

Aus dem Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Scholz

Schlachtkörperzusammensetzung und –qualität von Mastebnern

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

von Elisabeth Brigitte Lauterbach

aus Erlangen

München 2012

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Prof. Dr. Scholz
Korreferent/en:	Priv.-Doz. Dr. Kölle

Tag der Promotion: 21 Juli 2012

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	1
2. <u>Literatur und Quellen</u>	3
2.1. Ebergeruch	3
2.1.1. Androstenon - Entstehung und Funktion	4
2.1.2. Metabolismus von Androstenon	5
2.1.3. Skatol und Indol	7
2.2. Sensorische Untersuchung auf Ebergeruch	8
2.3. Einflüsse auf die Ausprägung des Ebergeruchs	10
2.3.1. Photoperiode	10
2.3.2. Genetik	11
2.3.3. Fütterung	12
2.3.4. Alter und Gewicht	13
2.3.5. Haltung	14
2.3.6. Bisherige Erfolge der Geruchsreduktion	15
2.4. Kastration männlicher Ferkel	15
2.5. Alternativen zu betäubungslosen chirurgischen Kastration männlicher Ferkel	17
2.5.1. Injektionsnarkose	18
2.5.2. Spermasexing	18
2.5.3. Immunokastration	19
2.5.4. Lokalanästhesie	20
2.5.5. Schmerzmittelgabe	21
2.5.6. Inhalationsanästhesie	22
2.6. Die Ebermast	23
2.6.1. Gesetzliche Grundlage der Ebermast	23
2.6.2. Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern	24
2.7. Nachteile der Ebermast	26
2.7.1. Ebergeruch und seine Akzeptanz in Produkten	26
2.7.2. Fettkonsistenz	28

2.7.3. Geringer intramuskulärer Fettgehalt	28
2.7.4. Erhöhte Aggressivität	29
2.7.5. Geringere Ausschachtung	30
2.8. Vorteile der Ebermast	30
2.8.1. Tierschutz	30
2.8.2. Ökonomische Vorteile	30
2.8.3. Umweltschutz	33
2.9. Schlachtkörperqualität und Schlachtkörperwert von Schweinen	33
2.10. Immunologische Methoden zum Nachweis von Substanzen	40
2.11. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung	41
2.11.1. Indirekte Methoden	42
2.11.1.1. Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)	42
2.11.1.2. Ultraschall	43
2.11.1.3. Computertomographie (CT)	44
2.11.1.4. Bioelektrische Impedanz (BIA)	45
2.11.1.5. Total body electrical conductivity (TOBEC)	46
2.11.1.6. Nahinfrarot-Interaktanz	47
2.11.1.7. Densitometrie	48
2.11.1.8. Anthropometrie	49
2.11.1.9. Verdünnungsmethoden	49
2.11.1.10. Gesamtkörperkalium	50
2.11.2. Direkte Methoden	51
2.11.2.1. Chemische Analyse (chem. Analyse)	51
2.11.2.2. Neutronenaktivierungsanalyse	52
2.11.3. Dualenergie- Röntgenabsorptiometrie (DXA)	53
2.11.3.1. Funktionsweise der DXA	53
2.11.3.2. Einsatzgebiete der DXA	55
2.11.3.3. DXA-Untersuchungen am Schwein	56
2.11.3.4. Genauigkeit der Messergebnisse des GE Lunar DPX-IQ	59
3. <u>Versuch1</u>	61
3.1. Material und Methode	61
3.1.1. Tiermaterial	61

3.1.2.	Verwendetes Dualenergie-Röntgenabsorptiometriegerät: GE Lunar DPX-IQ	64
3.1.3.	Scannen der Schlachtkörperhälften	65
3.1.4.	Einteilung der Regions of Interest (ROI)	66
3.1.5.	Auswertung	68
3.2.	Ergebnisse	68
3.2.1.	BMC	68
3.2.2.	BMD	70
3.2.3.	Absoluter Fettgehalt	72
3.2.4.	Relativer Fettgehalt	74
3.2.5.	Absoluter Magerweichgewebegehalt	76
3.2.6.	Relativer Magerweichgewebegehalt	78
3.2.7.	Muskelfleischanteil LPA (MFA LPA nach Schleißheimer Formel für DXA-Ergebnisse – MFA Teil5)	80
3.2.8.	Muskelfleischanteil LPA Bauch (nach Schleißheimer Formel für DXA-Ergebnisse)	82
4.	<u>Versuch 2</u>	84
4.1.	Material und Methode	84
4.1.1.	Tiermaterial	84
4.1.2.	Probenentnahme, sensorische Prüfung und Androstenonbestimmung	85
4.1.3.	Auswertung	87
4.2.	Ergebnisse	89
4.2.1.	Sensorische Untersuchung	89
4.2.2.	Androstenongehalt	92
4.2.3.	Schlachtkörperzusammensetzung und Schlachtkörperqualität	94
5.	<u>Diskussion</u>	99
5.1.	Versuch1	
5.1.1.	Tiermaterial	99
5.1.2.	Körperfett und Magerweichgewebe der Eber unterschiedlicher Herkunft	99

