95	11,95
		LF ₁₂	3,58	3,45	2,10	8,40	6,78	6,93	2,70	10,40
		LF ₁₈	3,40	3,10	2,15	8,50	.	.	.	.
	MA 3	LF _{0,5}	3,15	3,08	2,45	4,55	.	.	.	.
		LF ₄	3,88	3,60	2,45	8,00	.	.	.	.
		LF ₁₂	4,32	3,95	2,40	7,75	.	.	.	.
		LF ₁₈	4,42	3,95	2,65	9,10	.	.	.	.
	MA 4	LF _{0,5}	.	.	.	.	3,66	3,50	2,90	9,15
		LF ₄	.	.	.	.	5,74	5,63	2,85	9,95
		LF ₁₂	.	.	.	.	.	.	.	.
		LF ₁₈	.	.	.	.	.	.	.	.
	MA 5	LF _{0,5}	3,31	3,10	2,40	10,35	3,77	3,45	2,80	9,75
		LF ₄	4,10	3,70	2,20	10,95	6,36	6,38	2,70	10,70
		LF ₁₂	4,20	3,90	2,30	10,50	5,68	5,83	2,45	8,95
		LF ₁₈	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 29: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Bei den nicht stimulierten Schlachttierkörpern wiesen die von MA 5 betreuten Tiere nach 30 min p.m. den höchsten mittleren LF-Wert (3,31 mS/cm) auf, gefolgt von den Schlachttieren die an Tagen, an denen MA 1 (3,25 mS/cm) und MA 2 (3,10 mS/cm) tätig waren, geschlachtet wurden. 4 Stunden nach der Schlachtung zeigten die von MA 5 betreuten Tiere ebenfalls den höchsten mittleren LF-Wert von 4,10 mS/cm. Es folgten die Schlachttierkörper eingetrieben von MA 3 (3,88 mS/cm), MA 2 (3,50 mS/cm) und MA 1 (3,38 mS/cm). 12 h nach der Schlachtung hingegen wiesen die von MA 3 betreuten Schlachttiere den höchsten Leitfähigkeitsmittelwert (4,32 mS/cm) auf, gefolgt von den Schlachttieren von MA 5 (4,22 mS/cm), MA 2 (3,58 mS/cm) und MA 1 (3,49 mS/cm).

Bei der Gruppe der stimulierten Schlachttierkörper konnten an Arbeitstagen von MA 2 die höchsten mittleren Leitfähigkeitswerte gemessen werden. So betrug 30 min p.m. die Differenz zu den Tierkörpern von MA 4 0,42 mS/cm, zu denen von MA 5 0,31 mS/cm. Nach 4 h p.m. nahm der Abstand auf 1,26, bzw. 0,64 mS/cm zu. 12 Stunden nach der Schlachtung war nur noch der Vergleich zwischen Schlachttieren von MA 2 und 5 möglich, wobei auch hier die Leitfähigkeitswerte der Tiere bei Einsatz von MA 2 um 1,10 mS/cm höher lagen als die der Tiere, die von MA 5 betreut wurden (Abb. 26).

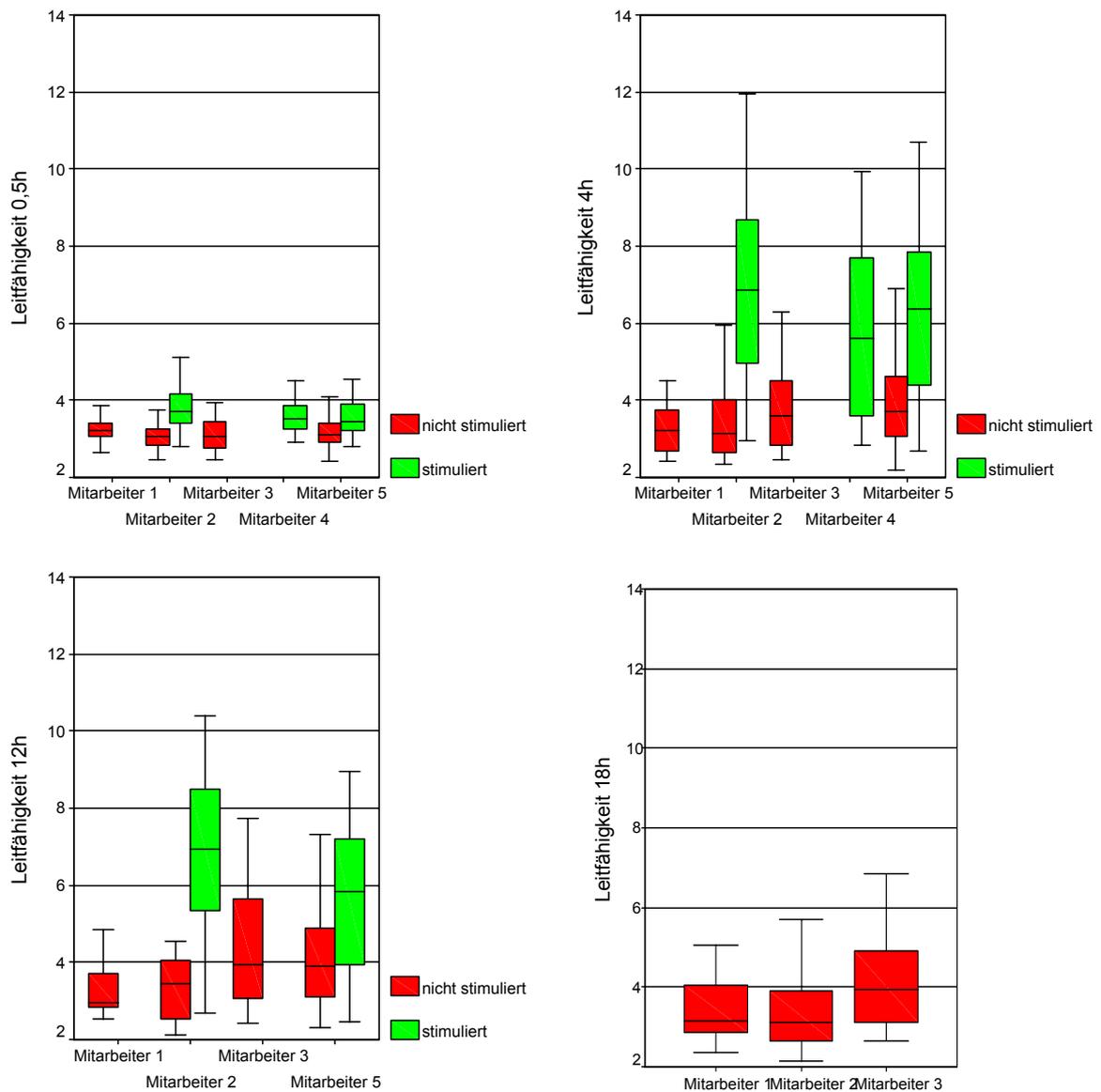


Abbildung 26: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Wie schon beschrieben, konnten an den Schlachttagen mit sparsamem Wasserverbrauch lediglich Schlachttiere mit Elektrostimulation erfasst werden. Zum Mess-

zeitpunkt nach 18 h ist ebenfalls kein Vergleich mehr möglich, da an diesen Tagen die Messungen nur noch bis 12 h p.m. durchgeführt wurden (Untersuchungstage 8 - 12 mit vermindertem Wassereinsatz).

In der Gruppe der nicht stimulierten Tiere wurden bei erhöhtem Wasserverbrauch mittlere LF-Werte von 3,25 mS/cm (30 min p.m.) 3,90 mS/cm (4 h p.m.), 4,02 mS/cm (12 h p.m.) und 3,65 mS/cm 18 h nach der Schlachtung ermittelt. Das ergab einen Anstieg von 0,65 und 0,12 mS/cm bis 12 h nach der Schlachtung, danach ein Absinken um 0,37 mS/cm bis 18 h p.m. (Tab. 30).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Wasserverbrauch	wenig Wasser	LF _{0,5}	.	.	.	.	3,91	3,60	2,80	13,40
		LF ₄	.	.	.	.	6,47	6,20	2,70	11,95
		LF ₁₂	.	.	.	.	6,30	6,50	2,45	10,40
		LF ₁₈	.	.	.	.	.	.	.	.
	viel Wasser	LF _{0,5}	3,25	3,10	2,40	10,35	3,93	3,60	2,45	11,15
		LF ₄	3,90	3,50	2,20	10,95	4,62	4,00	2,50	8,90
		LF ₁₂	4,02	3,65	2,10	10,50	5,14	4,60	2,55	9,50
		LF ₁₈	3,65	3,20	2,15	9,10	4,70	4,15	2,10	9,15

Tabelle 30: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

In der Gruppe der stimulierten Schlachttiere zeigten diejenigen, welche mit reduziertem Wassereinsatz geschlachtet wurden, LF-Mittelwerte von LF_{0,5} = 3,91 mS/cm, LF₄ = 6,47 mS/cm und LF₁₂ = 6,30 mS/cm. Somit ergab sich zwischen den beiden ersten Messungen ein Anstieg um 2,56 mS/cm, danach ein Absinken um 0,17 mS/cm bis 12 h p.m..

Die Schweine, die unter erhöhtem Wasserverbrauch geschlachtet wurden, wiesen mittlere LF-Werte von 3,93 mS/cm, 4,62 mS/cm, 5,14 mS/cm und 4,70 mS/cm zu den genannten Untersuchungszeitpunkten auf. Daraus ließ sich ein Anstieg von 0,69 und 0,52 mS/cm bis 12 h p.m. und ein Absinken von 0,44 mS/cm im Zeitraum von 12 - 18 h p.m. ermitteln. Die Kohorte der stimulierten Schlachttiere wies an Schlachttagen mit erhöhtem Wassereinsatz um 0,68, 0,72, 1,12 und 0,05 mS/cm (nach

30 min, 4 h, 12 h und 18 h) höhere mittlere Leitfähigkeitswerte im M. long. dorsi auf als die der nicht stimulierten Gruppe.

Die Abbildung 27 stellt die Modalitäten des Wassereinsatzes mit und ohne Elektrostimulierung einander gegenüber. Nach 30 Minuten p.m. war bei den stimulierten Schlachttieren zwischen viel und wenig Wasser ein geringer Unterschied (0,02 mS/cm) feststellbar. Nach 4 h p.m. nahm die mittlere Leitfähigkeit um 1,85 mS/cm bei geringem Wassereinsatz gegenüber hohem Wassereinsatz zu. 12 h nach der Schlachtung betrug diese Differenz 1,16 mS/cm.

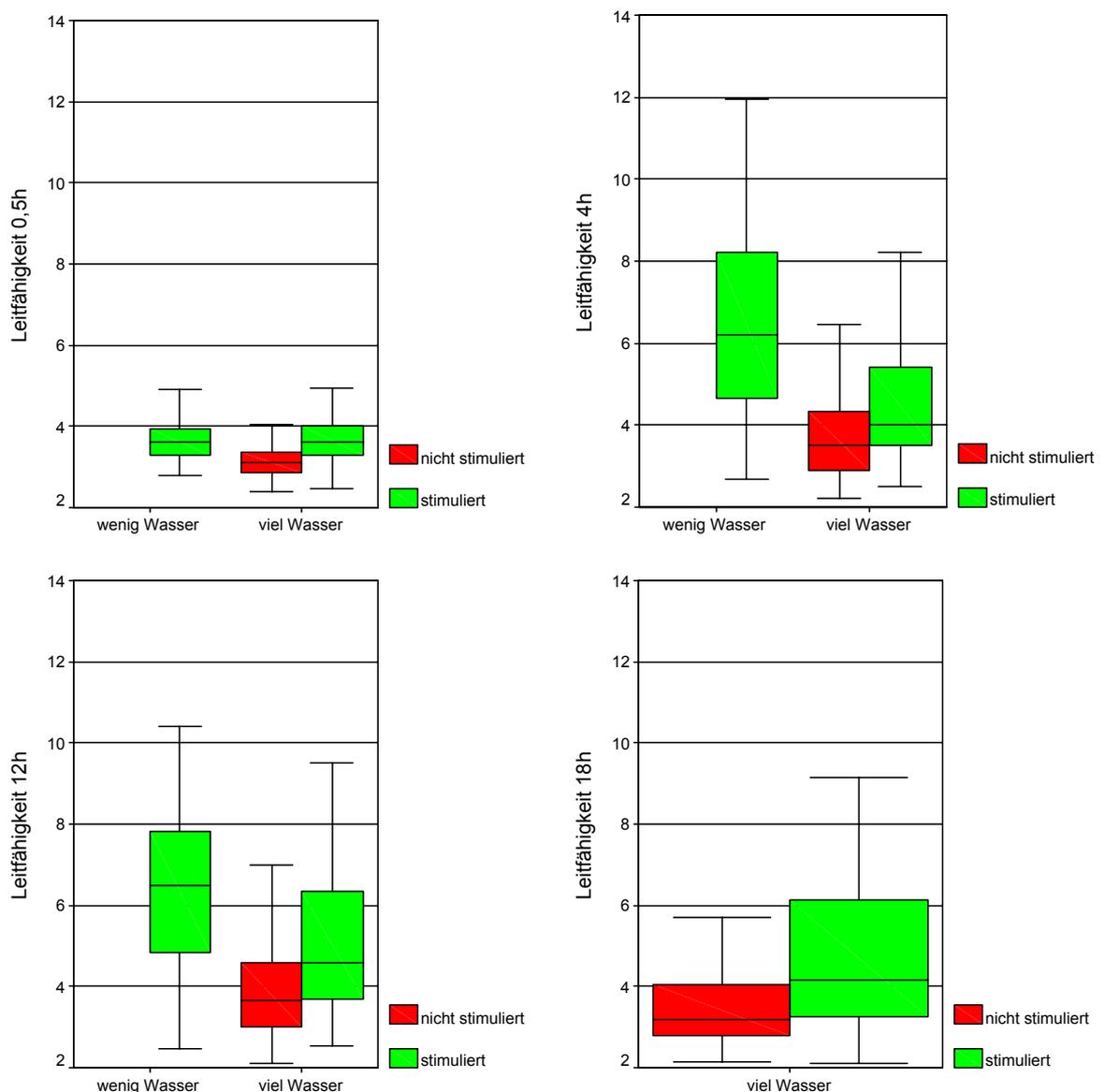


Abbildung 27: Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

4.2.2 Signifikanzen und Korrelationen

Die gemessenen Leitfähigkeitswerte waren nicht normal verteilt. Demzufolge wurde die weitere Überprüfung der Signifikanzen mittels des Mann-Whitney-Testes bzw. des Kruskal-Wallis-Testes (bei der statistischen Überprüfung von Herkunftsbetrieben und eingesetztem Schlachthofpersonal) durchgeführt.

4.2.2.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Die im *M. long. dorsi* der linken Schlachttierkörperhälfte gemessenen Leitfähigkeitswerte erbrachten in Bezug auf die Stimulierung innerhalb des Betriebes 2 nach 4 h ($p = 0,051$) und 12 h p.m. ($p = 0,183$), innerhalb des Betriebes 3 nach 30 min und 18 h ($p = 0,088$, bzw. $p = 0,237$), keine signifikanten Unterschiede. Schlachttiere mit Herkunft aus Betrieb 3 (B 3) zeigten nach Stimulierung zum 2. Messzeitpunkt (4 h p.m.) einen signifikanten Unterschied im Vergleich zu den nicht stimulierten Tieren ($p = 0,011$). Sehr signifikante Unterschiede erwiesen sich 4 h ($p = 0,009$) und 12 h p.m. ($p = 0,007$) bei den Schlachttieren des Herkunftsbetriebes 1 nach Stimulierung. Höchste Signifikanzen der Leitfähigkeitswerte im Vergleich der stimulierten und nicht stimulierten Tiere wiesen die Schlachttiere aus Betrieb 1 30 min p.m. und die Tiere der restlichen Betriebe (B 4-150) zu allen Untersuchungszeitpunkten auf ($p = 0,000$).

Der Vergleich der mittleren Leitfähigkeitswerte der Herkunftsbetriebe an Schlachttagen ohne Stimulierung erbrachte keinen signifikanten Unterschied zwischen Tieren der Betriebe 2 und 4-150 ($p = 0,317$), bei den Tieren der anderen Betrieben fanden sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zum 1. Untersuchungszeitpunkt (30 min p.m.). 4 h nach der Schlachtung zeigten noch Schlachttiere aus Betrieb 2 und Betrieb 4-150 sehr signifikante Unterschiede ($p = 0,007$), solche aus Betrieb 1 und Betrieb 2 lediglich signifikante Differenzen ($p = 0,040$), während die Werte der anderen Betriebe untereinander keinen signifikanten Unterschiede aufwiesen. Zur 3. Messung (12 h p.m.) konnten zwischen den Tieren aus Betrieb 1 und Betrieb 2 ($p = 0,01$) ebenso wie zwischen den Betrieben 2 und 4-150 ($p = 0,003$) sehr signifikante Differenzen festgestellt werden. Nach 18 h hingegen konnten nur die Betriebe

3 und 4-150 erfasst werden, die in ihren mittleren Leitfähigkeitswerten keinen signifikanten Unterschied erkennen ließen ($p = 0,608$).

An Schlachttagen mit Stimulierung konnten 30 min p.m. sehr signifikante Unterschiede zwischen den Schlachttieren aus Betrieb 1 und 2 ($p = 0,006$), ein signifikanter Unterschied zwischen den Tieren mit Herkunft aus Betrieb 1 und Betrieb 4-150 errechnet werden ($p = 0,046$). Die Tiere der anderen Betriebe zeigten untereinander zu diesem Messzeitpunkt keinen signifikanten Unterschied in ihren Leitfähigkeitswerten. Höchste Signifikanz der unterschiedlichen Leitfähigkeitswerte fand sich bei zwischen den Tieren aus Betrieb 2 und 3 und den Betrieben 2 und 4-150 ($p = 0,000$) 4 h p.m., zwischen Betrieb 1 und 2 ($p = 0,006$) sehr signifikante, bei den Schlachttieren der anderen Herkunftsbetrieben jedoch keine signifikanten Unterschiede. Zwischen den Schlachttieren aus Betrieb 2 und 4, und den Tieren aus Betrieb 1 und 2 konnte noch ein signifikanter Unterschied in den LF-Werten der stimulierten Tiere festgestellt werden ($p = 0,022$, bzw. $p = 0,006$). Zum letzten Messzeitpunkt 18 h p.m. wurden noch Tiere aus den Betriebe 2, 3 und 4-150 erfasst, wobei nur die Tiere aus den Betrieben 2 und 4-150 einen signifikanten Unterschied in ihren Leitfähigkeitswerten erbrachten ($p = 0,027$).

Der Vergleich der mittleren Leitfähigkeitswerte der männlichen stimulierten mit den männlichen nicht stimulierten erbrachten höchste Signifikanz ebenso wie bei den weiblichen stimulierten, bzw. nicht stimulierten Schlachttieren ($p = 0,000$). Mittels des Mann-Whitney-Testes wurde die Signifikanz der gemessenen Leitfähigkeitswerte der Muskulatur von männlichen und weiblichen stimulierten, bzw. von männlichen und weiblichen nicht stimulierten Schlachttieren überprüft, wobei sich keine signifikanten Unterschiede ergaben ($p > 0,255$).

Die Tiere der Handelsklassen „E“ und „U“ zeigten in ihren verschiedenen Leitfähigkeitswerten mit und ohne Stimulierung höchste Signifikanz ($p = 0,000$). Lediglich bei den Tieren der HK „U“ konnte 18 h p.m. kein signifikanter Unterschied zwischen stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren ermittelt werden ($p = 0,162$). Beim Vergleich der Tiere der HK „E“ und „U“ ohne Elektrostimulierung zeigten sich nach der Überprüfung mit dem Mann-Whitney-Test signifikante Unterschiede 30 Minuten

($p = 0,003$) und 12 h ($p = 0,035$) nach der Schlachtung und höchst signifikante Unterschiede 4 Stunden nach der Schlachtung ($p = 0,000$).

4.2.2.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

Beim Vergleich der von den Mitarbeitern 2 und 5 betreuten Schlachttiere an Tagen mit und ohne Stimulierung zeigten sich höchst signifikante Unterschiede ($p = 0,000$). Da während des Untersuchungszeitraumes aus organisatorischen Gründen keine Einflussnahme auf die Einteilung des Personals genommen werden konnten, wurde nur die Überprüfung einiger Vergleichswerte möglich.

An Schlachttagen mit Stimulierung zeigten sich 30 min p.m. sehr signifikante Unterschiede in den mittleren LF-Werten des M. long. dorsi zwischen den Tieren betreut durch MA 2 und den Tieren betreut durch MA 4 ($p = 0,007$). Eine sehr signifikante Differenz zu den Tieren von MA 5 konnte zu diesem Zeitpunkt nachgewiesen werden ($p = 0,006$). 4 Stunden nach der Schlachtung fanden sich an Einsatztagen von MA 2 und MA 4 zwischen den Schlachttieren sehr signifikante Unterschiede ($p = 0,006$). Keine Signifikanzen konnten zwischen den Tieren die an Schlachttagen mit Stimulierung und bei Einsatz von MA 2 und MA 5 bzw. MA 4 und MA 5 errechnet werden ($p > 0,133$). Zum 3. Messzeitpunkt 12 h p.m. konnten nur noch die durch MA 2 und MA 5 eingetriebenen Tiere in die Untersuchungen einbezogen werden, die sich in ihren mittleren Leitfähigkeitswerten sehr signifikant unterschieden ($p = 0,006$).

An Schlachttagen ohne Stimulierung fanden sich 30 min p.m. lediglich signifikante Unterschiede der LF-Werte der von MA 1 und MA 2 betreuten Tiere ($p = 0,049$). Keine Signifikanzen wurden innerhalb der Gruppen die durch MA 5 und den MA 1 ($p = 0,154$), 2 und 3 ($p = 0,933$) betreut wurden, ebenso wenig zwischen geschlachteten Schweinen an Arbeitstagen von MA 3 und den MA 1 und 2 festgestellt ($p = 0,234$, bzw. $p = 0,993$). 4 h post mortem zeigten die LF-Werte der von MA 5 eingetriebenen Schlachttiere höchst signifikante Unterschiede zu den Schlachttieren von MA 2 ($p = 0,001$), sehr signifikante Unterschiede zu denen von MA 1 ($p = 0,009$) und signifikante Differenzen zu den durch MA 3 betreuten Tieren ($p = 0,477$). Keine Signifikanzen der unterschiedlichen LF-Werte konnte bei den Schlachttieren an Ar-

beitstagen von MA 1 und 2 ($p = 0,699$), ebenso wenig wie an Arbeitstagen von MA 3 und MA 1 und 2 ($p = 0,189$, bzw. $p = 0,128$) ermittelt werden. Auch noch 12 h p.m. zeigten sich sehr signifikante Unterschiede zwischen den Tieren von MA 5 und denen von MA 1 ($p = 0,008$) und den Schlachttierkörpern des MA 2 ($p = 0,006$), ein signifikanter Unterschied konnte zu diesem Zeitpunkt auch zwischen den von MA 3 und MA 1 betreuten Tieren ($p = 0,024$) ermittelt werden. Die mittleren Leitfähigkeitswerte in der Muskulatur erbrachten sehr signifikante Unterschiede der Schlachttiere an Einsatztagen von MA 2 und 3 ($p = 0,008$) 18 Stunden nach der Schlachtung, keine signifikanten Unterschiede hingegen wiesen die LF-Werte von Schlachttieren an Arbeitstagen von MA 1 und MA 2 und 3 ($p > 0,059$) zu diesem Zeitpunkt auf.

An Schlachttagen mit Einsatz der Elektrostimulation (Anhang: Tab. 46) erbrachte die Auswertung der mittleren Leitfähigkeitswerte in Bezug auf den unterschiedlichen Wasserverbrauch keine Signifikanz zum Zeitpunkt von 30 min p.m. ($p = 0,742$), dagegen nach 4 bzw. 12 h p.m. höchste Signifikanz ($p = 0,000$). Bei erhöhtem Einsatz von Wasser zur Befeuchtung der Schlachttiere vor dem Eintrieb in den Restrainer fanden sich zu allen Untersuchungszeitpunkten höchst signifikante Unterschiede in den mittleren Leitfähigkeitswerten in Abhängigkeit zur Stimulierung ($p = 0,000$).

Die Beziehungen zwischen den pH-Werten und den Leitfähigkeitswerten wurden bereits in Kapitel 4.1.2.1 und 4.1.2.2 ausführlich beschrieben. An Schlachttagen ohne Elektrostimulation konnte eine enge Beziehung zwischen dem LF_4 und LF_{12} mit einer Korrelation von $r = 0,81$, zwischen dem Leitfähigkeitswert nach 12 und nach 18 h post mortem von $r = 0,77$ ermittelt werden (Anhang: Tab. 46 und 49). Eine fast ebenso enge Korrelation wiesen die Leitfähigkeitswerte 4 h und 18 h p.m. auf ($r = 0,69$). Mittlere Beziehungen konnten zwischen den mittleren Leitfähigkeitswerten 12 h und 30 min nach der Schlachtung ($r = 0,55$) hergestellt werden, auch die Beziehung zwischen den mittleren Leitfähigkeitswerten 30 min p.m. erbrachten eine mittlere Korrelation von $r = 0,61$, während zwischen der $LF_{0,5}$ und LF_{18} nur eine lose Beziehung ($r = 0,32$) bestand. Der Vergleich der mittleren Leitfähigkeitswerte mit den Q-Werten, 4 bzw. 12 h nach der Schlachtung erbrachte eine lose Beziehung mit $r = -0,21$, bzw. $r = -0,26$. Die Reflexionswerte zeigten mit den Leitfähigkeitswerten ebenfalls mittlere Korrelation von $r = 0,64$ (4h p.m.), $r = 0,57$ (12 h p.m.) und $r = 0,53$ (18 h p.m.).

In der Gruppe der stimulierten Schlachttierkörper fand sich ebenfalls eine enge Beziehung zwischen den Leitfähigkeitswerten nach 4 und 12 h ($r = 0,83$), nach 4 und 18 h ($r = 0,77$), und ebenso 12 und 18 Stunden post mortem ($r = 0,77$). Eine mittlere Korrelation konnte der Leitfähigkeitswert 30 Minuten nach der Schlachtung mit dem LF_4 und LF_{12} ($r = 0,44$) und dem LF_{18} ($r = 0,41$) aufweisen. Die Reflexionswerte standen in mittlerer Korrelation zu den Leitfähigkeitswerten nach 30 Minuten ($r = 0,61$), 4 Stunden ($r = 0,61$), 12 Stunden ($r = 0,58$) und nach 18 Stunden ($r = 0,57$). Die Korrelation der Leitfähigkeitswerte erreichte ein Maximum mit einer losen Beziehung zu den Q-Werten 18 Stunden nach der Schlachtung ($r = -0,23$). Ausführliche Daten befinden sich im Anhang, Tabelle 45.

Beim Vergleich der erfassten Parameter (Schlachttiere und Schlachtbetrieb) mit den mittleren Leitfähigkeitswerten konnten ohne Elektrostimulation keine relevanten Beziehungen hergestellt werden (Anhang: Tab. 50). Werden die Daten jedoch an Schlachttagen mit Stimulierung betrachtet, so konnten Korrelationen zwischen dem LF_4 und dem Geschlecht der Schlachttiere ($r = -0,29$) ermittelt werden. Zwischen dem LF_{12} , dem eingesetzten Stallpersonal ($r = -0,27$) und dem LF_{12} und dem Wasserverbrauch wurden ebenso lockere Beziehungen ($r = -0,30$) errechnet (Anhang: Tab. 51).

4.3 Reflexion

4.3.1 Auswertung der Reflexionsmessungen

Die Messung der Reflexionswerte wurde von den Mitarbeitern des Fleischprüfings Bayern e.V. in der in Kapitel 3.3.2.4 beschriebenen Weise durchgeführt. Der mittlere Reflexionswert der Gruppe der unstimulierten Tiere (n = 265) betrug 43 Einheiten. An Schlachttagen ohne Elektrostimulation konnte ein Minimum von 21 und ein Maximum von 161 gemessen werden (Tab. 31). Die Gruppe der stimulierten Schlachttiere (n = 443) zeigte einen Mittelwert von 62. Es soll erwähnt werden, dass die Werte gerätebedingt bis 200 erreichen können. Dieser Höchstwert wurde in der Gruppe der stimulierten Schlachttiere mit 195 fast erreicht, das Minimum nach Stimulierung betrug 28 Einheiten (Anhang: Abb. 50 und 51).

	Stimulierung							
	nicht stimuliert				stimuliert			
	Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Reflexionswert	43	42	21	161	62	56	28	195

Tabelle 31: Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

Die mittleren Reflexionswerte der Muskulatur unterscheiden sich in den beiden Untersuchungsgruppen, stimuliert und unstimuliert, um 19 Einheiten, wobei der höhere Wert nach Stimulierung erbracht wurde. Eine etwas geringere Spanne zeigten die Mediane der Reflexionswerte (14 Einheiten) von nicht stimulierten zu stimulierten Tieren. Die Spanne der Maxima (stimuliert – nicht stimuliert) beträgt 34 Einheiten, die Minimalwerte lagen auf dem gleichem Niveau von 21 Einheiten (Abb. 28).

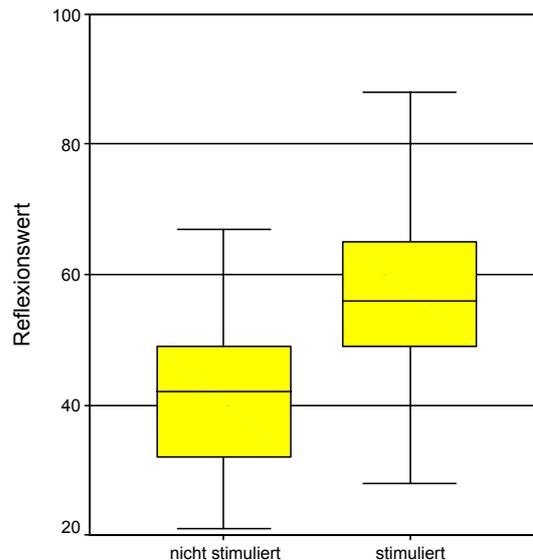


Abbildung 28: Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

4.3.1.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

In der Gruppe der nicht stimulierten Tiere in Abhängigkeit von den Herkunftsbetrieben der Schlachtschweine konnten an Schlachttagen ohne Stimulierung mittlere Reflexionswerte von 49 (Betrieb 2), 48 (Betrieb 1), 42 (Betrieb 4-150) und 29 Einheiten (Betrieb 3) ermittelt werden. In absteigender Reihenfolge konnten Differenzen zwischen den Betrieben 2 und 1 von 1 Einheit, zwischen den Betrieben 1 und 4-150 von 6 Einheiten und 13 Einheiten zwischen den Betrieben 4-150 und Betrieb 3 errechnet werden (Tab. 32). Die Minima der nicht stimulierten Tiere lagen zwischen 21 (Betrieb 4-150) und 35 (Betrieb 1 und 2) und umfassten somit eine Spanne von 14 Einheiten. Die Maximalwerte umfassten den Bereich von 49 (Betrieb 3) bis 161 Einheiten (Betrieb 4-150), was einer Spanne von 112 Einheiten entspricht. Die Zulieferbetriebe 2 (67 Einheiten) und der Betrieb 1 (146 Einheiten) lagen mit einer Spanne von 79 Einheiten dazwischen, wobei eine deutliche Unterscheidung zwischen den Betrieben mit niedrigeren Höchstwerten (Betrieb 2 und 3) und den Betrieben mit den höchsten Maximalwerten (Betrieb 1 und 4-150) ersichtlich wurde. Der Median wies bei Schlachtierkörpern aus Betrieb 1 die größte Abweichung (4 Einheiten) auf. Bei den andern Betrieben lag der Wert des Median um eine Einheit unter den in der Muskulatur ge-

messenen Reflexionswerten (Betrieb 3 und 4-150), bzw. eine Einheit über dem mittleren Reflexionswert (Betrieb 2).

In der Gruppe der stimulierten Schlachttiere konnte bei Betrieb 4-150 der höchste Mittelwert ermittelt werden (63 Einheiten), gefolgt von Betrieb 3 (60 Einheiten) und den Betrieben 1 und 2 (57 Einheiten). Die Minimalwerte erbrachten in der Muskulatur der Schlachttierkörper bei Betrieb 1 43 Einheiten, bei Betrieb 2 40 Einheiten, bei Betrieb 3 34 Einheiten und bei Betrieb 4-150 einen Wert von 28 Einheiten. Die Maxima zeigten in Abhängigkeit von den Betrieben nach Elektrostimulation Werte mit einer Spanne von 101 Einheiten, wobei Betrieb 4-150 den höchsten Wert (195 Einheiten) aufwies, gefolgt von den Betrieben 3 (143 Einheiten), dem Zulieferbetrieb 1 (94 Einheiten) und Betrieb 2 (71 Einheiten). Der Median wies bei Betrieb 1 und 3 einen Wert von 55, bei Betrieb 4-150 einen Wert von 56 und bei Betrieb 2 einen solchen von 59 auf. Daraus errechnete sich eine Spanne von +/- 2 bei den Betrieben 1 und 2. Bei Schlachttieren aus Betrieb 3 lag der Median um 5 Einheiten, und bei den Schlachttieren aus Betrieb 4-150 um 7 Einheiten unter dem mittleren Reflexionswert (RW).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Betrieb	B 1	RW	48	44	35	146	57	55	43	94
	B 2	RW	49	50	35	67	57	59	40	71
	B 3	RW	29	28	24	49	60	55	34	143
	B4-150	RW	42	41	21	161	63	56	28	195

Tabelle 32: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Die mittleren Reflexionswerte zeigten deutliche Unterschiede bedingt durch die Modalitäten der Schlachtung (Abb. 29). In jedem Fall waren die mittleren Reflexionswerte nach Stimulierung höher. Die größte Differenz wiesen Tiere mit Herkunft aus Betrieb 3 auf (31 Einheiten), gefolgt von Betrieb 4-150 (21 Einheiten) und den Betrieben 1 und 2 (9 bzw. 8 Einheiten).

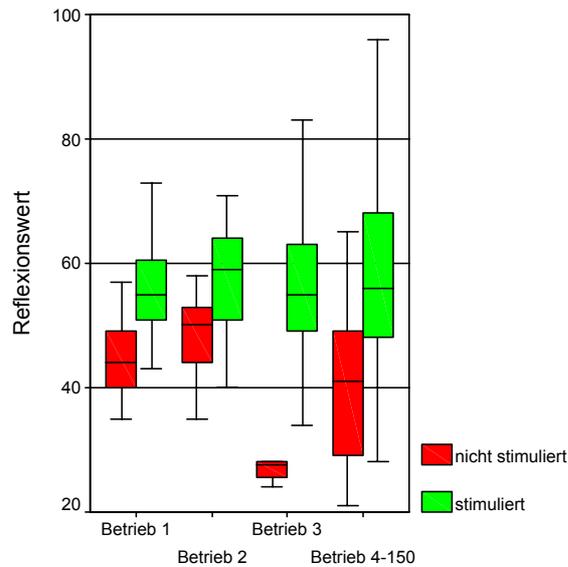


Abbildung 29: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

In die Untersuchungen wurde die Frage nach dem Einfluss des Geschlechtes der Schlachttiere auf die frühpostmortale Entwicklung des Reflexionswertes mit einbezogen (Tab. 33). Bei den männlichen, nicht stimulierten Schlachtschweinen ($n = 180$) fand sich ein Reflexionswert von 49 Einheiten gegenüber den weiblichen unstimulierten Schlachttieren ($n = 80$) von 50 Einheiten. Die Maxima lagen mit einer Differenz von 3 Einheiten (158 bei weiblichen und 161 Einheiten bei männlichen Tieren) eng beieinander. Die Minima unterschieden sich nur um 1 Einheit (33 bei männlichen und 32 Einheiten bei weiblichen Tieren). Der Median erbrachte bei den männlichen nicht stimulierten Tieren einen um 1 (48 Einheiten) und bei den weiblichen Schlachttierkörpern (47 Einheiten) einen um 3 Einheiten erniedrigten Wert.

Die männlichen stimulierten Tiere ($n = 89$) zeigten zum Untersuchungszeitpunkt 35 min p.m. in der Muskulatur einen mittleren Reflexionswert von 64 gegenüber einem Mittelwert von 63 bei den weiblichen Schlachttieren ($n = 108$). Bei den Maximalwerten der stimulierten Tiere (194 bei männlichen und 167 Einheiten bei weiblichen Tieren) konnte eine Differenz von 27 Einheiten ermittelt werden. Die Minima lagen bei männlichen (28 Einheiten) um 4 Einheiten niedriger als bei den weiblichen Karkassen (32 Einheiten).

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Geschlecht	männl.	RW	49	48	33	158	64	56	28	194
	weibl.	RW	50	47	32	161	63	55	32	167

Tabelle 33: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die mittleren Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Geschlecht zeigten bei männlichen Tieren nach Stimulierung um 15 Einheiten und bei weiblichen Schlachttierkörpern um 13 Einheiten höheren Wert (Abb. 30).

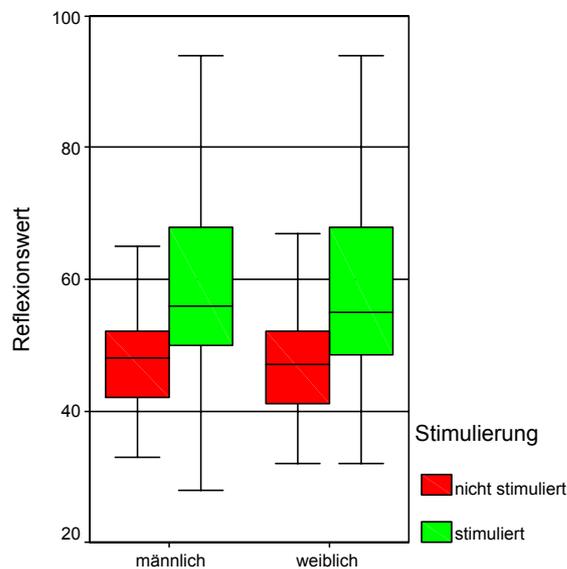


Abbildung 30: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die mittleren Reflexionswerte des M. long. dorsi in der Gruppe der nicht stimulierten Tiere (Tab. 34), die mit „E“ klassifiziert wurden, betragen 43 Einheiten (n = 84) gegenüber einem Mittel von 42 der HK „U“ (n = 7) und 38 Einheiten der HK „R“ (n = 1). Hierbei soll erwähnt werden, dass auf die HK „R“ nur 9 Tiere entfielen, davon 6 stimuliert und 3 nicht stimuliert. Die Minima erbrachten bei den nicht stimulierten Karassen Werte zwischen 21 (HK „E“) und 28 (HK „U“). Die Tiere der HK „R“ lagen mit einem Wert von 24 Einheiten im mittleren Bereich. Die Maxima betragen 161 (HK „E“), 61 HK „U“) und 52 Einheiten (HK „R“). Daraus errechnete sich eine Differenz von 100 (zwischen HK „E“ und HK „U“) und 9 Einheiten (zwischen HK „U“ und „R“).

Der Median der in die Untersuchung einbezogenen Handelsklassen zeigte einen Unterschied von maximal einer Einheit zu den entsprechenden Mittelwerten.

Bei den Schlachttieren, die einer postmortalen Stimulierung unterzogen wurden, konnten Mittelwerte von 65 (HK „U“), 61 (HK „E“) und 50 Einheiten (HK „R“) gemessen werden. Dies ergab eine Spanne von insgesamt 15 Einheiten. Die Minima wiesen bei Tieren der HK „R“ einen Reflexionswert von 43, bei den Tieren der HK „U“ einen Wert von 35 und bei HK „E“ einen niedrigsten Wert von 28 auf. Der Unterschied zwischen den HK „R“ und „E“ betrug ebenfalls 15 Einheiten. Von Handelsklasse „P“ konnten wiederum nur die Werte eines einzelnen Tieres erfasst werden. Die Maxima der Schlachttiere, die mit HK „E“ und „U“ beurteilt wurden liegen eng zusammen (194 bzw. 195 Einheiten). Eine deutliche Differenz hierzu zeigten die Tiere der HK „R“ mit lediglich 68 Einheiten. Der Median liegt bei Schlachttieren der HK „E“ 5, bei Tieren der HK „U“ 10 und bei Schlachtschweinen der HK „R“ 2 Einheiten unter den jeweiligen Mittelwerten.

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
HK	E	RW	43	42	21	161	61	56	28	194
	U	RW	42	42	28	61	65	55	35	195
	R	RW	38	39	24	52	50	48	43	68
	P	RW	.	.	.	.	146	146	146	146

Tabelle 34: Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Handelsklasse

Die mittleren Reflexionswerte waren bei der Gruppe der stimulierten Tiere durchweg höher als bei nicht stimulierten Schlachttierkörpern (Abb. 31). Hierbei wiesen die einzelnen Handelsklassen Unterschiede von 23 (HK „U“), 18 (HK „E“) und 12 Einheiten (HK „R“) zwischen stimulierten und nicht stimulierten Schlachttierkörpern auf.

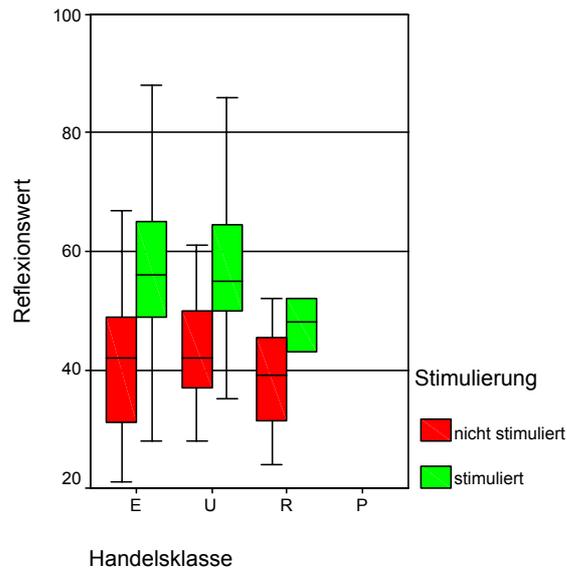


Abbildung 31: Reflexionswert in Abhängigkeit von der Handelsklasse

4.3.1.2 Einfluss des Schlachtbetriebes

Bezüglich des Personals wiesen die Schlachtschweine ohne Stimulierung (Tab. 35) durchschnittliche Mittelwerte von 50 (MA 5), 40 (MA 3), 28 (MA 2) und 26 Einheiten (MA 1) auf. Daraus errechnete sich eine Spanne von 24 Einheiten. Die Minima konnten bei MA 1 mit 47, bei MA 3 mit 29, bei Mitarbeiter 2 mit 23 und bei Mitarbeiter 1 mit 21 Einheiten ermittelt werden. Die Maxima betrugen bei MA 5 161, bei MA 3 und MA 1 49 und bei MA 2 29 Einheiten. Daraus errechnete sich eine Spanne von 119 Einheiten des maximalen Reflexionswertes. Der Median der nicht stimulierten Tiere lag bei MA 1 und MA 2 um jeweils eine Einheit unter den Mittelwerten, zeigte sich bei MA 3 identisch und zeigte sich bei MA 5 um 3 Einheiten erniedrigt.

Die Mittelwerte der stimulierten Schlachttiere betrugen 65 (MA 2), 62 (MA 5) und 60 Einheiten (MA 4), zeigten demnach eine Spanne von 5 Einheiten. An Arbeitstagen von MA 1 und 3 wurden keine Reflexionswerte nach Stimulierung erfasst. Die niedrigsten Reflexionswerte nach Stimulierung betrugen 36 bei MA 4, 32 bei MA 5 und 28 Einheiten bei MA 2. Die Maxima der MA 5 (192) und MA 2 (194) lagen mit einem Unterschied von 2 Einheiten eng zusammen, die von MA 4 betreuten Schlachtschweine wiesen 35 min p.m. einen maximalen Reflexionswert von 131 Einheiten auf und er-

brachten eine Spanne von 63 Einheiten gegenüber den von MA 2 eingetriebenen Tiere. Der Median zeigte einen um 9 Einheiten niedrigeren Wert bei MA 2 (56 Einheiten) auf. Bei den Schlachttieren an Einsatztagen von MA 4 und MA 5 erniedrigte sich der Median um 4 bzw. 8 Einheiten.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Personal	MA 1	RW	26	25	21	49	.	.	.	.
	MA 2	RW	28	27	23	42	65	56	28	194
	MA 3	RW	40	40	29	49	.	.	.	.
	MA 4	RW	.	.	.	.	60	56	36	131
	MA 5	RW	50	47	32	161	62	54	32	192

Tabelle 35: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Nur an Arbeitstagen der MA 2 und MA 5 konnte jeweils eine Gruppe stimulierter und nicht stimulierter Schlachttiere in die Untersuchungen mit einbezogen werden (Abb. 32). Bei den Tieren, die MA 2 betreute, ergab sich nach Stimulierung ein um 37 Einheiten höherer Wert, bei MA 5 zeigte sich lediglich eine Erhöhung des mittleren Reflexionswertes in der Muskulatur um 12 Einheiten nach Stimulierung der Schlachttierkörper.

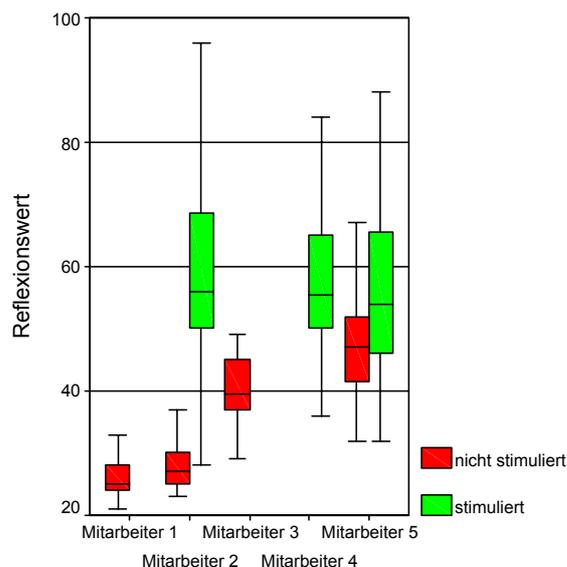


Abbildung 32: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Da an Schlachttagen mit geringerem Wasserverbrauch beim Eintrieb der Tiere und im Restrainer (Befeuchtung der Schlachttiere) immer stimuliert wurde, kann hier nur diese Gruppe zur Auswertung verwendet werden (Tab. 36). Bei geringerem Einsatz von wenig Wasser lagen die Mittelwerte um 4 Einheiten höher als bei der Verwendung von viel Wasser (61 gegenüber 55 Einheiten). Die Maxima konnten mit 194 (wenig Wasser) und 195 (viel Wasser) errechnet werden, auch die Minima zeigten lediglich eine Spanne von 2 Einheiten (28 mit wenig und 30 Einheiten mit höherem Wasserverbrauch). Im Median fand sich eine Differenz zu den Mittelwerten von 6 (55 unter Verbrauch von wenig Wasser) bzw. 7 Einheiten (58 Einheiten unter Verbrauch von viel Wasser) unter den entsprechenden Mittelwerten (Abb. 33).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Wasserverbrauch	wenig Wasser	RW	.	.	.	.	61	55	30	194
	viel Wasser	RW	43	42	21	161	65	58	28	195

Tabelle 36: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

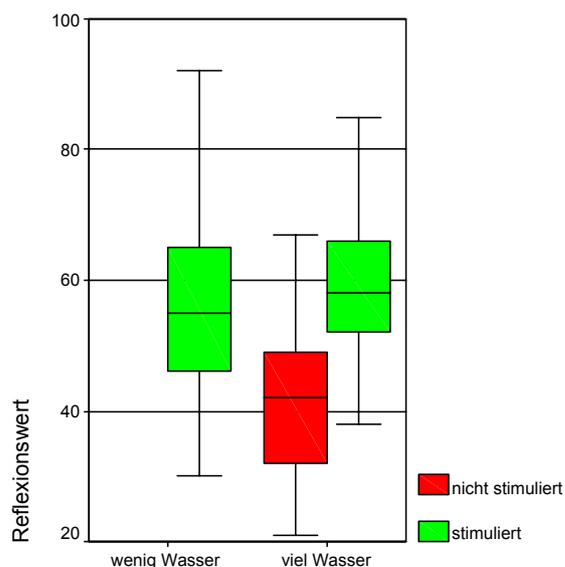


Abbildung 33: Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

4.3.2 Signifikanzen und Korrelationen

Die gemessenen Reflexionswerte (RW-Werte) waren nicht normal verteilt. Demzufolge wurde die weitere Überprüfung der Signifikanzen auch hier mittels des Mann-Whitney-Testes bzw. des Kruskal-Wallis-Testes (bei Herkunftsbetrieben und Personal) durchgeführt.

4.3.2.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Der Vergleich innerhalb der Herkunftsbetriebe ergab höchste Signifikanz ($p = 0,000$) in Beziehung zur Art der Schlachtung, also in Beziehung der stimulierten zu den nicht stimulierten Schlachttieren (Anhang: Tab. 46 - 48). Nach Stimulierung fanden sich keinerlei signifikanten Unterschiede in den mittleren Reflexionswerten zwischen den einzelnen Herkunftsbetrieben gegenüber den nicht stimulierten Schlachttierkörpern ($p = 0,953$). Ohne die frühpostmortale Elektrostimulierung (Anhang: Tab. 50) konnte (im Vergleich der Zulieferbetriebe untereinander) zwischen den Betrieben 1 und 2 ($p = 0,012$), den Betrieben 1 und 4-150 ($p = 0,029$), und den Betrieben 3 und 4-150 ($p = 0,012$) signifikante Unterschiede in den durch den bayerischen Fleischprüfing ermittelten mittleren Reflexionswerten der Muskulatur errechnet werden. Die Beziehungen zwischen dem Herkunftsbetrieb 2 und den Betrieben 3 und 4-150 waren ebenso wie zwischen Betrieb 1 und Betrieb 3 von höchster Signifikanz ($p = 0,000$).