5.1.3.	Fett- und Magerweichgewebeanteil der Teilregionen	103
5.1.4.	Schlachtkörperwert anhand des Muskelfleischanteils	104
5.1.5.	Einfluss der Gewichtsgruppe auf die Weichgewebe- Schlachtkörperzusammensetzung	106
5.1.6.	Knochenmineralgehalt und Knochendichte	108
5.2.	Versuch 2	109
5.2.1.	Sensorische Untersuchung und Androstenonbestimmung	109
5.2.2.	Abhängigkeit des Androstenons vom Schlachtgewicht	113
5.2.3.	Abhängigkeit des Androstenons von der Genetik	114
5.2.4.	Schlachtkörpermerkmale und Fleischqualität	115
5.2.5.	Schlachtkörpermerkmale und Fleischqualität in Abhängigkeit von den sensorischen Ergebnissen	116
5.2.6.	Schlachtkörpermerkmale und Fleischqualität in Abhängigkeit von dem Gewicht	117
5.2.7.	Schlussfolgerung	118
6.	<u>Zusammenfassung</u>	119
7.	<u>Summary</u>	122
8.	<u>Literaturverzeichnis</u>	125
9.	<u>Danksagung</u>	145

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb.1: Androstenonbiosynthese und Synthese verwandter Steroide im Hoden, aus Bracher-Jakob, 2000	5
Abb.2: Androstenonstoffwechsel, nach Zamaratskaia et al., 2009	6
Abb.3: Bakterieller Tryptophanabbau im Darm, aus Claus et al., 1994	7
Abb.4: Skatolkonzentration ($\mu\text{g/l}$ Blutplasma) verschiedener Schweine- rassen (Yorkshire, Hampshire, Landrasse und Duroc) in Abhän- gigkeit des Alters (Tage), aus Babol, 2004. Die gestrichelte Linie entspricht 0,20 ppm Skatol im Fettgewebe.	13
Abb.5: Schlachtkörperzusammensetzung der Börgen und Eber im Vergleich, nach Dobrowolski et al., 1995	25
Abb.6: Verlaufsformen des pH-Abfalls im Schweinefleisch bis 24 Stunden nach dem Schlachten, aus Littmann et al., 2006	37
Abb.7: Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung mittels DXA- Analyse, mit den drei Komponenten Fett-, Magerweichge- webe und Knochenmineralstoffen, modifiziert nach Scholz, 2002	53
Abb.8: Evaluierung der VCP-Messergebnisse für „Adult normal“ mit Wirbelsäulenphantom, aus Ruge, 2006	60
Abb.9: Scanvorgang mit auf dem Scantisch gelagerter Schlachtkörperhälfte	65
Abb.10: DXA-Bild mit Teilregionen (ROI)	66
Abb.11: Probenentnahme am Schlachtkörper für die sensorische Untersuchung und die Androstenonkonzentrationsbestimmung	86
Abb.12: Geruchssensorische Ergebnisse des Mikrowellendiathermie- verfahrens (MWD); sensorisch auffällige und unauffällige Proben der Eber (n=123) in Prozent (%)	89
Abb.13: Geruchssensorische Ergebnisse nach dem Kaltansatz; auffällige (+;++) und unauffällige Proben der Eber (n=123) in Prozent (%)	90
Abb.14: Geruchsauffälligkeiten nach der Ausschmelzprobe; auffällige (+; ++) und unauffällige Proben der Eber (n=123) in Prozent (%)	91