Die Überprüfung des Einflusses der Stimulierung auf die Fleischqualität von männlichen und weiblichen Schlachttieren ergab höchste Signifikanz innerhalb der Gruppe der weiblichen und der Gruppe der männlichen Tiere ($p = 0,000$). Beim Vergleich der stimulierten männlichen mit den weiblichen ($p = 0,436$) und der nicht stimulierten männlichen mit den weiblichen konnte keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden ($p = 0,631$).

Wie beim Geschlecht der Tiere stellte sich auch das Ergebnis bezüglich der Handelsklassen dar. Innerhalb der Tiere der HK „E“ und „U“ zeigten sich höchste Signifikanzen in Abhängigkeit zur Stimulierung ($p = 0,000$), beim Vergleich der Handels-

klassen untereinander jedoch keine signifikanten Differenzen, weder mit noch ohne Stimulierung ($p = 0,665$, bzw. $p = 0,696$).

4.3.2.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

An Einsatztagen von MA 2 und MA 5 konnten im Vergleich der Art der Schlachtung (stimuliert/nicht stimuliert) höchst signifikante Unterschiede ermittelt werden ($p = 0,000$). Der Mann-Whitney-Test erbrachte bei dem Vergleich der einzelnen Betriebe (nur möglich bei MA 2, MA 4, MA 5) keine signifikanten Unterschiede im mittleren Reflexionswert des M. long. dorsi nach Stimulierung ($p = 0,353$). Bei der Gruppe der nicht stimulierten Schlachttiere konnten die Tiere betreut durch MA 1 mit denen von MA 3 und 5, MA 2 mit denen von MA 3 und 5 und MA 3 mit MA 5 überprüft werden, wobei sich in jedem Falle höchst signifikante Unterschiede aufzeigen ließen ($p = 0,000$).

Nach der Menge des eingesetzten Brauchwassers zeigte sich unter Einsatz der Stimulierung, nur hier war ein Vergleich möglich, höchste Signifikanz in den Unterschieden der Reflexionswerte ($p = 0,001$). Ebenso ergaben sich höchst signifikante Differenzen bei Verwendung von viel Wasser ($p = 0,000$) in Bezug auf die Art der Schlachtung (stimuliert/nicht stimuliert).

Bei der Auswertung der Korrelationen des Reflexionswertes mit den erhobenen Parametern des Schlachtbetriebes und der Schlachttiere an Schlachttagen ohne Stimulierung konnte eine mittlere Beziehung zum Geschlecht der Schlachttiere ($r = -0,46$) und dem eingesetzten Stallpersonals ($r = 0,56$) ermittelt werden (Anhang: Tab. 49 und 51). An Schlachttagen ohne Stimulierung zeigten sich Korrelationswerte, die auf keine Beziehung der erfassten Parameter mit den Reflexionswerten schließen lassen (Anhang: Tab. 49 und 50).

4.4 Wässrigkeit

4.4.1 Auswertung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit

Die Untersuchungen zur auspressbaren Gewebsflüssigkeit wurden an 9 Schlachttagen in der in Kapitel 3.3.2.3 beschriebenen Weise durchgeführt, wobei 176 Schlachttiere mit Stimulierung und 92 ohne Stimulierung erfasst werden konnten ($n_{\text{ges.}} = 268$). Die mittleren Q-Werte der beiden Gruppen unterschieden sich mit Werten von 0,48 (stimuliert) und 0,50 (unstimuliert) um 0,02 Einheiten (Tab. 37). Die Minima betragen 0,34 bei stimulierten und 0,27 bei nicht stimulierten Schlachttieren, die Maxima waren mit 0,62 identisch (siehe auch Anhang: Abb. 52 und 53).

	Stimulierung							
	nicht stimuliert				stimuliert			
	Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Q-Wert	,50	,50	,34	,62	,48	,47	,27	,62

Tabelle 37: Q-Werte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

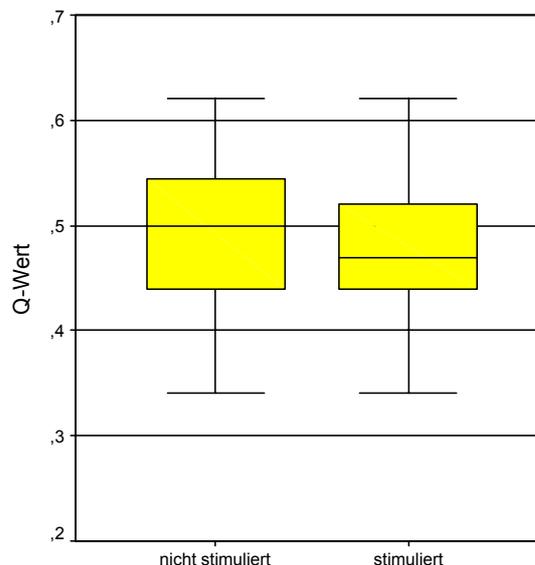


Abbildung 34: Q-Werte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht

Der Median konnte bei unstimulierten Tieren mit einem Wert von 0,50 und bei stimulierten Schlachttieren mit einem Wert von 0,47 ermittelt werden. Daraus errechnete sich ein um 0,03 erhöhter Wert bei den Tieren ohne Stimulierung (Abb. 34).

4.4.1.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Von den Herkunftsbetrieben 3 und 4-150 konnten Vergleichsgruppen mit und ohne Stimulierung erfasst werden (Tab. 38). Die mittleren Q-Werte der Muskulatur des M. semimembranosus betragen ohne Stimulierung 0,51 (Betrieb 3,) und 0,49 (Betrieb 4-150, n = 84) und differierten nur gering um einen Wert von 0,02. Bei den stimulierten Tieren wiesen die Betriebe 1 und 3 die höchsten mittleren Q-Werte mit 0,5 auf, gefolgt von Betrieb 4-150 (0,48) und Betrieb 2 (0,45). Damit ergab sich eine maximale Differenz zwischen den Betrieben im Mittelwert um 0,05 an Schlachttagen mit Stimulierung, wobei Betrieb 1 den höchsten Wert, Betrieb 2 den niedrigsten mittleren Q-Wert aufwies. Die Messungen der Wässrigkeit bei den Betrieben 3 und 4-150 (mittlere Q-Werte) ergaben einen um jeweils 0,01 erniedrigten Wert an Tagen mit Stimulierung (Abb. 35).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Betrieb	B 1	Q-Wert	.	.	.	.	,50	,48	,42	,56
	B 2	Q-Wert	.	.	.	.	,45	,44	,27	,60
	B 3	Q-Wert	,51	,51	,42	,60	,50	,50	,40	,62
	B4-150	Q-Wert	,49	,50	,34	,62	,48	,47	,30	,60

Tabelle 38: Q-Werte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

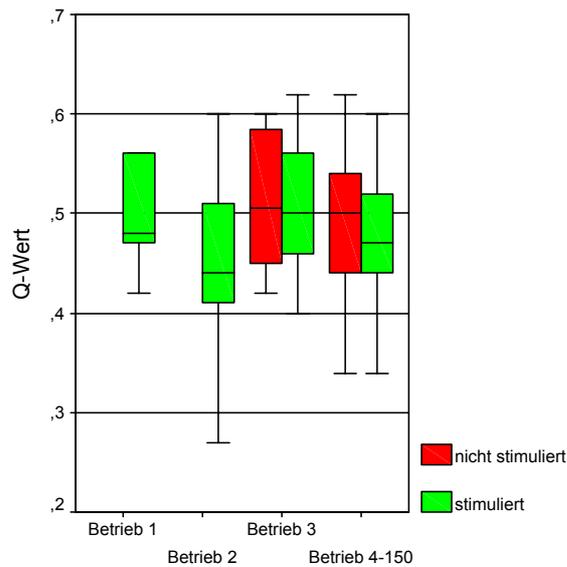


Abbildung 35: Q-Werte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb

Die Auswertung der Wässrigkeit in Bezug auf das Geschlecht der stimulierten Schlachttiere zeigte einen mittleren Q-Wert von 0,50 bei männlichen und 0,49 bei weiblichen Tieren (Tab. 39). Die Maxima lagen mit einem Unterschied von 0,03 (0,59 bei männlichen und 0,56 bei weiblichen Tieren) ebenfalls sehr eng beieinander. Bei den Minimalwerten zeigten die weiblichen Tiere eine Differenz von 0,05 (0,42 bei männlichen gegenüber 0,37 bei weiblichen Tieren).

		Stimulierung								
		nicht stimuliert				stimuliert				
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Geschlecht	männl.	Q-Wert	.	.	.	.	,50	,52	,42	,59
	weibl.	Q-Wert	.	.	.	.	,49	,50	,37	,56

Tabelle 39: Q-Werte in Abhängigkeit vom Geschlecht

Der Median Q-Werte der männlichen Tiere betrug 0,52, der Median der weiblichen Tiere 0,50. Bei männlichen Tieren errechnete sich somit eine Differenz zu den weiblichen Schlachttieren von 0,02 an Tagen mit Elektrostimulation (Abb. 36).

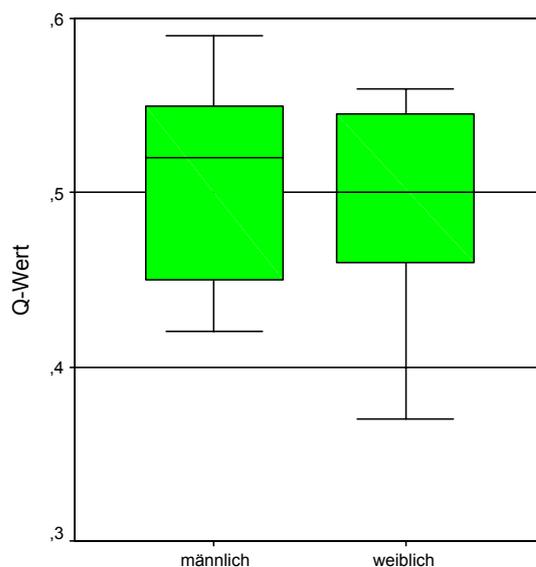


Abbildung 36: Q-Werte in Abhängigkeit vom Geschlecht, nur stimulierte Tiere

Die mittleren Q-Werte des M. semimembranosus in der Gruppe der nicht stimulierten Tiere die mit „E“ klassifiziert wurden (Tab. 40), betragen 0,49 (n = 84) gegenüber einem Mittel von 0,54 der HK „U“ (n = 7) und 0,42 der HK „R“ (n = 1). Somit zeigte sich bei HK „E“ ein um 0,05 niedrigerer Wert gegenüber den mit „U“ klassifizierten Tieren. Die Mittelwerte der stimulierten Tiere lagen einheitlich bei 0,48.

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
HK	E	Q-Wert	,49	,50	,34	,62	,48	,47	,27	,62
	U	Q-Wert	,54	,54	,44	,62	,48	,48	,34	,59
	R	Q-Wert	,42	,42	,42	,42	.	.	.	.
	P	Q-Wert	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 40: Q-Werte in Abhängigkeit von der Handelsklasse

Der Unterschied in den Mittelwerten war an Schlachttagen mit Elektrostimulierung nicht mehr erkennbar (HK „E“ und „U“: 0,48). Den größten Unterschied wiesen die mittleren Q-Werte der stimulierten Schlachttierkörper der HK „U“ gegenüber der nicht

stimulierten Gruppe auf, der bei nicht stimulierten um 0,06 höher war. Die Schlachttierkörper der HK „E“ erbrachten einen um 0,01 höheren Wert ohne Stimulierung gegenüber den stimulierten Schlachttierkörpern.

Der Median (Abb. 37) betrug bei der HK „E“ 0,50, bei den nicht stimulierten Schlachttieren der HK „U“ 0,54. In der Kohorte der stimulierten Schlachtschweine erbrachten die Tiere der HK „E“ einen Wert von 0,47, die der HK „U“ einen Wert von 0,48. Daraus errechnete sich eine Differenz von 0,05 (HK „E“) und 0,01 (HK „U“) bei den stimulierten Schlachttieren gegenüber den nicht stimulierten.

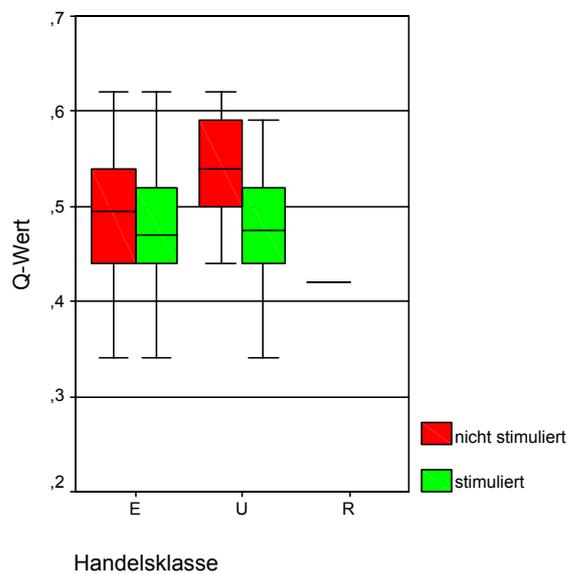


Abbildung 37: Q-Werte in Abhängigkeit von der Handelsklasse

4.4.1.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

An Arbeitstagen der MA 1 bis 3 konnte eine Gruppe nicht stimulierter Tiere in die Untersuchungen einbezogen werden (Tab. 41). An Schlachttagen an denen MA 1 beim Eintrieb in den Restraîner eingesetzt wurde in der Muskulatur der Schlachttiere ein mittlerer Q-Wert von 0,54, gegenüber einem Mittelwert von 0,47 (MA 2) und 0,50 an Einsatztagen von Mitarbeiter 3 gemessen. Es ergeben sich Unterschiede in den Mittelwerten ohne Stimulierung von bis zu 0,04 zwischen den von MA 1 und MA 3 betreuten Tieren, wobei die von MA 1 betreute Gruppe mit 0,54 den höchsten absolu-

ten Wert aufweist. Dieser Unterschied zeigte sich nicht mehr in den Maxima, die relativ einheitlich zwischen 0,60 (MA 2) und 0,62 (MA 1 und MA 3) liegen. Einzig von MA 2 konnte eine Gruppe stimulierter und nicht stimulierter Schlachttiere in Bezug auf die Untersuchung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit mit einbezogen werden (Abb. 38).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Personal	MA 1	Q-Wert	,54	,56	,42	,62	.	.	.	.
	MA 2	Q-Wert	,47	,48	,34	,60	,50	,50	,37	,59
	MA 3	Q-Wert	,50	,49	,40	,62	.	.	.	.
	MA 4	Q-Wert	.	.	.	.	.	.	.	.
	MA 5	Q-Wert	.	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 41: Q-Werte in Abhängigkeit vom Stallpersonal

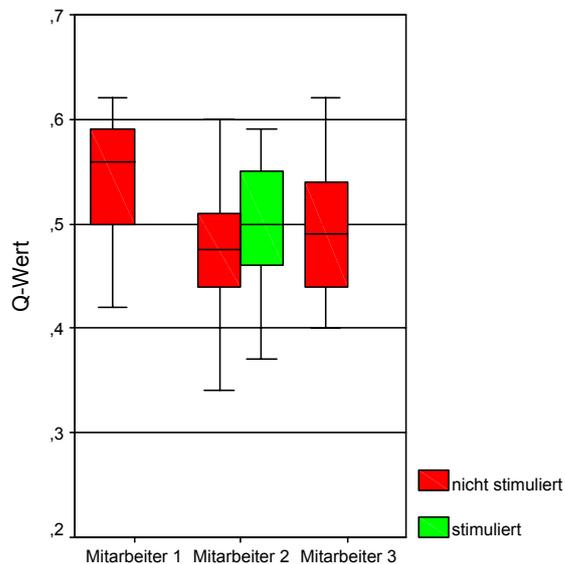


Abbildung 38: Q-Werte in Abhängigkeit vom Stallpersonal

Hierbei lag der Mittelwert mit Stimulierung (0,50) um 0,03 über dem ohne Stimulierung (0,47), ebenso der Median von stimulierten Tieren (0,50), der mit 0,02 über dem Median von nicht stimulierten Tieren ermittelt wurde (0,48).

An Schlachttagen mit erhöhtem, bzw. regulärem Wassereinsatz im Schlachtbetrieb, kurz vor dem Eintrieb in den Restrainer, wurde bei nicht stimulierten Schlachttieren ein mittlerer Q-Wert von 0,5 ermittelt, der sich mit dem Median identisch zeigte. Das Minimum lag bei 0,34, das Maximum bei 0,62. An Schlachttagen mit Elektrostimulation zeigte sich ein mittlerer Q-Wert von 0,5 bei geringem Wassereinsatz (n = 54) und ein Mittelwert von 0,46 bei Verwendung von viel Wasser (n = 122). Nach Elektrostimulation konnte bei sparsamem Wassereinsatz ein um 0,04 erhöhter Mittelwert errechnet werden (Tab. 42).

			Stimulierung							
			nicht stimuliert				stimuliert			
			Mittelwert	Median	Min.	Max.	Mittelwert	Median	Min.	Max.
Wasser- verbrauch	wenig Wasser	Q-Wert	.	.	.	.	,50	,50	,37	,60
	viel Wasser	Q-Wert	,50	,50	,34	,62	,46	,46	,27	,62

Tabelle 42: Q-Werte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

Die Minimalwerte der stimulierten Gruppe weichen um 0,1 voneinander ab (0,37 bei geringerem Einsatz, bzw. 0,27 bei großzügigem Einsatz von Wasser). Die maximalen Q-Werte an Tagen mit Stimulierung betragen 0,60 bei niedrigem Wasserverbrauch, bei Einsatz von mehr Wasser 0,62. Daraus errechnete sich eine Differenz von 0,02. Der Median an Schlachttagen mit Stimulierung liegt auf dem gleichen Niveau wie die Mittelwerte (Abb. 39).

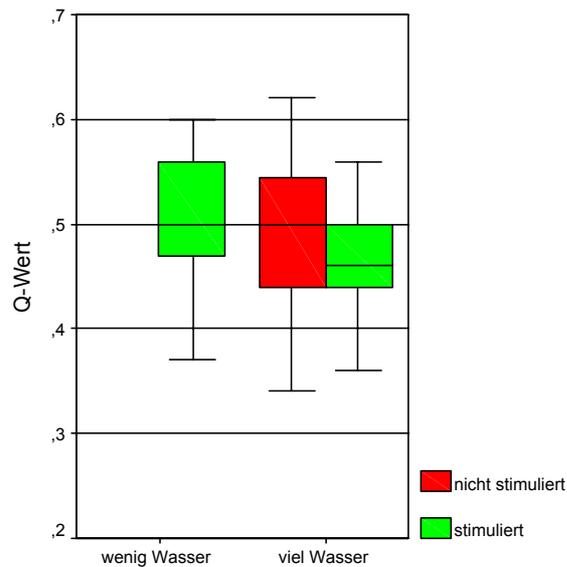


Abbildung 39: Q-Werte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch

4.4.2 Signifikanzen und Korrelationen

Die Q-Werte zeigten Normalverteilung (Anhang: Abb. 52 und 53). Die Überprüfung aller Q-Werte nach Stimulierung ließen signifikante Unterschiede zwischen den stimulierten und den nicht stimulierten Schlachttieren erkennen ($p = 0,022$).

4.4.2.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Die Auswertung der Q-Werte nach den Herkunftsbetrieben ergab eine Normalverteilung. Die Überprüfung nach der Stimulierung erbrachte innerhalb des Zulieferbetriebes 3 keine ($p = 0,349$), bei Schlachttieren aus den Betrieben 4-150 jedoch signifikante Unterschiede ($p = 0,021$).

Ohne Stimulierung konnten Untersuchungen bei Schlachttieren mit Herkunft aus den Betrieben 3 und 4-150 mittels T-Test überprüft werden. Hierbei unterschieden sich die Schlachttiere aus diesen zwei Betrieben nicht signifikant in ihren mittleren Q-Werten ($p = 0,513$). Mit Stimulierung konnte eine Gruppenbildung festgestellt werden, die sich signifikant unterschieden ($p = 0,200$). Betrieb 2 bildete eine Gruppe und

die Betriebe 1 und 3. Die Tiere mit Herkunft aus Betrieben 4-150 konnten Merkmale beider Gruppen aufweisen.

Die mittleren Q-Werte nach dem Geschlecht ausgewertet zeigten sich ebenfalls normal verteilt. Die Überprüfung mittels T-Testes ergab bezüglich der stimulierten männlichen und weiblichen Tiere keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,725$). Nicht stimulierte Schlachttiere konnten nicht in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

Zwischen den mit Handelsklasse „E“ und „U“ klassifizierten Schlachttiere fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Schlachttiergruppen im Vergleich von stimulierten Tieren der beiden Handelsklassen und unstimulierten Tieren ($p = 0,926$, bzw. $p = 0,120$). Innerhalb der Tiere der HK „E“ konnten nach Stimulierung keine ($p = 0,070$), innerhalb der HK „U“ signifikante Unterschiede ($p = 0,046$) in ihren mittleren Q-Werten in Bezug zu den nicht stimulierten Schlachttierkörpern beider Handelsklassen errechnet werden.

4.4.2.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

Mittels ANOVA wurde bei den nicht stimulierten Schlachttieren 2 Gruppen (MA 2, 3 und MA 1) ermittelt, die sich höchst signifikant unterschieden ($p = 0,000$). Von der Gruppe der stimulierten Schlachttierkörper konnten nur durch MA 2 betreute erfasst werden. Die von diesem Mitarbeiter eingetriebenen Schlachttiere erbrachten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich von stimulierten und nicht stimulierten Tieren ($p = 0,054$).

Die Q-Werte der Muskelproben des M. semimembranosus ergaben höchste Signifikanz unter hohem Wasserverbrauch an Schlachttagen mit Stimulierung gegenüber Schlachttagen ohne Stimulierung. Der Vergleich der stimulierten Schlachttiere in Bezug zur eingesetzten Menge an Wasser beim Eintrieb der Tiere in den Restrainer erbrachte ebenfalls höchste Signifikanz der unterschiedlichen Mittelwerte ($p = 0,000$).

Die Abhängigkeiten der Parameter der Schlachttiere lassen weder bei den stimulierten, noch bei den unstimulierten Schlachttierkörpern Aussagen zu (Anhang: Tab. 52).

Eine lockere Beziehung konnte zwischen dem Q-Wert und dem eingesetzten Stallpersonal an Schlachttagen ohne Stimulierung mit $r = -0,26$ ermittelt werden. Ebenso korrelierten die Q-Werte der stimulierten Gruppe nur lose mit dem Wasserverbrauch ($r = -0,31$). Die Korrelationen der Q-Werte mit den anderen Messgrößen wurden in Kapitel 4.1.2 (pH-Werte), 4.2.2 (Leitfähigkeitswerte) und 4.3.2 (Reflexionswerte) beschrieben.

5. Diskussion

Ziel der Elektrostimulierung ist die Beschleunigung der postmortalen Glykolyse und der daraus resultierende schnellere Eintritt des Rigor mortis. Dadurch können Schlachttierkörper schneller gekühlt und die Wirtschaftlichkeit eines Schlachtbetriebes gesteigert werden ohne Cold-shortening befürchten zu müssen. Andererseits muss mit der Elektrostimulierung unbedingt eine schnelle Kühlung angestrebt werden, da falls die Temperatur bei Eintritt der Totenstarre noch über 20 °C bei einem pH von 5,7 bis 6,0 liegt, dieses Fleisch ähnlich des Cold-shortenings eine erhöhte Zähigkeit in Verbindung mit einem hohen Kochsaftverlust aufweist (PEARSON und YOUNG, 1989). Anhand der Vorbedingungen der eigenen Untersuchung (Temperatur von bis zu 43 °C 30 min p.m., in Verbindung mit einem pH-Wert < 5,7) konnte beobachtet werden, dass zu einem großen Prozentsatz der Rigor mortis bei den Schlachttierkörpern vor Beginn der Kühlperiode schon ausgeprägt war. SCHWÄGGELE (1993 und 1999) beschreibt ebenfalls die Notwendigkeit einer schnellen Kühlung, vor allem bei Schweineschlachttierkörpern, die schon per se eine schnellere Glykolyse als Wiederkäuer haben. Die im M. long. dorsi erheblich schnellere Temperaturabsenkung bewirkte möglicherweise eine Verminderung der strukturellen Muskelveränderungen im Gegensatz zum M. semimembranosus, was auch eine Erklärung für den verzögerten Abfall des pH-Wertes zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt darstellen würde. Die Strukturveränderungen, welche durch eine hohe Temperatur der Schlachttierkörper 30 Minuten post mortem und den Laktanstieg hervorgerufenen wurden, konnten durch die Temperaturabsenkung während der Kühlphase teilweise wieder rückgängig gemacht werden. REES et al. (2003 a) wiesen nach, dass bei den stimulierten Schlachttierkörpern von Schweinen im M. long. dorsi der End-pH nach 2 Stunden erreicht war, bei den unstimulierten Tierkörpern jedoch erst nach 12 Stunden. In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich anhand der pH-Werte im Gegensatz dazu, dass der mittlere pH-Wert mit Stimulierung erst nach 12 Stunden seinen Tiefpunkt erreicht hatte und ohne Stimulierung bis 18 h post mortem weiter absank. Im untersuchten Schlachtbetrieb waren die Kühlbedingungen für die frühpostmortale Fleischreifung optimiert. Daraus ist zu erklären, dass die Absenkung des mittleren pH-Wertes langsamer stattfand als in REES' Untersuchungen und in der vorliegenden Untersuchung eine längere Dauer bis zum Erreichen des End-pH-Wertes ermöglichte. MÄNNL (1994) beschrieb eine Beschleuni-

gung der Glykolyse nach elektrischer Betäubung in Verbindung mit der genetischen Disposition und der Vorbehandlung der Tiere während des Transportes und im Schlachtbetrieb, worauf noch näher eingegangen werden soll.

Schon SPECHT und KUNIS (1989) und GEROLD (1993) wiesen nach, dass die Elektrostimulierung eine Absenkung des pH-Wertes mit doppelter Geschwindigkeit gegenüber unstimulierten Schlachttieren bewirkt. Gerold führte seine Untersuchungen bei Rindern durch, die üblicherweise mittels Bolzenschusses betäubt werden. Beim Schwein wird in den meisten Fällen die Elektrobetäubung bevorzugt. REES et al. (2003 a) stellten die Auswirkungen der Elektrostimulierung auf den pH-Wert bei ihren Untersuchungen einer Gruppe stimulierter und nicht stimulierter Tiere dar (mit Elektrobetäubung und CO₂-Betäubung). Ihre Aussagen konnten insoweit bestätigt werden, dass durch die Elektrostimulierung die Schlachttiere einem Stromfluss ausgesetzt werden, der vermutlich in Verbindung mit der Stimulierung einen zu starken Einfluss auf den schnelleren Abfall des pH-Wertes hat.

5.1 pH-Wert

Die Untersuchungen sollten sich möglichst reibungslos in den täglichen Schlachtbetrieb eingliedern. Durch die Anlieferung kleinerer und größerer Tiergruppen wurde schon bei der Versuchsplanung deutlich, dass die Erfassung der Vorbedingungen nur in Einzelfällen möglich ist.

5.1.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Von drei Mastbetrieben konnten Informationen über die Rasse, die Aufzucht, den Transport und die Aufstallung im Schlachtbetrieb in Erfahrung gebracht werden (Tab. 43). In „Betrieb 4-150“ wurden alle Schlachttiere der anderen Zulieferbetriebe zusammengefasst.

Herkunfts-betrieb	Mastplätze	Transport-dauer	Ausruhezeit im Schlachtbetrieb	Rasse
Betrieb 1	2000	30 min	< 1 h	Bayerische Hybridzucht
Betrieb 2	1600	45 min	ca. 4 h	Bundeshybridzucht
Betrieb 3	900	40 min	ca. 4 h	Dänische Hybridzucht

Tabelle 43: Herkünfte der untersuchten Einzelbetriebe

REES et al. (2003 b) konnten bei ihrer Untersuchung keine Beeinflussung der Schweinefleischqualität unter Elektrostimulation in Bezug auf ein erhöhtes Vorkommen von PSE-Eigenschaften von Schlachtschweinen feststellen. Die Autoren prüften Schlachttierkörper der Kreuzung LW*LR, die nicht zur Ausbildung von wässrigem Fleisch neigt. Dieses Ergebnis kann hier nicht bestätigt werden, da bei allen Herkunftsbetrieben eine erhebliche Steigerung des Anteils an PSE-Fleisch nach Stimulierung eindeutig nachweisbar war. Die Stimulierung hatte einen stark fördernden Einfluss auf einen schnelleren Ablauf der postmortalen Glykolyse, der sich unterschiedlich stark bei verschiedenen Herkunftsbetrieben ausprägte.

PIEPER stellte 1993 Grenzwerte für die Differenzierung von PSE zu Nicht-PSE Fleisch für den Leitparameter pH-Wert im M. long. dorsi auf. In seinen Untersuchungen bezog er sich auf die pH-Messung 30 min post mortem (Tab. 44).

Herkunftsbetrieb	nicht stimuliert	stimuliert	Faktor
Betrieb 1	12,9	69,2	5,4
Betrieb 2	6,7	19,2	2,9
Betrieb 3	(12,5)	51,0	(4,1)
Betrieb 4-150	9,1	56,6	6,2
GESAMT	9,4	55,1	5,9

Tabelle 44: Anteil an Schlachttierkörpern mit PSE-Eigenschaften in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb in %

In der Gesamtheit der Probanden ohne Berücksichtigung anderer Faktoren erhöhte sich im täglichen Schlachtroutinebetrieb der Anteil der Schlachtschweine mit deutlichen PSE-Merkmalen nach Einsatz der Elektrostimulierung um das 6-fache. Bezüglich der Ausprägung von DFD-Eigenschaften bei den Schlachttierkörpern konnte ebenso wie in den Berichten anderer Autoren (N.N., 2003 b) kein vermehrtes Auftreten, weder bei stimulierten noch bei unstimulierten Schlachttierkörpern, festgestellt werden.

Bei den untersuchten Schlachttieren des Herkunftsbetriebes 1 (BayHZZ) zeigten sowohl die stimulierten, als auch die nicht stimulierten Schlachttierkörper den höchsten Anteil an PSE-Eigenschaften in der Muskulatur. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen kamen Littmann und seine Mitarbeiter im 5. Bayerischen Stichprobentest (N.N., 2003 b) bei ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass bei Bayernhybriden mit der Vaterrasse Piétrain in der Gesamtheit der untersuchten Schlachtschweine nur 3% der Tiere unter den kritischen Bereich $pH_1 < 5,8$ fallen. Die Aufenthaltsdauer der Schlachttiere im Schlachtbetrieb war bei den Schlachttieren aus Betrieb 1 erheblich kürzer als bei den Herkunftsbetrieben 2 und 3. OWEN (2000) hält eine Standzeit im Schlachtbetrieb von 1 Stunde für optimal für die Fleischqualität. PEREZ et al. (2002) konnten darstellen, dass eine gewisse Erholung der Schlachttiere auf dem Transportfahrzeug stattfindet. Nach ihren Untersuchungen sind Unterschiede, die sich durch die unterschiedliche Transportdauer ergeben, nach 2 - 4 Stunden Aufstallung wieder ausgeglichen. Von dem Gesichtspunkt der Fleischqualität aus scheint die Aufenthaltsdauer im Schlachtbetrieb bei den Schweinen von Betrieb 1 zu kurz gewesen zu sein, um eine Erholung der Schweine vom Transportstress zu gewährleisten (Tab. 43), dadurch kann der hohe Anteil an Schlachttierkörpern mit PSE-Eigenschaften bei nicht stimulierten Schlachttieren erklärt werden. Somit wird eine längere Standzeit im Schlachtbetrieb, wie auch PEREZ et al. beschrieben, favorisiert.

HONIKEL führte bereits 1995 Untersuchungen im M. long. dorsi bei Schlachtschweinen des BHZZ durch und stellte fest, dass in keinem der untersuchten Fälle mit PSE-Rückenmuskel zu rechnen sei. Herkunftsbetrieb 2 mästet Schweine dieser Herkunft. Die Schlachttiere aus dem Bundeshybridzuchtprogramm zeigten hier eine deutlich höhere Stressresistenz als die Schlachttiere der anderen Markenzuchtprogramme und wiesen stimuliert aber auch unstimuliert den geringsten Anteil an Schlachttier-

körpern mit PSE-Eigenschaften auf. Die Aussage von HONIKEL (2002 c), dass die Elektrostimulierung beim Schwein statt zartem Fleisch PSE-Fleisch erzeuge, konnte auch anhand der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden.

Aus dem Zulieferbetrieb 3 (DänHZP) müsste noch eine größere Anzahl unstimulierter Schlachttiere untersucht werden, diese Daten sind nur orientierend zu bewerten. Nach den Untersuchungen der LPA Köllitz (N.N., 2002 a) weisen Nachkommen der Rassen Duroc und Yorkshire gemessen am pH_1 und der Fleischfarbe bessere Fleischqualität als Nachkommen der Rasse Piétrain auf. Dies konnte bei den Schlachttierkörpern des Betriebes 3 nicht bestätigt werden. In Abhängigkeit von den Herkunftsbetrieben wurde bei den nicht stimulierten Schlachttierkörpern kein Unterschied in der Fleischqualität zwischen den Schlachttieren aus den Markenzuchtprogrammen (Betriebe 1 - 3) und der Gesamtheit aller Schlachttiere, die in einem Schlachtbetrieb geschlachtet werden, nachgewiesen (Betrieb 4-150).

BROWKER et al. (1999) wiesen bei ihren Untersuchungen verschiedener Schweine-rassen eine Überlagerung genetisch bedingter Unterschiede der Schlachtschweine durch die Elektrostimulierung nach. Die Autoren konnten nach Stimulierung keine signifikanten Unterschiede in den Rassen mehr feststellen, ein Ergebnis, das durch die vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt wurde. BROWKER et al. kamen auch zu dem Ergebnis, dass sich mittels Elektrostimulierung ausgezeichnet PSE-Fleisch darstellen lasse. Diese Endaussage konnte bestätigt werden, jedoch zeigten sich deutliche Unterschiede in den $\text{pH}_{0,5}$ -Werten nach Stimulierung in Abhängigkeit von den Zulieferbetrieben. Die Beschleunigung der postmortalen Glykolyse beschreibt auch MÄNNL (1994) in Verbindung mit der elektrischen Betäubung und der Vorbehandlung bei Schlachtschweinen. Eine spätpostmortale Absenkung des pH-Wertes, wie sie bei Schweinen der Rasse Hampshire (Hampshireeffekt) auftrat, konnte bei keinem der untersuchten Schlachttierkörper festgestellt werden. Daraus ist der Erfolg der Markenzuchtprogramme, die ihr Ziel nicht nur auf größere Fleisch-masse sondern auch auf Qualität in Bezug auf die Stresstabilität fokussieren, deutlich ersichtlich.

Bei den Messungen im M. semimembranosus waren Rasseunterschiede auch nach Stimulierung im gesamten Messzeitraum deutlicher als im M. long. dorsi zu erken-

nen. Eine Erklärung könnte die Bedeutung der durch den Schlachttierkörper fließende Strommenge sein. Das Anschlingen an der linken Hintergliedmaße bewirkt einen zielgerichteten Abfluss des Stromes während der Stimulierung von der rechten Brustwand in die linke Hintergliedmaße. Aus diesem Grund wurde der M. semimembranosus nicht im gleichen Maße stimuliert und zeigte dadurch noch pH-Wert-Unterschiede zwischen den einzelnen Betrieben, die im M. long. dorsi nicht mehr zu erkennen waren. Vergleichbar zu den Ergebnissen der pH-Messung im M. long. dorsi waren jedoch die unterschiedlichen Messwerte des M. semimembranosus innerhalb eines Herkunftbetriebes zwischen stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren eines Zulieferbetriebes, wonach die Stimulierung eine schnellere Glykolyse bedingte und die Entstehung von PSE-Eigenschaften begünstigte.

In Abhängigkeit vom Geschlecht waren keine Unterschiede in den mittleren pH-Werten der Muskulatur nachzuweisen, weder an Tagen ohne, noch an solchen mit Stimulierung. BRANSCHIED et al. (1998) fanden bei ihren Untersuchungen ebenfalls keine signifikanten Differenzen in der Häufigkeit von Fleischbeschaffenheitsfehlern bei männlichen, weiblichen und kastrierten Schlachttierkörpern von Schweinen. Die Stimulierung bewirkte bei beiden Geschlechtern in gleichem Maße einen schnelleren Ablauf der Glykolyse. Im Gegensatz dazu fanden SPECHT und KUNIS (1989) einen deutlichen Unterschied in den pH-Werten männlicher gegenüber weiblichen Schlachtrindern, die eine deutlich langsamere Glykolyse nach Stimulierung zeigten.

Bei den nicht stimulierten Schlachttieren konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Handelsklassen „E“ und „U“ ermittelt werden, wobei die Schlachttiere der Handelsklasse „E“ den niedrigeren $\text{pH}_{0,5}$ aufwiesen. Die Handelsklasse hatte demnach einen direkten Einfluss auf die zu erwartende Fleischqualität in Bezug auf die Wässrigkeit, wobei die Schlachttiere der HK „E“ einen höheren Anteil an Fleisch mit PSE-Eigenschaften erwarten ließen. Nach Stimulierung waren anhand den $\text{pH}_{0,5}$ -Werten der M. long. dorsi und M. semimembranosus der Schlachttierkörper keine Unterschiede in Abhängigkeit von den Handelsklassen erkennbar. Die Stimulierung bewirkte demnach eine Beschleunigung der Glykolyse, welche die Unterschiede in den Handelsklassen nivellierte.

5.1.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

WOLTERS DORF (1994) stellte allgemein fest, dass der Zutrieb einen erheblichen Anteil an den postmortalen Abweichungen in der Fleischqualität ausmacht. In der vorliegenden Untersuchung fanden sich ohne Stimulierung erhebliche Unterschiede in der Fleischqualität in Abhängigkeit vom eingesetzten Mitarbeiter in beiden untersuchten Muskeln. Bis 12 Stunden nach der Schlachtung waren noch deutliche Unterschiede zwischen den Schlachttieren in Abhängigkeit zum Personal zu erkennen. An Schlachttagen mit Stimulierung glichen sich diese Unterschiede im pH-Wert an. Daraus lässt sich schließen, dass die Einflüsse durch das Stallpersonal auf die Fleischqualität nach der Stimulierung nicht mehr zu erkennen sind. Werden die mittleren pH-Werte der vom gleichen Mitarbeiter betreuten Schlachttiere betrachtet, konnte ein unterschiedlich schneller Abfall bei stimulierten und nicht stimulierten Schlachttieren nachgewiesen werden. Die größten Differenzen wiesen die Schlachttierkörper der Tiere, die von Mitarbeiter 2 und 5 betreut wurden auf. An diesen Schlachttagen war auch die Erfassung des Mitarbeiters im Stallbereich möglich. Die stimulierten Schlachttierkörper von Mitarbeiter 2 zeigten den schnellsten postmortalen Abfall des $\text{pH}_{0,5}$ -Wertes in der Muskulatur auf einen gleichen Wert wie von MA 5. Durch die Elektrostimulierung wird die Glykolyserate auf ein Maximum beschleunigt, die Ausprägung von PSE-Fleisch forciert und Unterschiede in der Behandlung der Schlachttiere beim Eintrieb nicht mehr erkennbar.

Mitarbeiter 5 zeichnet sich für einen besonders schonenden und ruhigen Umgang mit den Schlachttieren und den äußerst seltenen Einsatz der elektrischen Treibhilfe aus. An Schlachttagen an denen MA 5 für den Eintrieb verantwortlich zeichnete, war MA 2 für das Abladen und Treiben im Stallbereich zuständig. Die Schlachttiere, die von Mitarbeiter 5 betreut wurden zeigten den höchsten Anteil an wässrigem Fleisch, im Gegensatz zu den von Mitarbeiter 2 eingetriebenen Schlachttieren, die die höchsten pH-Werte erbrachten. Demnach ist der Status der Schlachttiere vor dem Eintrieb in den Restrainer von entscheidender Bedeutung. Transport, Aufstallung und Behandlung der Schlachttiere im Anliefer- und Stallbereich haben größeren Einfluss auf die resultierende Fleischqualität als der Eintrieb selbst.

Einen bedeutenden Einfluss hatte die eingesetzte Wassermenge mit der die Schlachttiere vor dem Eintrieb in den Restrainer befeuchtet wurden. Unter Verwendung von viel Wasser (zusätzlicher Einsatz eines Schlauches kurz vor Eintritt in den Restrainer zur Befeuchtung der Schlachttiere) an Schlachttagen mit Stimulierung zeigte sich ein langsamerer pH-Wert-Abfall in beiden Muskeln als bei sparsamem Wasserverbrauch. Dieser Effekt könnte durch die Ableitung des Stromes, verursacht durch die verbleibende Feuchtigkeit im Restrainer beim Ansatz der Kondensatoren am Schlachttier, erklärt werden. Dadurch wird die durch das Schlachttier fließende Gesamtstrommenge vermindert und es resultiert eine verminderte Muskelaktivität der Schlachttiere, die sich in einer niedrigeren Muskeltemperatur und einer langsameren postmortalen Glykolyse äußert.

In der Gruppe der mit viel Wasser geschlachteten stimulierten und nicht stimulierten Tiere, bewirkte die Elektrostimulierung wieder eine maximale Erhöhung der Geschwindigkeit der Glykolyse und die Ausprägung von einem höheren Anteil an wässrigem Fleisch. Die Menge des Brauchwassers im Stall hat unter Elektrostimulierung zu jeder Zeit eine Auswirkung auf die spätere Fleischqualität, dergestalt, dass die Schlachtung unter Verbrauch von viel Wasser zu einer besseren Fleischqualität in Bezug auf die PSE-Eigenschaften führt.

5.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit zeigten bei stimulierten und nicht stimulierten Schlachttierkörpern ihr Maximum zum Zeitpunkt der 3. Messung (12 h p.m.). Der anschließende Abfall der LF-Werte kann durch den steigenden Wassergehalt im Gewebe erklärt werden. Hierdurch wird das Medium mit den gut stromleitenden organischen Säuren stark verdünnt und es kommt zu einer Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit. Damit kann auch der höhere Wert nach Elektrostimulierung erklärt werden, da hier der extrazelluläre Wassergehalt durch das Aufbrechen der Zellmembranen mehr steigt als ohne Stimulierung.

Die Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen werden unterschiedlich bewertet. Nach Meinung verschiedener Autoren (SCHWÄGELE, 1993; SCHMIDTKE, 2002) ist die

Messung der Leitfähigkeit frühestens nach 1,5 h p.m. ein probates Mittel zur Differenzierung von PSE- und Normalfleisch. Ebenso beschreibt FISCHER (1986) die geringe Aussagekraft bei den Messungen der elektrischen Leitfähigkeit wenige Minuten bis Stunden nach der Schlachtung. Die Elektrostimulierung zeigte jedoch im untersuchten Schlachtbetrieb bereits 30 min p.m. deutliche Auswirkungen auf den Leitfähigkeitswert, die eine protrahierte Zerstörung der Zellmembranen und damit eine erhöhte Wässrigkeit der Muskulatur erkennen ließen. Dies äußerte sich in einem deutlichen Anstieg der mittleren LF-Werte gegenüber denen der nicht stimulierten Schlachttierkörpern und wurde bis zum letzten Messzeitpunkt nachgewiesen. Somit konnte bis 18 Stunden p.m. die Art der Schlachtung (stimuliert oder nicht stimuliert) bestimmt werden. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von HONIKEL (1995), der in seinen Untersuchungen einen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit in der Muskulatur von Schweineschlachttierkörpern frühestens 45 min post mortem feststellte. Die Leitfähigkeitswerte waren durch eine große Spannbreite gekennzeichnet. Eine Einteilung der Schlachttierkörper zum ersten Messzeitpunkt anhand des Leitfähigkeitswertes in einer der Gruppen (PSE oder Nicht-PSE) erscheint aus diesem Grund nicht sinnvoll.

Bestätigt werden konnten die Messungen von SCHWÄGELE (1993) der die Auswirkungen des effizienteren Schockkühlens auf den Leitfähigkeitswert beschrieb. Nach seinen Untersuchungen fielen dabei die Höchstwerte niedriger als bei konventioneller Kühlung aus. KIRCHHEIM et al. (2001) fanden bei der Messung des pH_{1-} Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit 24 h p.m. eine mittlere Korrelation. Wie sich in den vorliegenden Untersuchungen zeigte konnte ebenfalls eine mittlere Korrelation der Leitfähigkeit zum $\text{pH}_{0,5}$ ermittelt werden, die sich unter Stimulierung noch ausgeprägter darstellte. Durch die Elektrostimulierung wurden Unterschiede der verschiedenen Einflussfaktoren, die bei den pH-Werten nicht mehr zu Tage traten, deutlich.

5.2.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

An Schlachttagen ohne Stimulierung konnten bei den Schlachttieren aus dem Bundeshybridzuchtprogramm (Betrieb 2) deutlich niedrigere anfängliche Leitfähigkeitswerte als bei den anderen Betrieben (Betriebe 1, 3 und 4-150) gemessen werden.

Wie bei den Ergebnissen der pH-Werte zeigte die längere Ausruhezeit und die Rasse (BHZP) der Schlachttiere einen positiven Einfluss auf die zu erwartende Fleischqualität.

Bei den stimulierten Schlachttierkörpern konnten schon 30 Minuten post mortem deutliche Unterschiede gemessen werden, vor allem zwischen den Herkunftsbetrieben 1 (BayHZP) und 2 (BHZP), die sich bis 12 h p.m. noch deutlicher darstellten. Die Schlachttierkörper aus Betrieb 1 zeigten die höchsten durchschnittlichen Leitfähigkeitswerte und wiesen somit auf einen erhöhten Anteil an extrazellulärem Wasser hin. Dieses Ergebnis konnte durch die Messung des pH-Wertes bekräftigt werden, wobei Schlachttiere aus Betrieb 1 (BayHZP) den niedrigeren pH-Wert aufwiesen und somit Fleisch mit deutlicheren PSE-Eigenschaften zeigten. Die Schlachttiere aus den Herkunftsbetrieben 2 und 4-150 unterschieden sich ebenfalls deutlich im gesamten Verlauf der frühpostmortalen Fleischreifung in ihren mittleren Leitfähigkeitswerten. Dabei kann wieder eine Beziehung zum pH-Wert des *M. longissimus dorsi* gefunden werden, bei dem die Schlachttiere aus Betrieb 2 einen langsameren Abfall des pH-Wertes in den ersten 30 Minuten post mortem zeigten, also weniger Schlachttiere mit PSE-Eigenschaften aufwiesen.

Im Forchheimer Stichproben test (N.N., 2003 c) wurde ein deutlicher Unterschied zwischen dem mittleren Leitfähigkeitswert von Kastraten und weiblichen Tieren 20 Stunden post mortem ermittelt. In der vorliegenden Untersuchung konnte das für den Zeitraum bis 12 Stunden nach der Schlachtung nicht bestätigt werden. Das Geschlecht der Schlachttiere hatte keinen Einfluss auf die Entwicklung der Leitfähigkeitswerte, bzw. der daraus folgenden Fleischqualität post mortem.

An Schlachttagen ohne Stimulierung hatte die Handelsklasse (HK „E“ und „U“) im Mittelwert keinen Einfluss auf die Entwicklung der mittleren Leitfähigkeitswerte. Nur in Einzelfällen konnten deutliche Unterschiede festgestellt werden und wiesen eine höhere Wässrigkeit der Schlachttiere der HK „E“ nach. Mit Stimulierung konnten bereits 30 Minuten p.m. signifikante Unterschiede zwischen den beiden Handelsklassen ermittelt werden, das heißt, dass sich nach Stimulierung Unterschiede in der Fleischqualität erheblich deutlicher auf den Leitfähigkeitswert auswirken als bei den anderen gemessenen Parametern. Im Vergleich der stimulierten zu den nicht stimulierten

Schlachttieren fand sich in jedem Fall deutliche erhöhte Leitfähigkeitswerte unter Einsatz der Stimulierung.

5.2.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

Schon 30 Minuten nach der Schlachtung, sowohl bei stimulierten als auch bei nicht stimulierten Schlachttierkörpern, konnten Unterschiede in den Leitfähigkeitswerten der Schlachttiere an den Arbeitstagen von Mitarbeiter 1 - 5 nachgewiesen werden. Zur Beurteilung der Fleischqualität sollen jedoch die Messungen 4 h post mortem herangezogen werden, welche die deutlichsten Tendenzen aufzeigten. Analog zu den Ergebnissen der pH-Wert-Messung zeigten die Schlachttiere, die von Mitarbeiter 5 betreut wurden den höchsten Anteil an wässrigem Fleisch, im Gegensatz zu den von Mitarbeiter 2 eingetriebenen Schlachttieren, die die niedrigsten Leitfähigkeitswerte erbrachten. Dies bestätigte die Ergebnisse der pH-Messungen, wonach der Status der Schlachttiere vor dem Eintrieb in den Restrainer von entscheidender Bedeutung ist (Kap. 5.1.2).

Die Messungen der Leitfähigkeit konnten bestätigen, dass die Schlachttierkörper in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch unter Verwendung von viel Wasser eine bessere Fleischqualität aufwiesen. Auch hier kann die Erklärung wie beim pH-Wert gefunden werden (Kap. 5.1.2). Wurde beim Eintrieb viel Wasser verwendet konnten zu allen Zeiten nach Einsatz der Elektrostimulierung höhere Leitfähigkeitswerte als bei der nicht stimulierten Gruppe nachgewiesen werden. Nach der Stimulierung zeigte die Muskulatur der Schlachttiere wiederum eine höhere Wässrigkeit.