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab.1: Einteilung der Handelsklassen	39
Tab.2: Ebergenotypen in Versuch 1	61
Tab.3: Alter der Eber	62
Tab.4: Anzahl der Eber verschiedener Herkunft in den zwei Gewichtsgruppen	63
Tab.5: Durchschnittsschlachtkörpergewichte der Eber	63
Tab.6: Durchschnittsschlachtkörpergewichte der Eber in den 2 Gewichtsgruppen	64
Tab.7: BMC der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)	69
Tab.8: BMC der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	69
Tab.9: BMC-Werte der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	70
Tab.10: BMD-Gehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)	71
Tab.11: BMD der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	71
Tab.12: BMD der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	72
Tab.13: Absoluter Fettgehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)	73
Tab.14: Absoluter Fettgehalt der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	73
Tab.15: Absoluter Fettgehalt der Teile von Ebern unterschied- licher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	74
Tab.16: Relativer Fettgehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)	75
Tab.17: Relativer Fettgehalt der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	75
Tab.18: Relativer Fettgehalt der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	76

Tab.19:	Absoluter Magerweichgewebegehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)	77
Tab.20:	Absoluter Magerweichgewebegehalt der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	77
Tab.21:	Absoluter Magerweichgewebegehalt (MWG, g) der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	78
Tab.22:	Relativer Magerweichgewebegehalt (MWG, %) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)	79
Tab.23:	Relativer Magerweichgewebegehalt der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	79
Tab.24:	Relativer Magerweichgewebegehalt der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	80
Tab.25:	Muskelfleischanteil LPA (%) der Eber verschiedener Herkunft (LSM \pm SEE)	81
Tab.26:	Muskelfleischanteil LPA (%) der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	81
Tab.27:	Muskelfleischanteil LPA (%) der Eber unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	81
Tab.28:	Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber verschiedener Herkunft (LSM \pm SEE)	82
Tab.29:	Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	82
Tab.30:	Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)	83
Tab.31:	Vaterrassen und Anzahl der Eber	84
Tab.32:	Genetik der untersuchten Eber	85
Tab.33:	Androstenonwerte und entsprechender logarithmierter Wert	88
Tab.34:	Androstenongehalt (Logandro) in Abhängigkeit vom Vatergenotyp (LSM \pm SEE)	92
Tab.35:	Androstenongehalt (Logandro) der MWD-Ergebnisse (LSM \pm SEE)	92

Tab.36:	Androstenongehalt (Logandro) der Schlachtgewichtsgruppen (LSM \pm SEE)	93
Tab.37:	Verteilung der Androstenonkonzentrationen der 123 Eber in Kombination mit den Ergebnissen aus der Mikrowellendiathermie	93
Tab.38:	Merkmale des Schlachtkörperwertes aus der LPA-Prüfung in Abhängigkeit vom Vatergenotypen (LSM \pm SEE)	94
Tab.39:	Merkmale des Schlachtkörperwertes in Abhängigkeit vom MWD-Ergebnis (LSM \pm SEE)	95
Tab.40:	Merkmale des Schlachtkörperwertes in Abhängigkeit von den SGW-Gruppen (LSM \pm SEE)	96
Tab.41:	Merkmale der Fleischqualität in Abhängigkeit vom Vatergenotypen (LSM \pm SEE)	97
Tab.42:	Merkmale der Fleischqualität in Abhängigkeit vom MWD-Ergebnis (LSM \pm SEE)	97
Tab.43:	Merkmale der Fleischqualität in Abhängigkeit von den SGW-Gruppen (LSM \pm SEE)	98

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AVV LmH	Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis, in der Neufassung vom 9. Nov. 2009
ALZ	Ausschuss für Leistungsprüfungen und Zuchtwertfeststellung beim Schwein
ATP	Adenosintriphosphat
AutoFOM	automatischer Fat-O-Meater
B	Boxberg
BIA	Bioelektrische Impedanz
BMC	Bone mineral content, Knochenmineralgehalt (g)
BMD	Bone mineral density, Knochenmineraldichte (g/cm ²)
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
°C	Grad Celsius
Ca	Calcium
ca.	circa
Cd	Cadmium
Cl	Chlorid
chem.	chemisch
cm	Zentimeter
CO ²	Kohlenstoffdioxid
CT	Röntgen-Computertomographie
D	Düse
D ₂ O	„schweres Wasser“
DFD- Fleisch	dark (=dunkel), firm (=festes), dry (=trockenes) –Fleisch
DE	Deutsches Edelschwein (Schweinerasse)
DL	Deutsche Landrasse (Schweinerasse)

DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
Du	Duroc (Schweinerasse)
DXA	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie
EG	Europäische Gemeinschaft
ELISA	Enzyme-linked immunosorbent assay
EU	Europäische Union
€	Euro
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FFV	Fleisch-Fett-Verhältnis
g	Gramm
G	Grub
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon
GWGR	Gewichtsgruppe
h	Stunde
H	Wasserstoff
Ha	Hampshire (Schweinerasse)
I	Iod
Ib	Cerdo Iberico (Schweinerasse)
IMF	Intramuskulärer Fettgehalt
keV	Kiloelektronenvolt
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
l	Liter
LB	Large Black (Schweinerasse)
Lc	Leicoma (Schweinerasse)
LF	Leitfähigkeit
LF ₁	Leitfähigkeit 40-50 Minuten nach der Schlachtung
LF ₂₄	Leitfähigkeit 24 Stunden nach der Schlachtung
LFK24	Leitfähigkeit des Koteletts 24 h nach der Schlachtung
LFS24	Leitfähigkeit des Schinkens 24 h nach der Schlachtung
Logandro	Logarithmierter Androstenongehalt, (natürlicher Logarithmus [+3])
LPA	Leistungsprüfanstalt
LSM	Least squares means (Kleinste Quadrate Mittelwerte)

Abkürzungsverzeichnis

LVG	Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim
LW	Large White (Schweinerasse)
M.	Musculus
MFA	Muskelfleischanteil
MFA Bauch	Muskelfleischanteil des Bauches, ermittelt nach Schleißheimer Formel 2, (Versuch 2)
MFA ges.	Muskelfleisch des gesamten Schlachtkörpers, ermittelt nach Schleißheimer Formel 1, (Versuch2)
MFA LPA	Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers (Teil5), ermittelt nach Schleißheimer Formel für DXA-Ergebnisse 1, (Versuch1)
MFA LPA Bauch	Muskelfleischanteil des Bauches, ermittelt nach Schleißheimer Formel für DXA- Ergebnisse 2, (Versuch1)
Mg	Magnesium
mg	Milligramm
MHz	Megahertz
Mio.	Million
MJ ME	Mega Joule umsetzbare Energie
ml	Milliliter
Mm	Millimeter
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
MWD	Mikrowellen-Diathermie
MWG	Magerweichgewebegehalt
MwSt	Mehrwertsteuer
n	Anzahl der sensorisch untersuchten Eber
ng	Nanogramm
N	Stickstoff
Na	Natrium
NH ₃	Ammoniak
nm	Nanometer
Nr.	Nummer
NSAID	Nicht-steroidales Antiphlogistikum
§	Paragraph

O	Sauerstoff
¹⁸ O	Sauerstoff, Isotop 18
p	Prüfkriterium für statistische Signifikanz (bei der Auswertung der Daten)
P	Phosphor
pH	pH-Wert, (=negativ dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität)
pH ₂₄	pH-Wert 24 Stunden nach der Schlachtung
pH ₁	pH-Wert 35-45 Minuten nach der Schlachtung
pH1K	pH-Wert des Koteletts 35-40 Minuten nach der Schlachtung
pH24S	pH-Wert des Schinkens 24 h nach der Schlachtung
pH24K	pH-Wert des Koteletts 24 h nach der Schlachtung
Pi	Pietrain (Schweinerasse)
%	Prozent
p.m.	post mortem
ppm	parts per million
PSE- Fleisch	pale (=bleiches), soft (= weiches), exsudative (=wässriges) -Fleisch
QS	Qualitätssicherungs-System
r	Korrelationskoeffizient
r ²	Bestimmtheitsmaß, Regressionskoeffizient
ROI	Region(s) of Interest
R-Wert	Röntgenschwächungskoeffizient
SDS-Page	Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis
SEE	Standard Error of Estimation (Standardschätzfehler, Wurzel aus dem mittleren Quadrate Fehler)
SGW	Schlachtgewicht
SH	Schwäbisch Hällisches Schwein (Schweinerasse)
s.o.	siehe oben
SPB	Speckmaß B
SSP	Seitenspeckdicke
T1	longitudinale Relaxationszeit