5.3 Reflexion

Durch die Elektrostimulierung zeigte sich in der gesamten untersuchten Kohorte ein stark vermehrtes Auftreten von hellerem und damit wässrigerem Fleisch, was sich in erheblich erhöhten Reflexionswerten nach Stimulierung äußerte. Eine Beurteilung der Fleischqualität im Vergleich der stimulierten zu den nicht stimulierten Schlachttierkörpern war zu einem hohem Prozentsatz schon zu diesem Zeitpunkt (35 min

p.m.) möglich, vor allem in Verbindung mit der palpatorischen Überprüfung des Rigor mortis und der Adspektion des Tierkörpers. So wird es dem geübten Untersucher jederzeit möglich PSE-Fleisch von Nicht-PSE-Fleisch am Schlachtband noch vor der Kühlung zu unterscheiden.

5.3.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

Bei den unstimulierten Schlachttierkörpern war beim Parameter Reflexion ein deutlicher Einfluss der Herkunft der Schlachttiere erkennbar. Die Schlachttiere aus Betrieb 1 (BayHZP) und 2 (BHZP) wiesen demnach das hellste Fleisch auf. Bei den Schweinen des Betriebes 2 konnte dies anhand des pH-Wertes nicht nachvollzogen werden. Eine Erklärung wäre der Einsatz von schnellwüchsigen Fleischrassen, die an sich schon über helleres Fleisch verfügen, im Gegensatz zu den anderen Zuchtprogrammen, ohne negative Auswirkungen auf den pH-Wert. Die erhöhte Wässrigkeit bei den Schlachttieren aus Betrieb 1 kann über die fehlende Ausruhezeit im Schlachtbetrieb erklärt werden. Die Schweine des Dänischen Hybridzuchtprogrammes zeigten den geringsten Anteil an hellem Fleisch auf. Dies wird auf die Qualität des Zuchtprogrammes und auf die längere Ausruhezeit vor dem Eintrieb zur Schlachtung zurück geführt. Es konnte festgestellt werden, dass bei den nicht stimulierten Schlachttieren mit Herkunft aus den Betrieben 4-150, ohne Information über die Herkunft der Schweine, die Spannweite der Reflexionswerte bei den nicht stimulierten Schlachttieren am Größten ist. Als Ursache dafür ist der Anteil an Schweinen unterschiedlichster Rassen, die nicht aus Markenzuchtprogrammen stammen und durch die unterschiedlichen Aufzucht-, Haltungs- und Transportbedingungen verursacht wird zu nennen.

Nach Einsatz der Elektrostimulation konnten bei den Schlachttieren der verschiedenen Herkünfte keine signifikanten Unterschiede mehr im mittleren Reflexionswert erkannt werden. Daraus kann geschlossen werden, dass die Elektrostimulation einen Einfluss auf die Farbreflexion ausübt, der die Rasse, Aufzucht- und Haltungsbedingungen überdeckt. Durch die Elektrostimulation resultierte bei allen Herkünften der Schlachttiere gleichermaßen helleres und damit wässrigeres Fleisch.

Das Geschlecht der Schlachttiere hatte keinen Einfluss auf den Reflexionswert und die Ausprägung von hellem Fleisch, weder mit noch ohne Stimulierung. Nach Elektrostimulierung der Karkassen musste demzufolge helleres Fleisch bei männlichen und weiblichen Schlachttieren gleichermaßen erwartet werden, als bei Schlachttieren die nicht stimuliert wurden, was sich durch die ermittelten Reflexionswerte bestätigte.

Der Reflexionswert zeigte mit und ohne Stimulierung keine Unterschiede zwischen den beiden Handelsklassen „E“ und „U“. Die Stimulierung verursachte bei beiden Handelsklassen eine einheitlich hellere Muskulatur und somit erhöhte Wässrigkeit der Schlachttierkörper.

5.3.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

In Abhängigkeit vom Personal fanden sich Unterschiede in den Reflexionswerten, wobei die Schlachttiere an Arbeitstagen von MA 5 den höchsten und an Arbeitstagen von MA 2 den niedrigsten Reflexionswert aufweisen konnten. Dies entspricht den tendenziellen Ergebnissen der pH- und Leitfähigkeitsmessung. Der Einsatz der Elektrostimulierung beeinflusste den mittleren Reflexionswert so, dass keine Unterschiede zwischen den Schlachttierkörpern der verschiedenen Mitarbeiter mehr erkennbar waren und bei allen Mitarbeitern deutlich helleres Fleisch nach Stimulierung resultierte.

Die Auswirkung der eingesetzten Wassermenge zur Befeuchtung der Schweine beim Eintrieb der Tiere in den Restrainer konnte nur an Schlachttagen mit Elektrostimulierung erfasst werden. Es zeigte sich, dass der Wasserverbrauch in den Reflexionswerten an sich geringe Unterschiede in der Schlachttechnologie deutlich werden lässt. Bei erhöhtem Wassereinsatz hatten die stimulierten gegenüber den nicht stimulierten Schlachttierkörpern eine erhebliche hellere Fleischfarbe. So konnte wie bei den anderen Parametern unter dem Gesichtspunkt der eingesetzten Wassermenge ein deutlicher Einfluss der Elektrostimulierung in Verbindung mit einer daraus resultierenden höheren Wässrigkeit nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu der von HONIKEL (1995) beschriebenen relativ engen Beziehung zwischen Farbreflexion und der Leitfähigkeit im M. long. dorsi konnte in der vorliegenden Untersuchung nur eine mittlere Korrelation gefunden werden. Als Ursache kann die frühe Messung am Schlachtband genannt werden. Der Reflexionswert zeigte an verschiedenen Schlachttagen differierende Werte, dient alleine jedoch als gute Orientierung bei der Qualitätseinstufung des Schweinefleisches.

5.4 Auspressbare Gewebsflüssigkeit

Werden die untersuchten Schlachtierkörper in ihrer Gesamtheit betrachtet, so konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Tagen mit und ohne Stimulierung nachgewiesen werden. Das Fleisch der Schlachttiere an Tagen mit Stimulierung weist einen erniedrigten Q-Wert gegenüber den Schlachtieren an Tagen ohne Stimulierung auf, was auf einen höheren Anteil an auspressbarer Gewebsflüssigkeit hindeutet.

5.4.1 Einfluss durch individuelle Faktoren der Schlachttiere

An Schlachttagen ohne Stimulierung konnte mittels des Q-Wertes keine Aussage über die Herkunft der Schlachttiere getroffen und auf eine variierende Ausprägung von wässrigerem Fleisch im M. semimembranosus geschlossen werden. Nach Elektrostimulierung konnten Unterschiede der einzelnen Zulieferbetriebe erkannt werden, die sich jedoch nicht mit den Ergebnissen der Messungen des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit deckten. Die Q-Werte wiesen eine breite Streuung und nur geringe Unterschiede zwischen Tagen mit und ohne Stimulierung auf. Aus diesem Grund konnten die ermittelten Ergebnisse nur orientierend interpretiert werden.

Die Auswertung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit in Abhängigkeit zum Parameter Geschlecht konnte nur an Schlachttagen mit Stimulierung durchgeführt werden. Hierbei zeigte sich wieder, wie schon bei den anderen Parametern, dass Kastraten und weibliche Schlachttiere keine Unterschiede in der Fleischqualität aufwiesen.

Beim Vergleich der Handelsklassen „E“ und „U“ konnte sowohl bei den stimulierten, als auch bei den nicht stimulierten Schlachttierkörpern, kein Hinweis auf den Einfluss einer Handelsklasse auf die zu erwartende Wässrigkeit des Fleisches erbracht werden. Nach Stimulierung zeigten die Schlachttiere der HK „U“ gegenüber den nicht stimulierten Schlachttieren einen höheren Anteil an auspressbarer Gewebsflüssigkeit dieser Handelsklasse. Im Gegensatz dazu wurde bei den mit „E“ klassifizierten Schlachttieren kein Einfluss der Stimulierung deutlich. Dieses Ergebnis korrelierte mit der Messung des pH-Wertes. Im Zeitraum von 30 Minuten bis 4 Stunden post mortem wurde ein größerer pH-Wert Abfall nach Stimulierung bei Schlachttieren der HK „U“ ermittelt als bei den Schlachttierkörpern der HK „E“. Demnach wiesen Schlachttiere aus beiden Handelsklassen eine einheitliche Ausprägung erhöhter Wässrigkeit auf.

5.4.2 Einfluss durch Faktoren des Schlachtbetriebes

In Bezug auf den Parameter Personal konnten keine Unterschiede in der Wässrigkeit bei nicht stimulierten Karkassen festgestellt werden. Von Mitarbeiter 2 wurde eine Gruppe stimulierter und nicht stimulierter Schlachttiere in die Untersuchungen miteinbezogen, wobei sich keine Auswirkungen der Stimulierung auf die Wässrigkeit des Fleisches über die Ermittlung des Q-Wertes nachweisen ließ.

In Abhängigkeit vom Wasserverbrauch konnte je eine Vergleichsgruppe Schlachttiere unter Verwendung von viel und von wenig Wasser an Tagen mit Stimulierung untersucht werden. Unter Berücksichtigung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit führte der erhöhte Einsatz von Wasser vor dem Eintrieb zu einem vermehrten Auftreten von wässrigerem Fleisch. Dies stand im Widerspruch zu den Messungen des pH-Wertes, demzufolge die Verwendung von viel Wasser positive Einflüsse zur reduzierten Ausprägung von PSE-Eigenschaften der Schlachttiere hatte. Beim Vergleich der Schlachttiere die unter erhöhtem Wasserverbrauch an Tagen mit und ohne Stimulierung geschlachtet wurden konnte die erhöhte Wässrigkeit über den Q-Wert ausgedrückt werden.

In der vorliegenden Untersuchung konnte zwischen dem Q-Wert und den anderen gemessenen Parametern eine lose Beziehung ermittelt werden. Eine Hilfe für die Qualitätseinstufung bezüglich der PSE-Eigenschaften konnte nicht in jedem Fall bestätigt werden. Lediglich bei starken Abweichungen in der Glykolyse mit schnell abfallenden pH-Werten war ein deutlich niedrigerer Q-Wert zu ermitteln.

6. Schlussfolgerungen

- Die elektrische Stimulierung der Schweineschlachttierkörper, unmittelbar nach der Entblutung hatte einen stark Glykolyse-fördernden Effekt bei allen untersuchten Schlachttierkörpern. Daraus ergab sich ein erhöhtes Vorkommen von Fleisch mit PSE-Eigenschaften und eine Minderung der Fleischqualität. Der Einsatz der Elektrostimulierung ist bei der Produktion von Schweinefleisch nicht zu befürworten.
- Die Stimulierung bewirkte durch die schnellere Glykolyse einen niedrigeren Muskel-pH. Die End-pH-Werte blieben nach Stimulierung geringfügig unter denen von nicht stimulierten Schlachttieren. Einflüsse der Parameter, die unstimuliert einen Einfluss auf den pH-Wert zeigten konnten sich nach Stimulierung nicht mehr ausdrücken.
- Die Leitfähigkeitswerte der stimulierten Schlachttierkörper zeigten deutlich höhere Werte als bei den nicht stimulierten. Nach Stimulierung wurde ein erster Anstieg der Leitfähigkeit schon 30 min p.m. ersichtlich. Die erfassten Einflussfaktoren der Schlachttiere und des Schlachtbetriebes drückten sich in den Leitfähigkeitswerten nach Stimulierung deutlicher aus.
- Nach Stimulierung stiegen die Reflexionswerte einheitlich an, Einflüsse durch Faktoren der Schlachttiere und des Schlachtbetriebes konnten sich nicht mehr ausprägen. Die Spanne der gemessenen Werte schwankte ebenso wie die der elektrischen Leitfähigkeit und ließen beim Einzeltier nicht immer eine gesicherte Beurteilung der zu erwartenden Fleischqualität zu.
- Die Parameter der Schlachttiere und des Schlachtbetriebes beeinflussten den Q-Wert nur gering. Nach Stimulierung wurde ein leicht niedrigerer Mittelwert gemessen, der jedoch, bedingt durch die breite Streuung der Werte, keinen Rückschluss auf die zu erwartende Fleischqualität zuließ.

7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht welchen Einfluss die frühpostmortale Elektrostimulation unter Praxisbedingungen und den gegebenen schlachttechnologischen Bedingungen in einem süddeutschen zugelassenen EU-Schlachtbetrieb auf die Qualität des Schweinefleisches hat. Die elektrische Stimulation der Schweineschlachttierkörper wurde in dem Schlachtbetrieb mit dem Gerät Beef Low Voltage Stimulator, Modell BV 80 der Firma Jarvis, einem Stimuliergerät für Rinder, durchgeführt. In die Untersuchungen wurde eine Gruppe stimulierter ($n = 492$) und nicht stimulierter Schlachttierkörper ($n = 267$) einbezogen. Der Leitparameter pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, die Wässrigkeit und der Reflexionswert wurden erhoben und zueinander in Beziehung gebracht. Zudem konnten individuelle Einflüsse der Schlachttiere (Herkunft, Geschlecht, Handelsklasse) und Einflüsse des Schlachtbetriebes (Personal und Wasserverbrauch beim Eintrieb in den Restrainer) erfasst werden. Messwerte wurden von Schlachttierkörpern aus 150 Zulieferbetrieben erhoben und stimuliert, bzw. nicht stimuliert miteinander verglichen. Von drei Zulieferbetrieben konnten Rasse, Aufstallung, Transport und Ausruhezzeit im Schlachtbetrieb erfasst werden. Es handelte sich hierbei um Schlachttierkörper des Bayerischen Hybridzuchtprogrammes, des Bundeshybridzuchtprogrammes und des Dänischen Hybridzuchtprogrammes.

Durch die Elektrostimulation wurde eine überstürzte Glykolyse ausgelöst, die sich in einem maximalen Abfall der pH-Werte post mortem äußerte. Unterschiede in der Fleischqualität durch individuelle Einflüsse der Schlachttiere und Einflüsse des Schlachtbetriebes, die durch diesen Messwert bei nicht stimulierten Schlachttieren festgestellt wurden, nivellierten sich nach Einsatz der Stimulation. Erheblichen Einfluss auf die frühpostmortale Entwicklung des pH-Wertes konnte durch die Rasse der Schlachttiere in Verbindung mit der Ausruhezzeit im Schlachtbetrieb nachgewiesen werden. Die in dieser Untersuchung gemessenen Leitfähigkeitswerte bestätigten die Daten aus der Literatur. Allerdings ist es eine neue Erkenntnis, dass sich die Werte der elektrischen Leitfähigkeit nach Stimulation bereits 30 min post mortem deutlich erhöht zeigten. Der maximale Unterschied fand sich 4 Stunden post mortem und wies eine Erhöhung des durchschnittlichen Leitfähigkeitswertes nach Stimulation von rund 47% auf. Die Reflexionswerte zeigten bei stimulierten Schlachttieren eine

deutliche Erhöhung der Werte gegenüber den nicht stimulierten Schlachttierkörpern. Die Spanne der gemessenen Werte schwankte jedoch ebenso wie die der elektrischen Leitfähigkeit und ließen beim Einzeltier nicht immer eine gesicherte Beurteilung der zu erwartenden Fleischqualität zu. Die nicht stimulierten Schlachttiere zeigten einen höheren mittleren Q-Wert und deuteten somit auf eine bessere Fleischqualität bezüglich der PSE-Eigenschaften der Schlachttiere.

Die Elektrostimulation bewirkte bei allen Schlachttierkörpern die Ausprägung von hellerem und wässrigerem Fleisch und somit ein stark gehäuftes Auftreten von Schlachttieren mit deutlichen PSE-Eigenschaften. Sie kann bei Schlachtschweinen eine Minderung der Fleischqualität verursachen und ist für die Produktion von Schweinefleisch nicht zu empfehlen.

8. Summary

Study on the effect of electrical stimulation on the meat quality of slaughter pigs

The aim of this study was to determine the effect of electrical stimulation applied soon after slaughter on the meat quality of pork. The examinations were carried out in a South German EU approved slaughterhouse under routine slaughter conditions. Electrical stimulation was performed in the slaughterhouse using the device Beef Low Voltage Stimulator, Modell BV 80 (Jarvis, New Zealand), a stimulation apparatus for cattle. A group of stimulated ($n = 492$) and a control group of nonstimulated carcasses ($n = 267$) was included in the study. The main parameter pH value, as well as electrical conductivity, water-holding capacity and reflection value were determined and related to each other. In addition, individual influences of the slaughter animals (origin, gender, class) and influences of the slaughterhouse (staff, water used while driving animals into the restrainer) were recorded. Analytical values were obtained from carcasses of 150 farms of origin and the results observed with and without stimulation were compared. In the case of three farms of origin details concerning breed, stabling, transport and lairaging were also registered. These carcasses originated from the Bavarian Hybrid Pig Breeding Program, the German Hybrid Pig Breeding Program and the Danish Hybrid Pig Breeding Program.

Electrical stimulation triggered an advanced onset of glycolysis, which resulted in an accelerated decline in post mortem pH values. Differences in meat quality due to individual influences of the slaughter animals or the slaughterhouse, which were observed in the pH of nonstimulated carcasses, were levelled out after application of electrical stimulation. The breed of the slaughter animals in combination with the duration of lairaging in the slaughterhouse considerably influenced early post mortem pH development. The electrical conductivity values measured in this study confirmed literature data. Yet, new insights were gained insofar as the values of electrical conductivity were determined to be clearly elevated already 30 min post mortem after stimulation. The maximum difference was detected 4 hours post mortem amounting to an increase of the average conductivity value of approximately 47 % after stimulation. The reflection values of the stimulated slaughter pigs were shown to be clearly

elevated in comparison with the values of the nonstimulated carcasses. Yet, the range of the values measured varied similar to those of the electrical conductivity and did not in all cases permit a sure evaluation of the meat quality to be expected in the individual animal. The nonstimulated slaughter animals showed higher average Q-values which indicated a superior meat quality concerning the PSE properties of the slaughter pigs.

Electrical stimulation resulted in the development of paler and more exudative meat in all carcasses and therefore in an enormous increase of carcasses with obvious PSE qualities. It is liable to cause a deterioration in meat quality and is not to be recommended for pork production.

9. Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

AICHINGER, C.A. (2003):

Die Implementierung der Elektrobetäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb beim Rind.
Ludwig-Maximilians-Universität München, Dissertation

ALTMANN, M.; A. GEISLER; L. SCHÖBERLEIN; U. PLIQUETT;

F. PLIQUETT (2000):
Einfluss von Transport und Zerlegung auf die Fleischstruktur,
Beurteilung durch den Py-Wert.
Fleischwirtschaft 80 2, 94

AUGUSTINI, C.; K. FISCHER; M. RISTIC (1981):

Bedeutung einzelner Einflußfaktoren im Bereich Haltung und Schlachtung
auf die Fleischqualität.
Züchtungskunde 53 5, 390 - 399

BASTIAN, P.; H.-U. BRAUNGER; J. MANDERLA; H.-A. SCHWARZ;
O. SPIELVOGEL; G. SPRINGER; F.-D. STRICKER; K. TKOTZ;
F. WILDE (1993):

Fachkunde Elektrotechnik.
Europa Lehrmittel, Europa-Nr. 30138, 26

BAUER, F.; H. BECHT; H. BLOBEL; K. BÖGEL; J. BRÜCKLER; H. FREY;
G. HOBDOM; H. HOFFMANN; H.MALKE; K. PREIßNER; K. SEEGER
L. STITZ (1991):

Wachstumsbedingungen für Bakterien.
Handbuch der bakteriellen Infektionen bei Tieren, Band I,
Gustav Fischer Verlag Jena 1991, 216 - 218

BEATTIE, V.E.; R.N. WEATHERUP; B.W. MOSS; N. WALKER (1999):

The effect of increasing carcass weight of finishing boars and gilts
joint composition and meat quality.
Meat Science 52, 205 - 211

BECK, G.A.; R. DÜRR; H.M. EICHINGER (1992):

Predictability of sensoric properties in Beef by physiochemical measurements.
In: 38th Int. Congr. Meat Sci. and Techn.,
Clermont-Ferrand, France, 1992, Proc., 871 - 874

BENDALL, J.R. (1972):

In: Meat chilling – Why an how?
Meat Research Institute Symposium No. 2, Langford, Bristol, p. 3.1

- BENDALL, J.R. (1978):
Electrical Stimulation of Carcasses as a method of avoiding the Cold-shortening and Toughening of Meat.
Bericht zum 24. Europäischen Fleischforscher-Kongress
Kulmbach 1978, Band II
- BENDALL, J.R. und H.J. SWATLAND (1988):
A Review of the Relationships of pH with Physical Aspects of Pork Quality.
Meat Science 24, 85 - 126
- BENDALL, J.R.; C.C. KETTERIDGE; A.R. GEORGE (1976):
The electrical stimulation of beef carcasses.
Journal Science Food Agriculture 27, 1123 - 1131
- BICKHARDT, K. (1992):
Kompendium der Allgemeinen Inneren Medizin
und Pathophysiologie für Tierärzte.
Pareys Studentexte 69
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, 106 - 109
- BICKHARDT, K.; W. GIESE; H. CHEVALIER, H. J. REINHARDT (1972):
Fortschr. Vet. Med.,
Beihefte Zentralbl. für Vet. Med. 16
- BOUTON, P.E; P.Y. HARRIS; W.R. SHORTHOSE (1971):
Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and
tenderness of mouton.
Journal of Food Science, Volume 36, 436 - 439
- BOUTON, P.E.; A.L. FORD; P.V. HARRIS; F.D. SHAW (1980):
Electrical stimulation of beef sides.
Meat Science 4, 145 - 155
- BRANSCHIED, W.; HONIKEL, K.O.; VON LENGERKEN, G. (1998):
Qualität von Fleischwaren 2.
Deutscher Fachverlag, 577 - 590
- BRDIČKA, R. (1990):
Grundlagen der physikalischen Chemie.
Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin
- BROWKER, B.C.; E.J. WYNVEEN; A.L. GRANT; D.E. GERRARD (1999):
Effects of electrical stimulation on early postmortem muscle pH and
temperature declines in pigs from different genetic lines
and halothane genotypes.
Meat Science 53, 125 - 133
- CHANNON, H.A; A.M. PAYNE; R.D. WARNER (2000):
Halothan-Genotyp, Behandlung vor der Schlachtung und die Betäubung
beeinflussen die Schweinefleischqualität.
Meat Science 56, 291 - 299

- CHRYSTALL, B.B. (1994):
Meat texture measurement.
In: Advances in Meat Research, Vol. 9, "Attributes and their Measurements in Meat, Poultry and Fish Products", 316
- DEVINE, C. E.; S. Ellery; L. Wade; B. B. Chrystall (1984):
Differential effects of electrical stunning on the early post-mortem glycolysis in sheep.
Meat Science 11, 301 - 309
- DEVINE C.E.; S.R. PAYNE; B.M. PEACHEY; T.E. LOWE; J.R. INGRAM; C.J. COOK (2002):
High and low rigor temperature effects on sheep meat tenderness and ageing.
Meat Science 60, 141 - 146
- ENTFÄLT, A. C.; K. LUNDSTÖM; A. KARLSSON; I. HANSSON (1997):
Estimated frequency of the RN- allele in Swedish Hampshire pigs and comparison of glycolytic potential, carcass composition, and technological meat quality among Swedish Hampshire, Landrace, and Yorkshire pigs.
Journal Animal Science 75, 2924 - 2935
- FEDDERN, E.; J. KRIETER; E. KALM (1994):
Verlauf der postmortalen Glykogenolyse und Merkmale der Fleischbeschaffenheit bei Hampshire-Reinzuchtieren und verschiedenen Kreuzungskombinationen.
Archiv Tierzucht, Dummerdorf 37, 229 - 243
- FELDHUSEN, F. (1987):
Die Diagnose von Fleischreifungsvorgängen.
In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (Hrsg.): 28. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene der DVG, Garmisch-Patenkirchen.
DVG-Selbstverlag, Gießen, 120 - 126
- FELDHUSEN, F.; D. FUHRMANN-NEUMANN; O.HÄGER; S. WENZEL (1987 a):
Farbmessung im Rahmen der Fleischqualitätsprüfung mit dem Minolta-Chromameter.
Züchtungskunde 59, 146 - 157
- FELDHUSEN, F.; D. NEUMANN-FUHRMANN; S. WENZEL (1987 b):
Die Leitfähigkeit als Parameter der Fleischbeschaffenheit.
Fleischwirtschaft 67, 455 - 460
- FIELKNER-MODIG, S. und H. RUDÉRUS (1983):
The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of young bulls: Part 1 – Postmortem pH and temperature.
Meat Science 8, 203 - 220

- FISCHER, C. (1981):
Veränderungen im Muskel nach dem Schlachten.
Fleischwirtschaft 61, S. 1830 - 1836
- FISCHER, K. (1999):
Aktuelles aus der Fleischforschung;
MHS-Genotyp, Muskelstruktur, Elektrostimulation, Intramuskulärer
Fettgehalt, Stress.
Fleischwirtschaft 12, 76 - 77
- FISCHER, K. (2000 a):
Einfluss der Standzeit vor dem Schlachten sowie der
Speckentfernung am warmen Schlachtkörper auf die
Fleischqualität beim Schwein.
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung 39, 147 und 597
- FISCHER, K. (2000 b):
Sinnvolle Erfassung PSE-abhängiger Qualitätsparameter bei
Schweinefleisch.
Fleischwirtschaft 80 7, 92
- FISCHER, K.; R. HÖRETH; A. DOBROWOLSKI (1997):
Verwendung PSE-relevanter Hilfsmerkmale zur Qualitätsbeurteilung von
Schweinefleisch - Möglichkeiten und Grenzen.
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, 36
- FISCHER, K.; J.P. LINDNER; A. DOBROWOLSKI (2002):
Variation der Qualität von Schweinefleisch bei unauffälligen
End-pH-Werten.
Fleischwirtschaft 11, 118 - 121
- FRIES, R. (1992):
Fleischhygiene und Lebensmitteluntersuchung.
UTB, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 99
- FUNK-EISELE, A.; A.H. EISGRUBER; M. WAWERLA; A. STOLLE (2001):
Untersuchungen zur Beurteilung der Fleischbeschaffenheit von
Schafschlachttierkörpern.
Fleischwirtschaft 81 1, 88 - 90
- GARRIDO, M. D. und K. O. HONIKEL (1995):
Beziehungen zwischen Qualitätsmerkmalen von Schweinefleisch
kurz nach dem Schlachten und nach Beendigung der Kühlung.
Fleischwirtschaft 75 12, 1437 - 1440
- GEESINK, G.H.; M.H.D. MAREKO; J.D. MORTON; R. BICKERSTAFFE (2001):
Electrical stimulation – when more is less.
Meat Science 57, 145

- GEROLD, M. und A. STOLLE (1994):
Elektrostimulation, Untersuchungen über den Einfluss auf den
Ausblutungsgrad von Rinderschlachttierkörpern.
Fleischwirtschaft 74 8, 1 - 6
- GLODEK, P. (1996):
Die Wahl der Vaterlinie bestimmt die Qualität der Endprodukte
in der Schweinezucht.
Züchtungskunde 68 6, 483 - 492
- GRAU, R. und G. HAMM (1953):
Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Muskel.
Die Naturwissenschaften 40 1, 29 - 30
- GREGORY, N.G. (1996):
Welfare and hygiene during preslaughter handling.
Meat Science 43, Supplement, 35 - 46
- GRESHAKE, F. ; F. SCHMITTEN; K.-H. SCHEPERS (1988):
Untersuchungen zur Bestimmung des Tropfsaftverlustes von Schweinefleisch
und dessen Zusammenhänge zu anderen Fleischqualitätskriterien.
Fleischwirtschaft 68 6, 765 - 769
- HAMM, R. (1963):
Die Mikrostruktur des Muskels und ihre Beziehung
zum Wasserbindungsvermögen.
Fleischwirtschaft 43 4, 298 - 301
- HAMM, R. (1972):
Kolloidchemie des Fleisches.
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
- HAMM, R. (1979):
Die Biochemie des Muskel-Calciums und ihre
Bedeutung für die Fleischqualität, Teil I.
Fleischwirtschaft 59 3, 393 - 398
- HAMM, R.; K.O. HONIKEL; C. FISCHER; A. HAMID (1980):
Veränderungen des Rindfleisches nach dem Schlachten und ihre
Auswirkungen auf das Wasserbindungsvermögen.
Fleischwirtschaft 60 9, 1567 - 1576
- HECHT, H. (1986):
Reifung und Zartheit von Fleisch.
In: Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität
Kulmbacher Reihe, Band 6, 39 - 67
- HEDRICK , H.B.; R.K. LEAVITT; M.A. ALEXANDER (1968):
Variation in porcine muscle quality of Duroc an Hampshire barrows.
Journal Animal Science 27, 48 - 52

- HENKE, S. (2003):
Einfluss von Kurzzeittransporten (< 8 Std.) auf biochemische und physiologische Reaktionen von Rindern sowie deren Schlachtkörperqualität und Fleischbeschaffenheit.
Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation
- HIEGEMANN, H. (2002):
Vergleich zweier Zuführungssysteme zur Elektrobetäubung von Schlachtschweinen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Fleischbeschaffenheit.
Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation
- HOFMANN, K. (1987):
Der pH-Wert, Ein Qualitätskriterium für Fleisch.
Fleischwirtschaft 67 1, 557 - 562
- HOFMANN, K. (1993):
Qualitätsbegriffe bei Fleisch und Fleischerzeugnissen.
Fleischwirtschaft 73 1, 16 - 28
- HONIKEL, K.O. (1986 a):
Muskelstruktur und Fleischqualität.
In: Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität
Kulmbacher Reihe, Band 6, 18 - 39
- HONIKEL, K.O. (1986 b):
Wasserbindungsvermögen von Fleisch.
In: Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität
Kulmbacher Reihe, Band 6, 67 - 89
- HONIKEL, K.O. (1987):
Wasserbindungsvermögen von Fleisch.
Fleischwirtschaft 67 4, 418 - 428
- HONIKEL, K.O. (1979):
Elektrostimulierung von Schlachtkörpern. Warum – Wie – Wo?
Fleischwirtschaft 59 11, 1568 - 1570
- HONIKEL, K.O. (1993):
Fleischqualität als Ergebnis der Kontrollmaßnahmen.
In: Qualitätssicherung im Fleischbereich
Kulmbacher Reihe, Band 11, 18 - 33
- HONIKEL, K.O. (1995):
Impedanz- und Leitfähigkeitsmessungen als Kriterien für die Schweinefleischqualität.
Mitteilungsblatt Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 34, 199 - 204

- HONIKEL, K.O. (1999):
Standardisierung physikalischer Messverfahren.
In: Schnellanalytik bei Fleisch
Kulmbacher Reihe, Band 16, 167 - 192
- HONIKEL, K.O. (2002 b):
Aktuelles aus der internationalen Fleischforschung, Wasserbindungsvermögen – Fleischqualität – Vitamin E – Fleischzartheit.
Fleischwirtschaft 82 5, 102 - 104
- HONIKEL, K.O. (2002 c):
Aktuelles aus der Fleischforschung: Fleischqualität und Ernährung mit Fleisch.
Fleischwirtschaft 82 1, 74
- HONIKEL, K.O. (2004):
Aktuelles aus der internationalen Fleischforschung:
Fleischqualität, Fleischreifung, Fleischzartheit und Fleischanalytik.
Fleischwirtschaft 84 1, 102 - 104
- HONIKEL, K.O. und CH.-J. KIM (1985):
Über die Ursachen der Entstehung von PSE-Schweinefleisch.
Fleischwirtschaft 65 9, 1125 - 1131
- HONIKEL, K.O. und M.D. GARRIDO (1993):
Beziehungen zwischen frühpostmortalen Merkmalen bei Schweinefleisch.
Mitteilungsblatt Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 32, 170 - 176
- HONIKEL, K.O.; A. STEVES; S. RAUH (1995):
Die Messung der Impedanz zur Feststellung
der Qualität von Schweinefleisch.
Mitteilungsblatt Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach 34, 13 - 20
- HÖRETH, R. und A. DOBROWOLSKY (1994):
Opto-Star – eine Alternative in der Helligkeitsmessung?
Mitteilungsblatt Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach 33, 5 - 12
- HULSEGG, B.; B. ENGE; W. BUIST; G.M. MERKUS; R. E. KLONT (2001):
Apparative Farbeinstufung von Kälberschlachtkörpern mit dem
Minolta CR 300.
Meat Science 57, 191 - 195
- HÜTTER, L.A. (1988):
Wasser und Wasseruntersuchungen.
Diesterweg Verlag, Frankfurt am Main, 3. Auflage 1988, 221 - 235
- JANDER, G. und E. BLASIUS (1977):
Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum.
S. Hirzel Verlag Stuttgart, 367 - 374

- JIMCNEZ, F.-COLMENERO; J. CARBALLO; S. COFRADES (2001):
Healthier meat and meat products: their role as functional foods.
Meat Science 59, 5 - 10
- KALLWEIT, E.; G. KIELWEIN; R. FRIES; S. SCHOLTYSSEK (1988):
Qualität tierischer Nahrungsmittel.
UTB, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- KARLSON, P. (1988):
Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler.
Georg-Thieme-Verlag Stuttgart, 12. Auflage, 38 - 48
- KIM, J.C.; K.O. HONIKEL; R. HAMM (1985):
Veränderungen im Schweinemuskel nach dem Schlachten und ihr Einfluss
auf das Wasserbindungsvermögen von Fleisch und Muskelhomogenaten.
Fleischwirtschaft 65 4, 489 - 496 und 645 - 649
- KIRCHHEIM, U.; C. KINAST; F. SCHÖNE (2001):
(Früh-)postmortale physikalische Messkriterien zur Beurteilung der
Fleischbeschaffenheit.
Fleischwirtschaft 81 1, 89 - 90
- KLEIBEL, A.; H. PFÜTZNER; E. KRAUSE (1983):
Messung des dielektrischen Verlustfaktors, eine im Routinebetrieb
anwendbare Methode zur Erkennung von PSE-Muskeln.
Fleischwirtschaft 63 3, 322 - 328
- KLETTNER, P.-G. (1994):
Kühlen und Gefrieren von Schlachttierkörpern.
In: Schlachten von Schwein und Rind
Kulmbacher Reihe, Band 13, 132 - 153
- KLETTNER, P.-G. (1996):
Kühlen und Gefrieren von Schlachttierkörpern.
Fleischwirtschaft 76 7, 679
- KLINKE, R. und S. SILBERNAGEL (2001):
Lehrbuch der Physiologie.
Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Aufl., 81 - 106
- KÜHNE, M.; F. FELDHUSEN; W. DROMMER; S. WENZEL (1992):
Zartheit und morphologische Veränderungen von Schweinefleisch.
Fleischwirtschaft 72 12, 1689 - 1692
- KÜHNLEIN, Ch. (1993):
Zur Beurteilung der Fleischqualität von Schalenwild unter
Berücksichtigung von Wildbrethygiene und jagdlichen
Gegebenheiten im Hinblick auf die Erstellung von Richtwerten
für die amtliche Fleischuntersuchung.
Ludwig-Maximilians-Universität München, Dissertation

- LARZUL, C.; P. LE ROY; G. MONIN; P. SELLIER (1998):
Variabilité génétique du potential glycolytique du muscle chez le porc.
IRNA Prod. Animal 11, 183 - 197
- LAUBE, S. (2000):
Die Eignung spezieller Schweinekreuzungen zur Qualitäts-
verbesserung von Markenschweinen unter besonderer
Berücksichtigung von MHS-Status, Hampshirefaktor und
intramuskulärem Fettgehalt.
Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation
- LEBRET, B; P. LE ROY; G. MONIN; L. LEFAUCHER; J.C. CARITEZ;
A. TALMANT; J.M. ELSEN; P.SELLIER (1999):
Influence of the three RN genotypes on chemical composition, enzym
activities, an myofiber characteristics of porcine skeletal muscle.
J. Anim. Science 77, 1482 - 1489
- LOCKER, R.H. und C.J. HAGYARD (1963):
A cold shortening effect in beef muscles.
Journal Science Food Agriculture 14, 787
- MÄNNL, M. (1994):
Betäubung und Entblutung von Schwein und Rind.
In: Schlachten von Schwein und Rind
Kulmbacher Reihe, Band 13, 62 - 83
- MONIN, G; J.GRUAND; D. LABORDE; P. SELLIER (1994):
L'effet Hampshire sur les qualités technologiques de la viande de porc.
Journées Recherche Porcine en France 16, 59 - 64
- MONIN, G. und P. SELLIER (1985):
Pork of low Technological quality with a normal rate of muscle pH fall in
the immediate postmortem period: The case of Hampshire breed.
Meat Science 13, 49 - 63
- MORRIS, C.A (1995):
Ostrich slaughter and fabrication: 1. Slaughter yields, microbiology of carcass
and effects of electrical stimulation on post mortem pH.
2. Carcass weights, fabrication yields.
Poultry Science 74, 1683 - 1687 und 1688 - 1692
- NAVEAU, J. (1986):
Contribution à l'étude du déterminisme génétique
de la qualité de viande porcine.
Héritabilité du rendement technologique Napole
Journées Recherche Porcine en France 18, 265 - 276

- NEUMANN-FUHRMANN, D. (1986):
 Problematik der Qualitätseinstufung von Schweinefleisch.
 In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (Herausgeber),
 27. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene der DVG 1986,
 Garmisch-Partenkirchen
 DVG-Selbstverlag, Gießen, 62 - 67
- N.N. (1984):
 DIN 38404
 Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C)
 Bestimmung des pH-Wertes (C%)
- N.N. (1991):
 CMA (Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft)
 Prüfsiegel „Deutsches Qualitätsfleisch aus kontrollierter Aufzucht“
 Qualitäts-, Prüfbestimmungen, Prüfpläne für Schweine- und Rindfleisch.
- N.N. (1993):
 DIN EN 27888:1993
 Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (ISO 7888:1985).
 Deutsche Fassung EN 27888:1993
- N.N. (2001):
 Verordnung über die hygienischen Anforderungen und amtlichen
 Untersuchungen beim Verkehr mit Fleisch
 (Fleischhygiene-Verordnung - FIHV).
 In der Fassung der Bekanntmachung vom 29. Juni 2001, geändert
 durch Art. 2, Zweite ÄndVO v. 2. April 2003 (BGBl. I S. 478)
- N.N. (2002 a):
 Verbrauchergerechte Schweinefleischqualität – Herausforderung an die
 Primärerzeugung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
 In: Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
 Heft 7 – 7. Jahrgang, 2002
- N.N. (2002 b):
 AVV Fleischhygiene (AVVFIH)
 Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen
 Überwachung nach dem Fleischhygienegesetz und dem Geflügel-
 fleischhygienegesetz vom 19. Februar 2002.
 Bundesanzeiger, ausgegeben am 5. März 2002, Jahrgang 54
- N.N. (2002 c):
 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft
 Umwelt und Wasserwirtschaft über Handelsklassen für
 Schweineschlachtkörper, Schweinehälften vom 18. Dezember 1986.
 BGBl. II Nr. 290/2002, ausgegeben am 19. Juli 2002

- N.N. (2003 a):
 WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH)
 Grundlagen der Messtechnik (Compact Disc).
 Selbstverlag WTW, Weilheim, Germany
- N.N. (2003 b):
 5. Bayerischer Stichprobentest 2003.
 In: Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 1 - 35
- N.N. (2003 c):
 Informationen zur Leistungsprüfung 2003.
 Landesanstalt zur Schweinezucht Forchheim, Rheinstetten, 1 - 29
- N.N. (2004):
 BOOSEN, Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz
 und Lebensmittelsicherheit, Anschreiben an Fa. Jarvis, zur
 Überprüfung des BV 80 Stimulator.
- OFFER, G. und P. KNIGHT (1988):
 The structural Basis of water-holding in meat, part 2: Drip losses.
 Development in Meat Science 4, Edited by Ralston Lawrie, 173 - 234
- OFFER, G.; P. PURSLOW; R. ALMOND; T.COUSINS; J. ELSEY; G. LEWIS
 N. PARSONS; A.SHARP (1988):
 Myofibrils and meat quality.
 In: 37th Int. Congr. Meat Sci. and Techn., Brisbane, Australia, 1988
 Proc. Part A, 161 - 168
- OWEN, B.L.; J.L. MONTGOMERY; C.B. RAMSEY; M.F. MILLER (2000):
 Preslaughter resting time and hot-fat trimming effects on the incidence of pale
 soft and exudative (PSE) pork and ham processing characteristics.
 Meat Science 54, 221 - 229
- PACLT, J. (1958):
 Farbbestimmung in der Biologie.
 Verlag Gustav Fischer, Jena
- PEARSON, A.M. und R.B. YOUNG (1989):
 Muscle and meat biochemistry.
 Academic Press, Inc., San Diego, New York, Berkeley, London, Sydney,
 Tokyo, Toronto
- PEREZ, M.P.; J. PALACIO; M.P. SANTOLARIA; M.C. ACENA; G. CHACON;
 M. GASCON; J.H. CALVO; P. ZARAGOZA; J.A. BELTRAN;
 S. GARCIA-BELENGUER (2002):
 Effect of transport time on welfare an meat quality in pigs.
 Meat Science 61, 425 - 433

- PETERSEN, G.V. und D.K. BLACKMORE (1982):
 The effect of different slaughter methods on the post mortem glycolysis of muscle in lambs.
 N. Z. Vet. J. 30, 195 - 198
- PIEPER, S. (1993):
 Untersuchungen zur Vergleichbarkeit früh-postmortaler Fleischbeschaffenheitsparameter.
 Fachhochschule Lippe, Diplomarbeit
- POTTHAST, K. (1980):
 Bericht über den 26. Europäischen Fleischforscherkongress in Colorado Springs / USA – Elektrostimulation.
 Fleischwirtschaft 60 12, 2201
- POTTHAST, K. (1986):
 Fleischfarbe, Farbstabilität und Umrötung.
 In: Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität
 Kulmbacher Reihe Band 6, 89 - 111
- PRÄNDL, O.; A. FISCHER; T. SCHMIDHOFER; H.J. SINELL (1988):
 Fleisch- Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung.
 Ulmer Verlag, Stuttgart, 133 - 135
- REES, M.P; G.R. TROUT; R.D. WARNER (2003 a):
 The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork
 I. Interaction with method of suspension.
 Meat Science 65, 791
- REES, M.P; G.R. TROUT; R.D. WARNER (2003 b):
 The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork
 II. Interaction with chilling temperature.
 Meat Science 65, 805
- REICHERT, E. (1996):
 Möglichkeiten der automatischen On-Line-Bestimmung von Qualitätsparametern bei der Klassifizierung und Selektion von Schlachttierkörpern und Teilstücken.
 Fleischwirtschaft 76 5, 486 - 491
- REUL, U.; K.H. SCHEPERS; A. FESTERLING; F. SCHMITTEN (1984):
 Untersuchungen zum postmortalen Verlauf der Leitfähigkeit im Schweinefleisch.
 Bericht der Vortragstagung der Dt. Ges. für Züchtungskunde und der Ges. für Tierzuchtwissenschaft (26./27. Sept. 1984), Göttingen, 2 - 11
- RING, CHR. und A. TAYLOR (1988):
 Zur Elektrostimulierung von Rindern.
 Fleischwirtschaft 68 9, 1117 - 1120

- SACK, E. (1988):
 Zur Messung der Fleischbeschaffenheit von
 Schweinehälften am Schlachtband.
 Mitteilungsblatt Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 27, 8037 - 8044
- SACK, E. und W. BRANSCHIED (1990):
 Zur Erfassung des „PSE“-Status von Schweinehälften mit
 unterschiedlichen Meßmethoden.
 Mitteilungsblatt Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 108, 140 - 146
- SAYRE, R.N.; E.J. BRISKEY; W.G. HOEKSTRA (1963):
 Comparison of muscle characteristics and post mortem glycolysis in
 three breeds of swine.
 Journal Animal Science 22, 1012 - 1020
- SCHARNER, E. und G. SCHIEFER (1975):
 Zum Begriff der Fleischqualität und zur Ermittlung einiger der wichtigsten
 Qualitätsparameter des Schweinefleisches.
 Monatshefte für Veterinärmedizin 13, S. 481 - 484
- SCHMIDTKE, S. (2002):
 Die elektrische Leitfähigkeit als Diagnoseparameter für die
 Rindfleischreifung.
 Tierärztliche Hochschule Hannover, Dissertation
- SCHMIDT-NIELSEN, K. (1999):
 Physiologie der Tiere.
 Spektrum-Verlag, 81 - 107
- SCHMITTEN, F.; H.-J. STORK; K.-H. SCHEPERS (1989):
 Eignung der FOM-Reflexionswertmessung zur Ermittlung der
 Fleischbeschaffenheit beim Schwein in der Schlachtkette.
 Schweinezucht und Schweinemast 27, 77 - 80
- SCHMITTEN, F.; K.-H. SCHEPERS; H.JÜNGST; U. REUL; A. FESTERLING (1984):
 Fleischqualität beim Schwein, Untersuchungen zu deren Erfassung.
 Fleischwirtschaft 64 10, 1238 - 1242
- SCHMITTEN, F.; K.-H. SCHEPERS; A. FESTERLING (1986):
 Ist die Leitfähigkeitsmessung praxisreif?
 DLG-Mitteilungen 11 / 1986, 602 - 605
- SCHÖBERLEIN, L.; E. SCHARNER; K.O. HONIKEL; M. ALTMANN;
 F. PLIQUETT (1999):
 Der Py-Wert als Fleischqualitätsmerkmal.
 Fleischwirtschaft 79 1, 116 - 120
- SCHWÄGELE, F. (1992 a):
 Die elektrische Leitfähigkeit von Schweinefleisch im Schlachthof und
 Zerlegebetrieb als Qualitätskriterium.
 Fleischwirtschaft 72 4, 493 - 497

- SCHWÄGELE, F. (1992 b):
Erfassung von Qualitätsmerkmalen nach dem Schlachten.
In: Qualitätssicherung im Fleischbereich
Kulmbacher Reihe, Band 11, 48 - 72
- SCHWÄGELE, F. (1993):
Qualitätsmerkmale, Erfassung nach dem Schlachten.
Fleischwirtschaft 73 3, 228 - 238
- SCHWÄGELE, F. (1999):
Kühlung, Kühllagerung und Fleischreifung.
Fleischwirtschaft 6 1, 103 - 106
- SCHWÄGELE, F. (1994):
Enzymologische Untersuchungen über die Ursachen des schnellen
pH-Wert-Abfalles in PSE-Muskeln.
Fleischwirtschaft 74 1, 95 - 101
- SEIDLER, D.; E. BARTNICK; B. NOWAK (1984):
PSE-Diagnostik am Schlachtband.
Fleischwirtschaft 64 12, 1379 - 1387
- SELLIER, P. und B. JACQUET (1973):
Comparaison de porcs Hampshire x Large White et Piétrain x Large White.
Journées Recherche Porcine en France 5, 173 - 180
- SLOWINSKI, M. und M.STOLARSKI (1998):
Beurteilung der technologischen Qualität von Putenfleisch, Messung
von elektrischer Leitfähigkeit und pH-Wert.
Fleischwirtschaft 78 9, 1013 - 1015
- SMULDERS, F.J.M. und G. EIKELNBOOM (1986):
Einfluss kontinuierlichen bzw. intermittierenden elektrischen Stroms
auf die Wirksamkeit der Elektrostimulation.
Fleischwirtschaft 66 3, 398 - 400
- SMULDERS, F.J.M. und R.L.J.M. VAN LAACK (1998):
Moderne Zerlegetechniken: „Hot“-, „warm“- und „cold“-boning
und die Auswirkungen auf Fleischcharakteristika.
In: Kühlen, Zerlegen, Kühllagerung, Reifung
Kulmbacher Reihe, Band 15, 114 - 130
- SPECHT, H. und J. KUNIS (1989):
Kälteverkürzung und Elektrostimulation – Auswirkungen auf die
Beschaffenheit von Schaf- und Rindfleisch.
Fleischwirtschaft 69 8, 1275 - 1280
- SURMANN, M. und P. GLODEK (1991):
Untersuchungen zum „Hampshirefaktor“ in der Fleischbeschaffenheit von
Schweinen.
Züchtungskunde 64 2, 129 - 135

- THIEMIG, F.; H. BUHR; P. OELKER (1997):
Zur Problematik der PSE-Bestimmung bei Schweinefleisch.
Fleischwirtschaft 77 3, 229 - 237
- TROEGER, K. und W. WOLTERS DORF (1989):
Elektrobetäubung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein
Fleischwirtschaft 69, 1210 - 1218
- VAN OECKEL, M.J.; N. WARNANTS; C.V. BOUCQUE; P. DELPUTTE;
J. DEPUYDT (2001):
The preference of costumer for pork from homozygous or hetero-
zygous halotane negative animals.
Meat Science 58, 247 - 251
- WAßMUTH, R. (1991):
Untersuchungen zum „Hampshirefaktor“ in der Fleischbeschaffenheit
von Kreuzungsschweinen mit verschiedenen Anteilen dieser Rasse.
Institut für Tierzucht und Haustiergenetik,
Universität Göttingen, Dissertation
- WENDT, M., K.BICKHARDT, A. HERZOG, A. FISCHER, H. MARTENS;
Th. RICHTER (1999):
Belastungsmiopathie und PSE-Fleisch: Klinik, Pathogenese,
Ätiologie und tierschutzrechtliche Aspekte.
Proc. 23. Kongress der DVG vom 13.-16. April 1999 in
Bad Nauheim, S. 127 - 177
- WICHLACZ, H.; S. WAJADA; K. BORZUTA (1992):
Elektrostimulierung – Einfluß auf die Fleischqualität von Kälbern.
Fleischwirtschaft 72 7, 1055 - 1057
- WISMER-PEDERSEN, J. (1966):
Wässeriges Fleisch in Theorie und Praxis.
Die Fleischwirtschaft, 7, 787 - 789
- WOLTERS DORF, W. (1994):
Aufstallung vor dem Schlachten.
In: Schlachten von Schwein und Rind
Kulmbacher Reihe, Band 13, 43 - 61
- WOLTERS DORF, W. und K.O. HONIKEL (1982):
Elektrostimulierung: Auswirkungen auf die Fleischqualität
Einsatzmöglichkeiten für die Praxis.
Fleischwirtschaft 62, 6, 448 - 456