Abkürzungsverzeichnis

T2	transversale Relaxationszeit
Tab.	Tabelle
TOBEC	Total body electrical conductivity
UK	United Kingdom
µg	Mikrogramm
VCP	Variable Composition Phantom
VO	Verordnung
WS	Wildschwein
z.B.	Zum Beispiel

1. Einleitung

In den meisten EU Ländern ist es derzeit gängige Praxis männliche Ferkel betäubungslos zu kastrieren, und es werden jedes Jahr ca. 94 Mio. männliche Ferkel ohne Betäubung kastriert (Animalia Norway, 2008). Dabei dient die Kastration hauptsächlich dazu die Entwicklung des Ebergeruchs zu verhindern, der sich mit beginnender Pubertät bei Ebern entwickeln und von einigen Menschen als unangenehmer Geruch und Geschmack des Fleisches wahrgenommen werden kann (Weiler *et al.*, 1995; Bracher-Jakob, 2000; EFSA Journal, 2004; Preinerstorfer *et al.*, 2010; Fredriksen *et al.*, 2011). In den letzten Jahren hat aber unter Berücksichtigung des Tierschutzes und des Wissens um die Schmerzhaftigkeit eines solchen Eingriffes ein Umdenken in Bezug auf die betäubungslose Kastration stattgefunden. Europa hat sich als Ziel gesetzt die chirurgische Kastration ohne Betäubung bis zum Jahr 2018 abzuschaffen und beschließt in der „Europäischen Erklärung über Alternativen zur chirurgischen Kastration bei Schweinen“ (2010), dass die chirurgische Kastration ab dem 1. Januar 2012 nur noch bei verlängerter Verabreichung von Schmerz- und/oder Betäubungsmittel und nur nach allseits anerkannten Methoden erfolgen solle. Längerfristiges Ziel sei es die chirurgische Kastration ohne Betäubung in Europa bis zum 01.01.2018 abzuschaffen (Europäische Erklärung, 2010). Demnach sind Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration erforderlich, wobei die Ebermast als mögliche Alternative in den Vordergrund tritt. Allerdings ist für die Etablierung der Ebermast der Ebergeruch als wichtigster limitierender Faktor anzusehen (Babol *et al.*, 1999), wobei als Ursache für den Ebergeruch die zwei Hauptkomponenten Androstenon und Skatol angesehen werden (Babol *et al.*, 1999; Aldal *et al.*, 2005; Oskam *et al.*, 2010). Des Weiteren ergibt sich die Problematik, dass sich Eber in ihrer Körperzusammensetzung von den Kastraten und Sauen unterscheiden, wodurch eine Klassifizierung am Schlachthof speziell für Eber erfolgen müsste, ein Umstand, der wiederum genaue Kenntnisse über die Körperzusammensetzung der Eber erfordert. Da zudem die Etablierung und Wirtschaftlichkeit einer Ebermast maßgeblich von dem Auftreten des Ebergeruchs abhängt, ist es notwendig, dessen Vorkommen genauer zu untersuchen und mögliche Abhängigkeiten des

Ebergeruchs zu ermitteln, wodurch möglicherweise eine Beeinflussung des Schlachtkörperebergeruchs erreichbar wäre.

In der vorliegenden Arbeit wurde in einem ersten Versuch die Körperzusammensetzung der Eber in Schlachtkörperteilregionen mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie analysiert und untersucht, welchen Einfluss dabei das Gewicht und die Herkunft haben.

In einem zweiten Versuch wurde das Auftreten des Ebergeruchs genauer untersucht. Es wurde analysiert, wie viele der Eberschlachtkörper geruchsauffällig waren und wie Ebergeruch und Androstenongehalt, Schlachtgewicht, Genetik sowie Körperzusammensetzung in Beziehung stehen.