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	LF Star, Fa. Matthäus.....	42
Abb. 2:	Zeitlicher Ablauf der Schweineschlachtung im untersuchten Schlachtbetrieb.....	68
Abb. 3:	Elektrostimulierung Schweine, Apparatur im Schlacht- betrieb.....	69
Abb. 4:	Täglicher Ablauf der Messungen.....	75
Abb. 5:	Arbeitsanweisung zur Untersuchung der auspressbaren Gewebsflüssigkeit.....	78
Abb. 6:	Gegenüberstellung der pH-Mittelwerte der M. long. dorsi und M. semimembranosi, stimuliert/nicht stimuliert.....	81
Abb. 7:	pH-Mittelwerte M. long. dorsi, stimuliert/nicht stimuliert.....	82
Abb. 8:	pH-Werte M. long. dorsi, in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt, stimuliert/nicht stimuliert.....	83
Abb. 9:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	86
Abb. 10:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	90
Abb. 11:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	92
Abb. 12:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	95
Abb. 13:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch, nur stimulierte Tiere.....	97
Abb. 14:	pH-Mittelwerte M. semimembranosus, stimuliert/ nicht stimuliert.....	99
Abb. 15:	pH-Werte im M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt, stimuliert/nicht stimuliert.....	100
Abb. 16:	pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	103
Abb. 17:	pH-Werte M. semimembranosus in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	105

Abb. 18:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	109
Abb. 19:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	113
Abb. 20:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	115
Abb. 21:	LF-Mittelwerte <i>M. long. dorsi</i> , stimuliert/nicht stimuliert.....	125
Abb. 22:	Elektrische Leitfähigkeit <i>M. long. dorsi</i> , in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt, stimuliert/nicht stimuliert.....	126
Abb. 23:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	129
Abb. 24:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	132
Abb. 25:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	134
Abb. 26:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	138
Abb. 27:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	140
Abb. 28:	Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	147
Abb. 29:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	149
Abb. 30:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	150
Abb. 31:	Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	152
Abb. 32:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	153
Abb. 33:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	154
Abb. 34:	Q-Werte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	157
Abb. 35:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	159
Abb. 36:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Geschlecht, nur stimulierte Tiere.....	160
Abb. 37:	Q-Werte in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	161

Abb. 38:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	162
Abb. 39:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	164
Abb. 40:	Prozentualer Anteil der Handelsklasse der untersuchten Schlachttierkörper.....	209
Abb. 41:	Prozentualer Anteil der Herkünfte der untersuchten Schlachttierkörper.....	209
Abb. 42:	Verteilung des Speckmaßes der untersuchten Schlachttierkörper.....	210
Abb. 43:	Verteilung des Fleischmaßes der untersuchten Schlachttierkörper.....	210
Abb. 44:	Häufigkeit des prozentualen Fleischanteiles der untersuchten Schlachttierkörper.....	211
Abb. 45:	Verteilung des Schlachtgewichtes der untersuchten Schlachttierkörper.....	211
Abb. 46:	Verteilung pH _{0,5} -Werte bei nicht stimulierten Schlachttieren.....	212
Abb. 47:	Verteilung pH _{0,5} -Werte bei stimulierten Schlachttieren.....	212
Abb. 48:	Verteilung der Leitfähigkeitswerte 4 h p.m. bei nicht stimulierten Schlachttieren.....	213
Abb. 49:	Verteilung der Leitfähigkeitswerte 4 h p.m. bei stimulierten Schlachttieren.....	213
Abb. 50:	Verteilung der Reflexionswerte bei nicht stimulierten Schlachttieren.....	214
Abb. 51:	Verteilung der Reflexionswerte bei stimulierten Schlachttieren.....	214
Abb. 52:	Verteilung der Q-Werte bei nicht stimulierten Schlachttieren.....	215
Abb. 53:	Verteilung der Q-Werte bei stimulierten Schlachttieren.....	215

9.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	5. Stichprobentest in Bayern, PSE-Verteilung in %, (N.N., 2003 b)	28
Tab. 2:	5. Stichprobentest in Bayern, DFD-Verteilung in %, (N.N., 2003 b)	28
Tab. 3:	5. Stichprobentest in Bayern, MHS-Status der Prüftiere in %, (N.N., 2003 b)	29
Tab. 4:	5. Stichprobentest in Bayern, Herkunftsvergleich nach MHS-Status in % (N.N., 2003 b)	29
Tab. 5:	Ergebnisse des gemeinsamen Stichprobentestes 1993, Qualitätsmerkmale in Bezug auf die Rasse, (N.N., 2003 c)	30
Tab. 6:	Ergebnisse des gemeinsamen Stichprobentestes 1993, MHS-Status, (N.N., 2003 c)	30
Tab. 7:	Empfehlungen für Grenzwerte zwischen normalem und PSE-Fleisch angegeben in mS/cm (SCHMITDKE, 2002)	47
Tab. 8:	Entwicklung der Leitfähigkeit bei stiller Kühlung und bei Schockkühlung, angegeben in mS/cm (SCHWÄGELE, 1993).....	48
Tab. 9:	Messungen gesamt, Übersicht.....	73
Tab. 10:	Postmortale Temperaturen in der Muskulatur, Einstellwerte für pH-Star CPU.....	77
Tab. 11:	Anzahl der gemessenen Tiere, Aufteilung nach Handelsklasse.....	79
Tab. 12:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	82
Tab. 13:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	84
Tab. 14:	Vergleich der pH _{0,5} -Mittelwerte im M. long. dorsi ausgewählter Betriebe stimuliert/nicht stimuliert.....	88
Tab. 15:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	89
Tab. 16:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	91
Tab. 17:	pH-Werte M. long. dorsi in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	94

Tab. 18:	pH-Werte <i>M. long. dorsi</i> in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	96
Tab. 19:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	98
Tab. 20:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	101
Tab. 21:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	104
Tab. 22:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	108
Tab. 23:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	111
Tab. 24:	pH-Werte <i>M. semimembranosus</i> in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	114
Tab. 25:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	124
Tab. 26:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	128
Tab. 27:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	131
Tab. 28:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	133
Tab. 29:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	137
Tab. 30:	Werte elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	139
Tab. 31:	Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	146
Tab. 32:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	148
Tab. 33:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	150
Tab. 34:	Reflexionswerte in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	151
Tab. 35:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	153

Tab. 36:	Reflexionswerte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	154
Tab. 37:	Q-Werte in Abhängigkeit von der Stimulierung, Übersicht.....	157
Tab. 38:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb.....	158
Tab. 39:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	159
Tab. 40:	Q-Werte in Abhängigkeit von der Handelsklasse.....	160
Tab. 41:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Stallpersonal.....	162
Tab. 42:	Q-Werte in Abhängigkeit vom Wasserverbrauch.....	163
Tab. 43:	Herkünfte der untersuchten Einzelbetriebe.....	169
Tab. 44:	Anteil an Schlachttierkörpern mit PSE-Eigenschaften in Abhängigkeit vom Herkunftsbetrieb in %.....	169
Tab. 45:	Korrelationen nach Pearson aller untersuchten Schlachttiere ohne Stimulierung.....	216
Tab. 46:	Korrelationen nach Pearson, alle untersuchten Schlachttiere mit Stimulierung.....	217
Tab. 47:	Korrelationen nach Pearson, n = 205, Kohorte ohne Lücken.....	218
Tab. 48:	Korrelationen nach Pearson, alle untersuchten Schlachttierkörper.....	219
Tab. 49:	Korrelationen nach Pearson der Schlachttier und -betriebs abhängigen Parameter mit pH-Werten, ganze Kohorte.....	220
Tab. 50:	Korrelationen nach Pearson der erfassten Parameter in Abhängigkeit von Schlachttieren und -betrieb, nicht stimuliert.....	221
Tab. 51:	Korrelationen nach Pearson der erfassten Parameter in Abhängigkeit von Schlachttieren und -betrieb, stimuliert.....	222
Tab. 52:	Korrelationen der Q-Werte in Abhängigkeit von Schlacht- tier und -betrieb, stimuliert und nicht stimuliert.....	223
Tab. 53:	Anzahl der untersuchten Schlachttierkörper, stimuliert und nicht stimuliert.....	224

10. Anhang

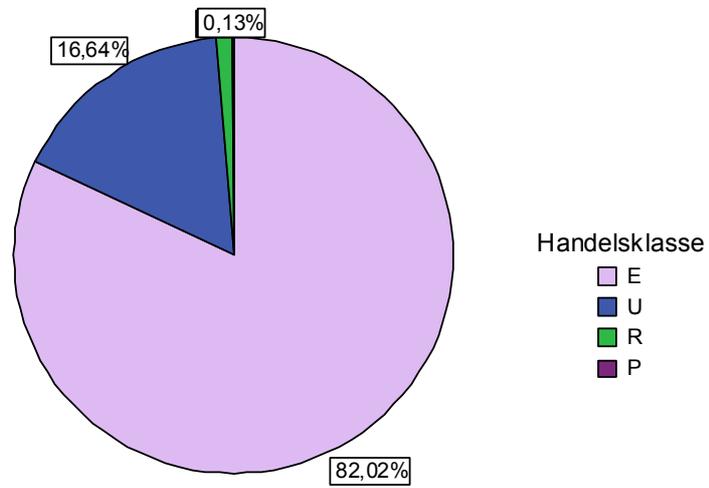


Abbildung 40: Prozentualer Anteil der Handelsklasse der untersuchten Schlachttierkörper

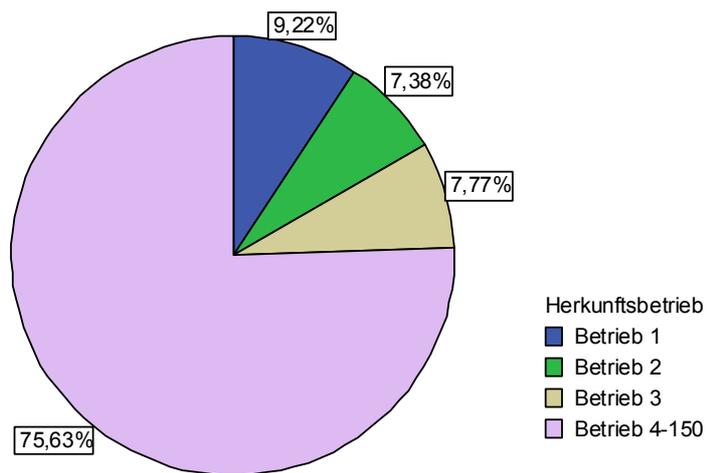


Abbildung 41: Prozentualer Anteil der Herkünfte der untersuchten Schlachttierkörper

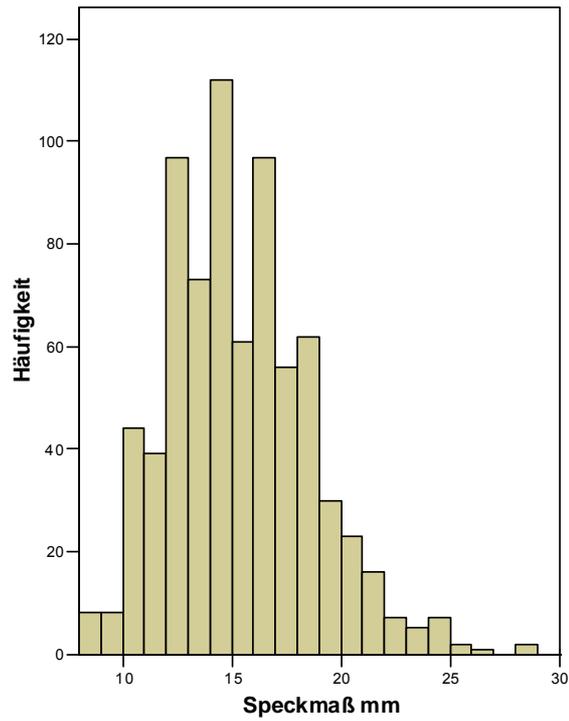


Abbildung 42: Verteilung des Speckmaßes der untersuchten Schlachttierkörper

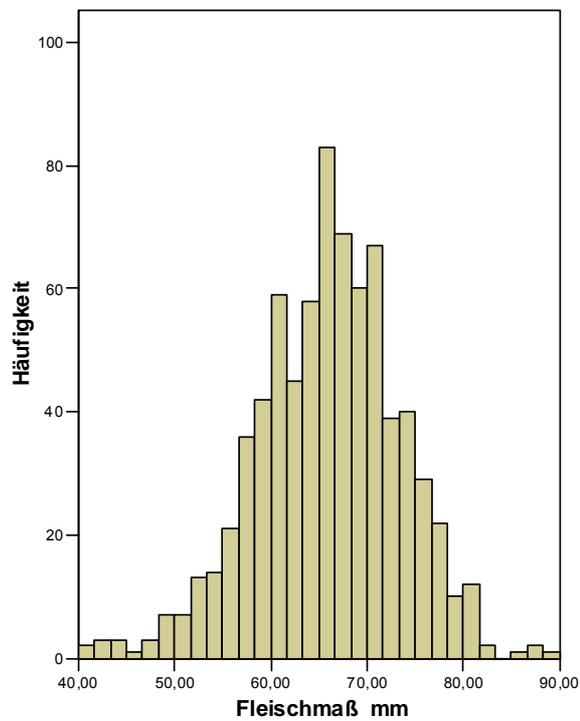


Abbildung 43: Verteilung des Fleischmaßes der untersuchten Schlachttierkörper

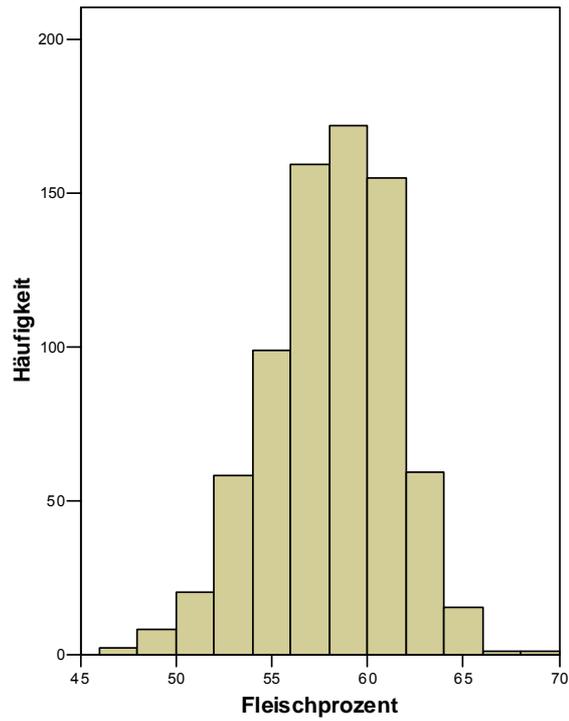


Abbildung 44: Häufigkeit des prozentualen Fleischanteiles der untersuchten Schlachttierkörper

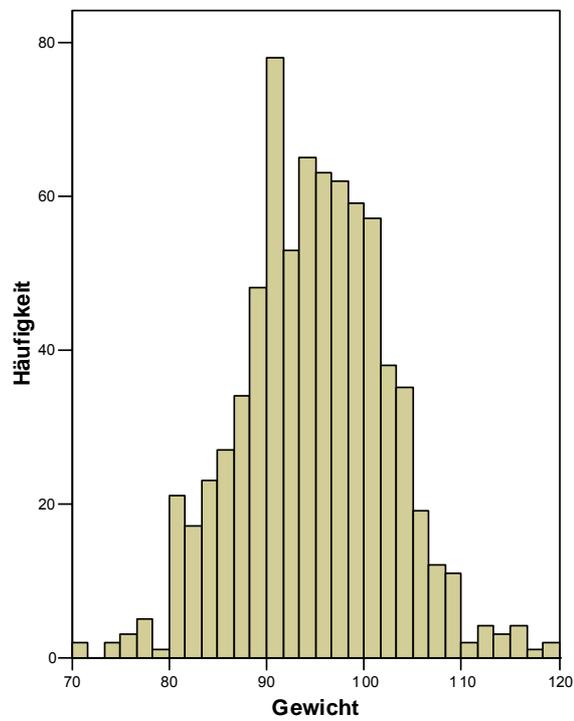


Abbildung 45: Verteilung des Schlachtgewichtes der untersuchten Schlachttierkörper

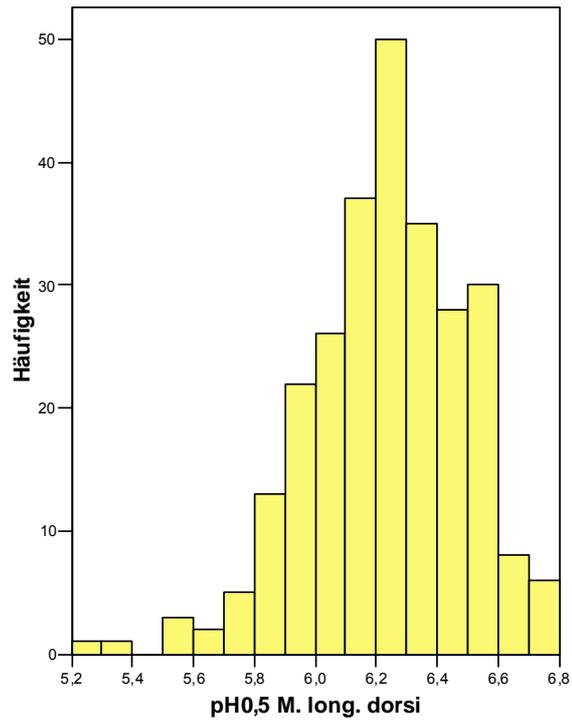


Abbildung 46: Verteilung pH_{0,5}-Werte bei nicht stimulierten Schlachttieren

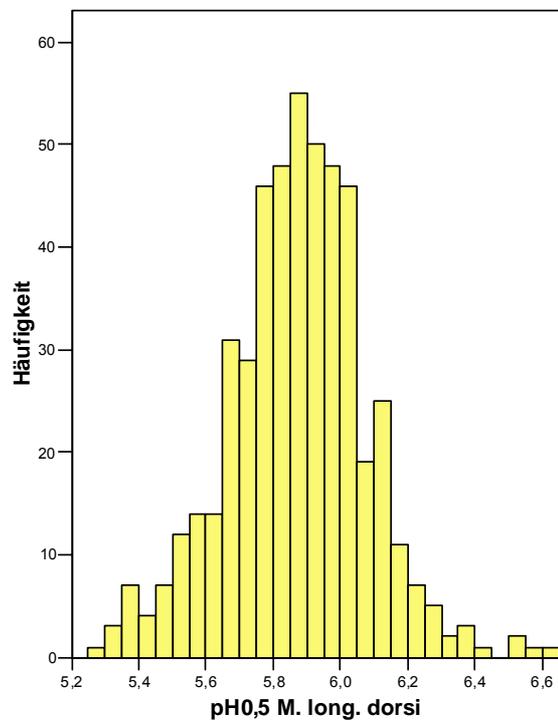


Abbildung 47: Verteilung pH_{0,5}-Werte bei stimulierten Schlachttieren

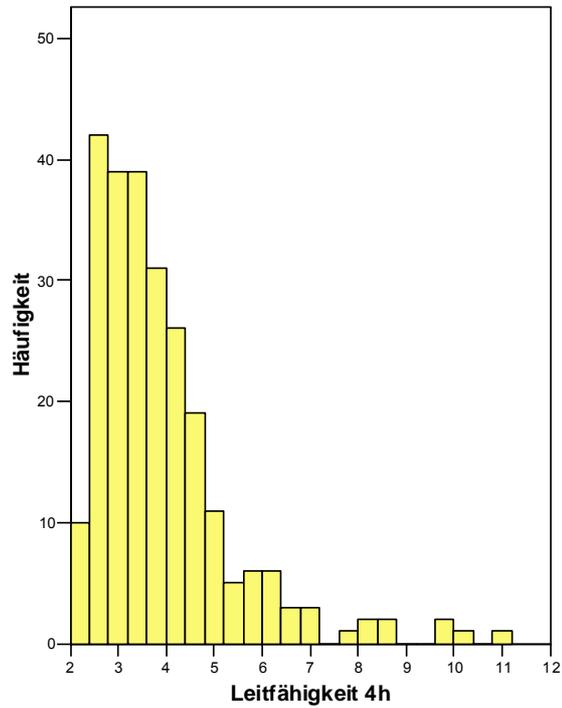


Abbildung 48: Verteilung der Leitfähigkeitswerte 4 h p.m. bei nicht stimulierten Schlachttieren

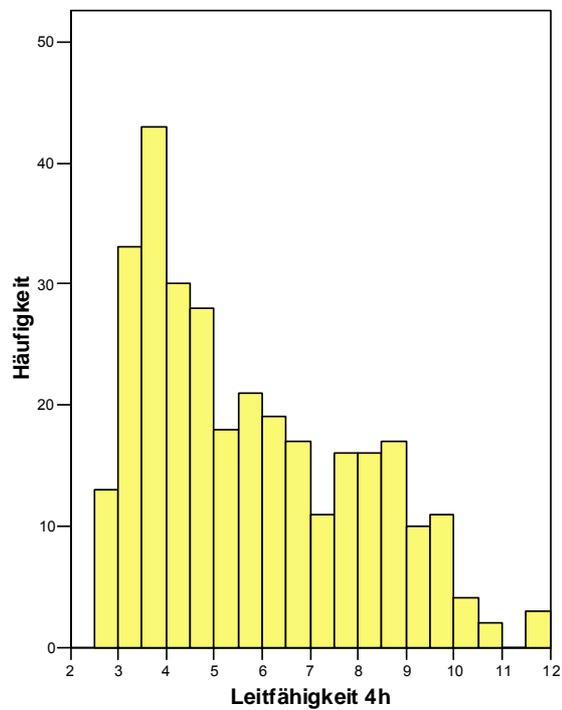


Abbildung 49: Verteilung der Leitfähigkeitswerte 4 h p.m. bei stimulierten Schlachttieren

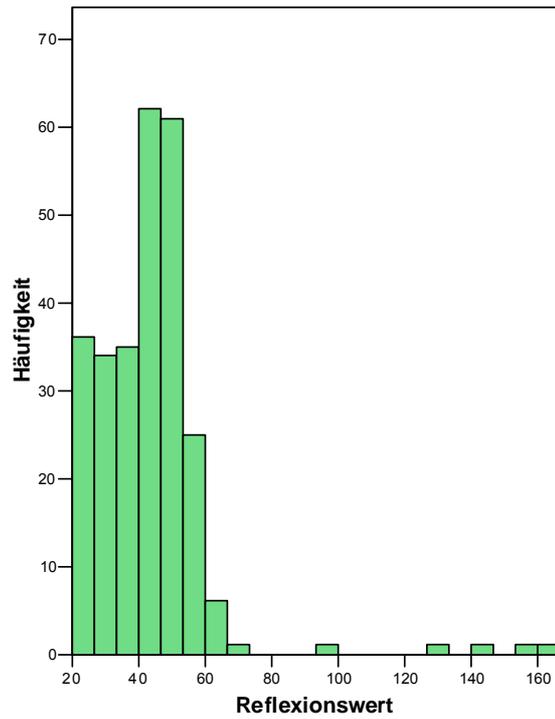


Abbildung 50: Verteilung der Reflexionswerte bei nicht stimulierten Schlachttieren

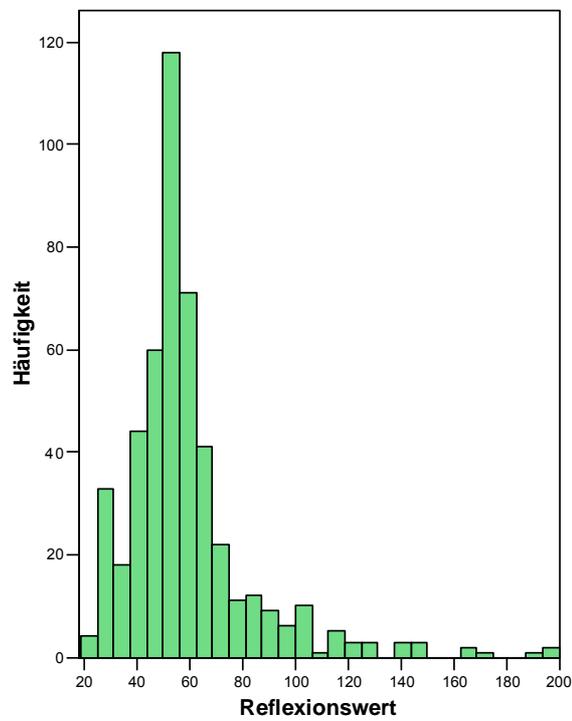


Abbildung 51: Verteilung der Reflexionswerte bei stimulierten Schlachttieren

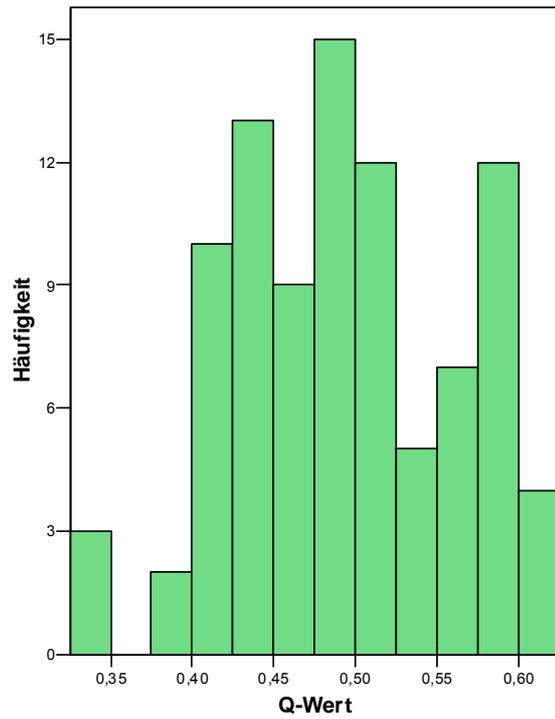


Abbildung 52: Verteilung der Q-Werte bei nicht stimulierten Schlachttieren

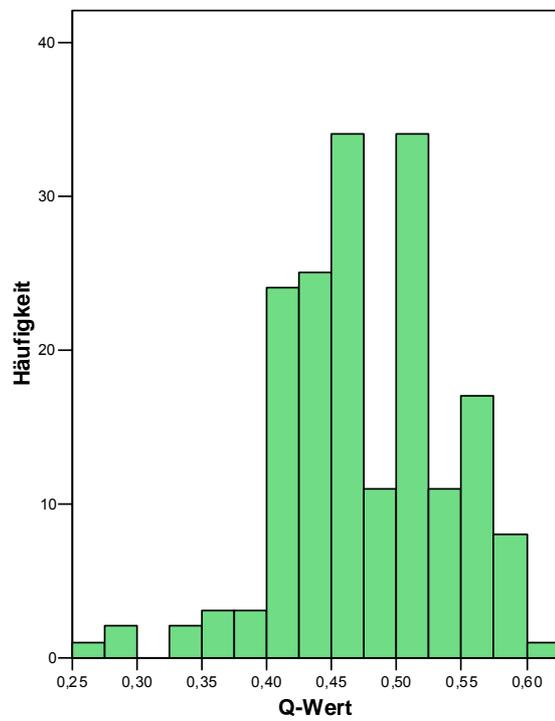


Abbildung 53: Verteilung der Q-Werte bei stimulierten Schlachttieren

		pH _{0,5} MLD	pH ₄ MLD	pH ₁₂ MLD	pH ₁₈ MLD	pH _{0,5} M. semim.	pH ₄ M. semim.	pH ₁₂ M. semim.	pH ₁₈ M. semim.	LF _{0,5}	LF ₄	LF ₁₂	LF ₁₈	RW	Q-Wert
pH _{0,5} MLD	Korrelation	1	0,616	0,355	0,326	0,600	0,414	0,263	0,268	-0,485	-0,583	-0,558	-0,506	-0,495	-0,064
	Signifikanz		0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,545
pH ₄ MLD	Korrelation		1	0,640	0,551	0,475	0,543	0,458	0,516	-0,277	-0,407	-0,362	-0,429	-0,209	-0,185
	Signifikanz			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,078
pH ₁₂ MLD	Korrelation			1	0,717	0,302	0,454	0,588	0,625	-0,201	-0,227	-0,230	-0,244	-0,146	-0,179
	Signifikanz				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,021	0,024	0,090
pH ₁₈ MLD	Korrelation				1	0,270	0,336	0,559	0,614	-0,230	-0,141	-0,157	-0,245	-0,095	-0,124
	Signifikanz					0,009	0,001	0,000	0,000	0,027	0,180	0,136	0,020	0,371	0,245
pH _{0,5} M. semim.	Korrelation					1	0,624	0,297	0,212	-0,358	-0,469	-0,444	-0,370	-0,373	-0,028
	Signifikanz						0,000	0,000	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,789
pH ₄ M. semim.	Korrelation						1	0,578	0,457	-0,243	-0,315	-0,262	-0,201	-0,164	-0,084
	Signifikanz							0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,011	0,428
pH ₁₂ M. semim.	Korrelation							1	0,703	-0,084	-0,109	-0,093	-0,126	-0,042	-0,211
	Signifikanz								0,000	0,195	0,095	0,151	0,239	0,521	0,044
pH ₁₈ M. semim.	Korrelation								1	-0,145	-0,067	-0,062	-0,049	0,048	-0,253
	Signifikanz									0,169	0,526	0,558	0,649	0,651	0,016
LF _{0,5}	Korrelation									1	0,612	0,546	0,322	0,698	-0,031
	Signifikanz										0,000	0,000	0,002	0,000	0,768
LF ₄	Korrelation										1	0,805	0,693	0,638	-0,209
	Signifikanz											0,000	0,000	0,000	0,045
LF ₁₂	Korrelation											1	0,769	0,570	-0,257
	Signifikanz												0,000	0,000	0,014
LF ₁₈	Korrelation												1	0,526	-0,151
	Signifikanz													0,000	0,161
RW	Korrelation													1	-0,152
	Signifikanz														0,149

Tabelle 45: Korrelationen nach Pearson aller untersuchten Schlachttiere ohne Stimulierung

		pH _{0,5} MLD	pH ₄ MLD	pH ₁₂ MLD	pH ₁₈ MLD	pH _{0,5} M. semim.	pH ₄ M. semim.	pH ₁₂ M. semim.	pH ₁₈ M. semim.	LF _{0,5}	LF ₄	LF ₁₂	LF ₁₈	RW	Q-Wert
pH _{0,5} MLD	Korrelation	1	0,499	0,281	0,146	0,682	0,360	0,062	0,044	-0,536	-0,672	-0,647	-0,559	-0,512	0,140
	Signifikanz		0,000	0,000	0,107	0,000	0,000	0,279	0,626	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064
pH ₄ MLD	Korrelation		1	0,694	0,285	0,412	0,545	0,377	0,194	-0,185	-0,517	-0,507	-0,446	-0,303	0,042
	Signifikanz			0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,031	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,584
pH ₁₂ MLD	Korrelation			1	0,755	0,270	0,477	0,564	0,418	-0,061	-0,347	-0,309	-0,284	-0,190	-0,024
	Signifikanz				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,282	0,000	0,000	0,001	0,001	0,758
pH ₁₈ MLD	Korrelation				1	0,164	0,294	0,551	0,562	-0,062	-0,204	-0,103	-0,198	-0,031	0,162
	Signifikanz					0,068	0,001	0,000	0,000	0,495	0,023	0,257	0,027	0,738	0,076
pH _{0,5} M. semim.	Korrelation					1	0,656	0,251	0,264	-0,509	-0,611	-0,601	-0,477	-0,473	0,130
	Signifikanz						0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,086
pH ₄ M. semim.	Korrelation						1	0,610	0,497	-0,186	-0,456	-0,457	-0,373	-0,368	0,103
	Signifikanz							0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,178
pH ₁₂ M. semim.	Korrelation							1	0,838	-0,006	-0,110	-0,088	-0,211	-0,069	0,099
	Signifikanz								0,000	0,919	0,063	0,158	0,019	0,229	0,199
pH ₁₈ M. semim.	Korrelation								1	-0,015	-0,120	0,009	-0,081	0,122	0,038
	Signifikanz									0,866	0,185	0,923	0,372	0,181	0,680
LF _{0,5}	Korrelation									1	0,441	0,437	0,411	0,613	-0,188
	Signifikanz										0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
LF ₄	Korrelation										1	0,834	0,770	0,605	-0,108
	Signifikanz											0,000	0,000	0,000	0,154
LF ₁₂	Korrelation											1	0,767	0,579	-0,142
	Signifikanz												0,000	0,000	0,061
LF ₁₈	Korrelation												1	0,557	-0,228
	Signifikanz													0,000	0,012
RW	Korrelation													1	-0,201
	Signifikanz														0,008

Tabelle 46: Korrelationen nach Pearson, alle untersuchten Schlachttiere mit Stimulierung

	pH _{0,5} MLD	pH _{0,5} M. semim.	pH ₄ MLD	pH ₄ M. semim.	pH ₁₂ MLD	pH ₁₂ M. semim.	pH ₁₈ MLD	pH ₁₈ M. semim.	LF _{0,5}	LF ₄	LF ₁₂	LF ₁₈	Q-Wert	RW
pH _{0,5} MLD	1	0,711	0,663	0,469	0,386	0,370	0,272	0,158	-0,426	-0,527	-0,527	-0,526	0,136	-0,42
pH _{0,5} M. semim.		1	0,631	0,73	0,385	0,424	0,205	0,163	-0,467	-0,493	-0,489	-0,451	0,153	-0,434
pH ₄ MLD			1	0,608	0,686	0,498	0,441	0,32	-0,336	-0,463	-0,422	-0,451	0,037	-0,377
pH ₄ M. semim.				1	0,444	0,602	0,285	0,395	-0,341	-0,386	-0,374	-0,361	0,076	-0,396
pH ₁₂ MLD					1	0,63	0,699	0,473	0,207	-0,275	-0,284	-0,286	-0,037	-0,151
pH ₁₂ M. semim.						1	0,53	0,693	0,216	-0,266	-0,19	-0,235	-0,044	-0,142
pH ₁₈ MLD							1	0,545	0,114	-0,189	-0,171	-0,218	-0,184	-0,048
pH ₁₈ M. semim.								1	-0,135	-0,119	-0,034	-0,06	-0,134	0,121
LF ₁									1	0,366	0,397	0,326	-0,163	0,236
LF ₄										1	0,747	0,728	-0,231	0,508
LF ₁₂											1	0,764	-0,249	0,551
LF ₁₈												1	-0,183	0,528
Q-Wert													1	-0,187
RW														1

Tabelle 47: Korrelationen nach Pearson, n = 205, Kohorte ohne Lücken

		pH _{0,5} MLD	pH _{0,5} M. semim.	pH ₄ MLD	pH ₄ M. semim.	pH ₁₂ MLD	pH ₁₂ M. semim.	pH ₁₈ MLD	pH ₁₈ M. semim.	LF _{0,5}	LF ₄	LF ₁₂	LF ₁₈	Q-Wert	RW
pH _{0,5} MLD	Korrelation	1	0,788	0,701	0,578	0,460	0,314	0,304	0,166	-0,538	-0,696	-0,691	-0,580	0,131	-0,564
	Signifikanz		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000
pH _{0,5} M. semim.	Korrelation		1	0,631	0,752	0,443	0,399	0,285	0,211	-0,496	-0,643	-0,642	-0,498	0,142	-0,520
	Signifikanz			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000
pH ₄ MLD	Korrelation			1	0,666	0,715	0,502	0,480	0,360	-0,300	-0,551	-0,536	-0,480	0,021	-0,362
	Signifikanz				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,735	0,000
pH ₄ M. semim.	Korrelation				1	0,558	0,640	0,360	0,441	-0,291	-0,511	-0,494	-0,385	0,094	-0,388
	Signifikanz					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129	0,000
pH ₁₂ MLD	Korrelation					1	0,622	0,736	0,522	-0,192	-0,385	-0,367	-0,320	-0,035	-0,257
	Signifikanz						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,572	0,000
pH ₁₂ M. semim.	Korrelation						1	0,577	0,743	-0,106	-0,220	-0,202	-0,245	0,004	-0,147
	Signifikanz							0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,945	0,001
pH ₁₈ MLD	Korrelation							1	0,587	-0,141	-0,213	-0,184	-0,248	0,047	-0,118
	Signifikanz								0,000	0,039	0,002	0,007	0,000	0,500	0,086
pH ₁₈ M. semim.	Korrelation								1	-0,055	-0,107	-0,040	-0,076	-0,096	0,056
	Signifikanz									0,422	0,117	0,555	0,267	0,163	0,421
LF _{0,5}	Korrelation									1	0,530	0,520	0,445	-0,181	0,659
	Signifikanz										0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
LF ₄	Korrelation										1	0,858	0,774	-0,174	0,662
	Signifikanz											0,000	0,000	0,004	0,000
LF ₁₂	Korrelation											1	0,793	-0,214	0,626
	Signifikanz												0,000	0,000	0,000
LF ₁₈	Korrelation												1	-0,256	0,598
	Signifikanz													0,000	0,000
Q-Wert	Korrelation													1	-0,214
	Signifikanz														0,000

Tabelle 48: Korrelationen nach Pearson, alle untersuchten Schlachttierkörper

		pH _{0,5} MLD	pH ₄ MLD	pH ₁₂ MLD	pH ₁₈ MLD	pH _{0,5} M. semim.	pH ₄ M. semim.	pH ₁₂ M. semim.	pH ₁₈ M. semim.	Q-Wert	Betrieb	Ge-schlecht	HK	Personal	Wasser-verbrauch
pH _{0,5} MLD	Korr.	1	0,701	0,460	0,304	0,788	0,578	0,314	0,166	0,131	-0,039	0,138	-0,001	0,184	0,478
	Signifik.		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,032	0,287	0,000	0,973	0,000	0,000
pH ₄ MLD	Korr.		1	0,715	0,480	0,631	0,666	0,502	0,360	0,021	-0,163	0,020	-0,013	0,106	0,405
	Signifik.			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,735	0,000	0,633	0,762	0,035	0,000
pH ₁₂ MLD	Korr.			1	0,736	0,443	0,558	0,622	0,522	-0,035	-0,154	0,066	-0,021	0,043	0,309
	Signifik.				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,572	0,000	0,123	0,623	0,400	0,000
pH ₁₈ MLD	Korr.				1	0,285	0,360	0,577	0,587	0,047	-0,024		0,050	0,224	
	Signifik.					0,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,728	0,000	0,470	0,032	0,000
pH _{0,5} M. semim.	Korr.					1	0,752	0,399	0,211	0,142	-0,054	0,109	-0,054	0,202	0,494
	Signifik.						0,000	0,000	0,002	0,020	0,138	0,003	0,141	0,000	0,000
pH ₄ M. semim.	Korr.						1	0,640	0,441	0,094	-0,193	0,045	-0,041	0,142	0,404
	Signifik.							0,000	0,000	0,129	0,000	0,290	0,341	0,005	0,000
pH ₁₂ M. semim.	Korr.							1	0,743	0,004	-0,268	0,036	-0,071	0,022	0,210
	Signifik.								0,000	0,945	0,000	0,396	0,099	0,661	0,000
pH ₁₈ M. semim.	Korr.								1	-0,096	-0,114		-0,012	0,258	
	Signifik.									0,163	0,094	0,000	0,858	0,013	0,000
Q-Wert	Korr.									1	0,065	-0,072	-0,002	-0,237	-0,171
	Signifik.										0,289	0,239	0,974	0,011	0,005
Betrieb	Korr.										1	0,136	0,105	-0,050	-0,222
	Signifik.											0,000	0,004	0,230	0,000
Ge-schlecht	Korr.											1	-0,086	-0,349	0,266
	Signifik.												0,018	0,000	0,000
HK	Korr.												1	-0,011	-0,074
	Signifik.													0,794	0,042
Personal	Korr.													1	0,089
	Signifik.														0,032

Tabelle 49: Korrelationen nach Pearson der Schlachttier und -betriebs abhängigen Parameter mit pH-Werten, ganze Kohorte

Nicht stimuliert		Betrieb	Ge- schlecht	HK	Personal	Wasser- verbrauch
pH _{0,5} MLD	Korrelation	0,095	0,152	0,177	-0,158	.(a)
	Signifikanz	0,120	0,013	0,004	0,010	.
pH ₄ MLD	Korrelation	-0,099	0,027	0,174	0,035	.(a)
	Signifikanz	0,126	0,679	0,007	0,587	.
pH ₁₂ MLD	Korrelation	-0,099	0,082	0,104	-0,014	.(a)
	Signifikanz	0,127	0,210	0,110	0,825	.
pH ₁₈ MLD	Korrelation	0,039	.(a)	0,147	0,224	.(a)
	Signifikanz	0,713	0,000	0,163	0,032	.
pH _{0,5} M. semim.	Korrelation	0,054	0,155	0,089	-0,123	.(a)
	Signifikanz	0,377	0,011	0,147	0,044	.
pH ₄ M. semim.	Korrelation	-0,197	0,029	0,177	0,031	.(a)
	Signifikanz	0,002	0,654	0,006	0,630	.
pH ₁₂ M. semim.	Korrelation	-0,213	0,039	0,114	0,030	.(a)
	Signifikanz	0,001	0,552	0,079	0,650	.
pH ₁₈ M. semim.	Korrelation	0,089	.(a)	0,160	0,258	.(a)
	Signifikanz	0,397	0,000	0,128	0,013	.
LF _{0,5}	Korrelation	0,018	-0,084	-0,091	0,076	.(a)
	Signifikanz	0,771	0,170	0,138	0,218	.
LF ₄	Korrelation	-0,043	-0,140	-0,164	0,197	.(a)
	Signifikanz	0,502	0,027	0,010	0,002	.
LF ₁₂	Korrelation	-0,013	-0,138	-0,107	0,189	.(a)
	Signifikanz	0,838	0,030	0,093	0,003	.
LF ₁₈	Korrelation	-0,041	.(a)	-0,069	0,221	.(a)
	Signifikanz	0,699	0,000	0,516	0,037	.
RW	Korrelation	-0,146	-0,459	-0,025	0,559	.(a)
	Signifikanz	0,017	0,000	0,688	0,000	.
Betrieb	Korrelation	1	0,233	0,057	-0,326	.(a)
	Signifikanz		0,000	0,350	0,000	.
Geschlecht	Korrelation		1	-0,137	-0,830	.(a)
	Signifikanz			0,026	0,000	.
HK	Korrelation			1	0,067	.(a)
	Signifikanz				0,274	.
Personal	Korrelation				1	.(a)
	Signifikanz					.
Wasserverbrauch	Korrelation					.(a)
	Signifikanz					

(a) kann nicht berechnet werden, da mind. eine der Variablen konstant ist

Tabelle 50: Korrelationen nach Pearson der erfassten Parameter in Abhängigkeit von Schlachttieren und -betrieb, nicht stimuliert

Stimuliert		Betrieb	Ge- schlecht	HK	Personal	Wasser- verbrauch
pH _{0,5} MLD	Korrelation	-0,058	0,201	0,054	0,107	0,269
	Signifikanz	0,201	0,000	0,239	0,061	0,000
pH ₄ MLD	Korrelation	-0,122	0,142	-0,002	0,002	0,194
	Signifikanz	0,031	0,012	0,968	0,981	0,001
pH ₁₂ MLD	Korrelation	-0,131	0,138	-0,021	-0,038	0,176
	Signifikanz	0,022	0,015	0,710	0,640	0,002
pH ₁₈ MLD	Korrelation	-0,157	.(a)	0,044	.(a)	.(a)
	Signifikanz	0,082	0,000	0,626	.	0,000
pH _{0,5} M. semim.	Korrelation	-0,049	0,149	0,008	0,075	0,254
	Signifikanz	0,274	0,001	0,855	0,192	0,000
pH ₄ M. semim.	Korrelation	-0,070	0,183	-0,055	0,137	0,178
	Signifikanz	0,216	0,001	0,339	0,091	0,002
pH ₁₂ M. semim.	Korrelation	-0,276	0,095	-0,129	-0,170	0,037
	Signifikanz	0,000	0,095	0,024	0,036	0,511
pH ₁₈ M. semim.	Korrelation	-0,232	.(a)	-0,114	.(a)	.(a)
	Signifikanz	0,010	0,000	0,209	.	0,000
LF _{0,5}	Korrelation	0,051	-0,021	-0,022	-0,120	0,005
	Signifikanz	0,259	0,635	0,636	0,035	0,914
LF ₄	Korrelation	0,207	-0,291	0,000	-0,167	-0,411
	Signifikanz	0,000	0,000	0,999	0,038	0,000
LF ₁₂	Korrelation	0,077	-0,181	-0,046	-0,274	-0,304
	Signifikanz	0,208	0,003	0,456	0,003	0,000
LF ₁₈	Korrelation	0,175	.(a)	0,025	.(a)	.(a)
	Signifikanz	0,052	0,000	0,785	.	0,000
RW	Korrelation	0,033	-0,181	0,066	-0,071	-0,063
	Signifikanz	0,471	0,000	0,149	0,219	0,170
Betrieb	Korrelation	1	0,078	0,120	0,301	-0,289
	Signifikanz		0,082	0,008	0,000	0,000
Geschlecht	Korrelation		1	-0,068	-0,097	0,400
	Signifikanz			0,132	0,089	0,000
HK	Korrelation			1	0,015	-0,008
	Signifikanz				0,792	0,855
Personal	Korrelation				1	-0,416
	Signifikanz					0,000
Wasserverbrauch	Korrelation					1
	Signifikanz					

(a) kann nicht berechnet werden, da mind. eine der Variablen konstant ist

Tabelle 51: Korrelationen nach Pearson der erfassten Parameter in Abhängigkeit von Schlachttieren und -betrieb, stimuliert

		Q-Wert	Betrieb	Geschlecht	HK	Personal	Wasser- verbrauch
nicht stimuliert							
Q-Wert	Korrelation	1	-0,076	.(a)	0,076	-0,256	.(a)
	Signifikanz		0,473	0,000	0,472	0,014	.
stimuliert							
Q-Wert	Korrelation	1	0,053	-0,134	-0,007	.(a)	-0,313
	Signifikanz		0,481	0,077	0,929	0,000	0,000

(a) kann nicht berechnet werden, da mind. eine der Variablen konstant ist.

Tabelle 52: Korrelationen der Q-Werte in Abhängigkeit von Schlachtieren und -betrieb, stimuliert und nicht stimuliert

	pH-Wert		LF		RW		Q-Wert		
	nicht stimuliert	stimuliert							
Herkunfts- betrieb	B 1	31	39	31	39	31	39	0	5
	B 2	30	26	30	26	30	26	0	23
	B 3	8	51	8	51	8	50	8	22
	B 4-150	198	375	198	375	196	328	84	126
Geschlecht	männlich	88	180	88	180	88	179	0	13
	weiblich	81	110	81	110	80	108	0	7
HK	E	236	380	236	380	235	349	84	137
	U	27	98	27	98	27	87	7	38
	R	3	6	3	6	3	6	3	6
	P	0	1	0	1	0	1	0	1
Personal	MA 1	26	0	26	0	26	0	26	0
	MA 2	47	189	47	189	46	188	44	23
	MA 3	22	0	22	0	22	0	22	0
	MA 4	0	57	0	57	0	56	0	0
	MA 5	172	61	172	61	171	60	0	0
Wasser	viel Wasser	267	208	267	208	265	132	92	122
	wenig Wasser	0	284	0	284	0	281	0	54

Tabelle 53 : Anzahl der untersuchten Schlachttierkörper, stimuliert und nicht stimuliert

11. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Univ.-Prof. Dr. A. Stolle, Vorstand des Instituts für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München für die freundliche Überlassung des Themas, seine stetige Unterstützung in allen Belangen und der raschen Korrektur des Manuskriptes.

Frau Dr. Sonja Forster für ihr unermüdliches Engagement, ihre immerwährende liebevolle Hilfsbereitschaft und Motivation, die schnelle Korrektur und ihre äußerst kompetente Hilfe und Unterstützung auch an Wochenenden in allen Fragen rund um die Dissertation.

Herrn Dipl. Ing. Reinhard Hemmeter, ohne den die Anfertigung der Dissertation nicht möglich gewesen wäre, für die unermüdliche Unterstützung bei der Kinderbetreuung, seine Motivation, sowie für die Hilfen bei der Korrektur.

Frau Agnes und Elisabeth Deiss für die Durchsicht des Manuskriptes und Frau Dr. Brigitte Sperner, die die Übersetzung ins Englische anfertigte.

Herrn Dr. Basel für die Unterstützung im organisatorischen Ablauf der Messungen, die Möglichkeit Einrichtungen des Schlachtbetriebes zu nutzen und dem Interesse an der Arbeit.

Herrn Boosen, Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, für die freundliche Überlassung der Untersuchungsergebnisse des Stimuliergerätes.

Herrn Veeh, Fleischprüfing Bayern e.V., für seine bereitwillige Unterstützung sowohl in organisatorischen, als auch in fachlichen Bereichen. Allen Mitarbeitern des Schlachtbetriebes und des Städtischen Fleischhygieneamtes die mit dafür sorgten, dass Organisation, Kennzeichnung und Untersuchungsabläufe an den Untersuchungstagen reibungslos vonstatten gehen konnten.