2. Literatur und Quellen

2.1. Ebergeruch

Der Ebergeruch ist eine sehr unangenehme Geruchs- und Geschmacksabweichung des Fleisches, die während des Kochens und Verzehrens von Fleisch und Fleischprodukten unkastrierter Eber auftreten kann und als limitierender Faktor der sonst vorteilhaften Ebermast gesehen wird (Babol *et al.*, 1996; EFSA Journal, 2004; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Besonders intensiv werden die Geruchs- und Geschmacksabweichungen beim Erhitzen des Fleisches wahrgenommen, da es sich bei den Geruchsstoffen um flüchtige Substanzen handelt (Babol & Squires, 1995; Lundström *et al.*, 2009; Preinerstorfer, 2009; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Für den Ebergeruch sind verschiedene Substanzen verantwortlich, wobei es derzeit keine allgemein anerkannte Definition des Ebergeruchs gibt (Adam, 2009). Androstenon und Skatol gelten aber als die Hauptverursacher des Ebergeruchs (Aldal *et al.*, 2005; Andresen, 2006; Chen, 2007; Adam, 2009; Oskam *et al.*, 2010). Möglicherweise kommt der Ebergeruch auch durch die Kombination von Androstenon und Skatol in Verbindung mit anderen Stoffen vor (Adam, 2009). Das Geschlechtspheromon Androstenon besitzt einen urinartigen und dessen Umwandlungsprodukte α/β - Androstenol einen moschusartigen Geruch (Bracher-Jakob, 2000; Tholen, und Frieden, 2010b); zu diesem kommt der kotartige Geruch von Skatol und Indol sowie verschiedene Phenole, Aldehyde und kurzkettige Fettsäuren (Tholen und Frieden, 2010b). Die beiden Geruchskomponenten Androstenon und Skatol werden aufgrund ihrer Lipophilie in das Fettgewebe eingelagert (Andresen, 2006; Oskam *et al.*, 2010). Obwohl Androstenon und Skatol zwei gänzlich verschiedene Entstehungsorte haben, stehen die im Fett eingelagerten Konzentrationen in enger Beziehung zueinander (Claus *et al.*, 1994). Nur etwa 20 - 30% der europäischen Bevölkerung kann Androstenon nicht wahrnehmen, während Skatol von allen Menschen als unangenehm empfunden wird (Chen, 2007; Pauly *et al.*, 2009). Von Andresen wurde ermittelt, dass in Europa (United Kingdom ausgenommen) nur knapp ein Viertel (24,1%) der getesteten Frauen und 15,8 % der getesteten Männer den Geruch von Androstenon nicht wahrnehmen können (Andresen, 2006). Aber auch Menschen mit Androstenonanosmie können auf Androstenon sensibilisiert werden, wie Wysocki *et*

al. (1989) nach dreimal täglichem drei-minütigem Geruchskontakt über 6 Wochen bei der Hälfte der getesteten Personen feststellten.

2.1.1. Androstenon - Entstehung und Funktion

Das urinartig riechende Steroid 5 α - Androstenon (5 α Androst-16-en-3-on) wird in den Leydigzellen des Hodens synthetisiert (Weiler *et al.*, 1995; Aldal *et al.*, 2005; Chen, 2007; Oskam *et al.*, 2008; Zamaratskaia & Squires, 2009; Pauly *et al.*, 2010). Obwohl das Androstenon im chemischen Aufbau den Androgenen ähnelt und an die Bildung der anabolen Hodenhormone gekoppelt ist, hat es keine hormonelle Funktion, sondern dient als Pheromon und wirkt bei der Reproduktion als Geruchssignal für die Sauen, indem die 16-Androstenonsteroidoide über das Blut zu den Speicheldrüsen gelangen, dort an das Protein Pheromaxein binden und als Geruchsstoffe mit dem Speichel ausgeschieden werden (Babol *et al.*, 1996; Bracher-Jakob, 2000; Andresen, 2006, Chen 2007). Da sich das Androstenon aus den gleichen Vorstufen, Pregnenolon und Progesteron (siehe Abb. 1), wie die Gonadenhormone aufbaut, nimmt im Verlauf der Pubertät mit steigender Hormonsynthese auch die Androstenonbildung zu (Weiler *et al.*, 1995; Bracher-Jakob, 2000). Die Hodenhormonsynthese wird über die Hypothalamus-Hypophysen-Hoden-Achse geregelt, d.h. aus dem Hypothalamus freigesetzte Gonadotropin Releasing Hormone (GnRH) stimulieren die Freisetzung von Follikel stimulierendem Hormon (FSH) und Luteinisierendem Hormon (LH) aus der Adenohypophyse, wodurch die Synthese und Sekretion von Androgenen und Östrogenen aus den Leydigzellen und die Spermatogenese gefördert wird (Meinecke, 2000). Das stark lipophile Androstenon lagert sich im Fettgewebe ein und ist damit für den urinartigen Ebergeruch verantwortlich (Weiler *et al.*, 1995; Aldal *et al.*, 2005; Andresen, 2006; Chen, 2007; Lundström *et al.*, 2008)

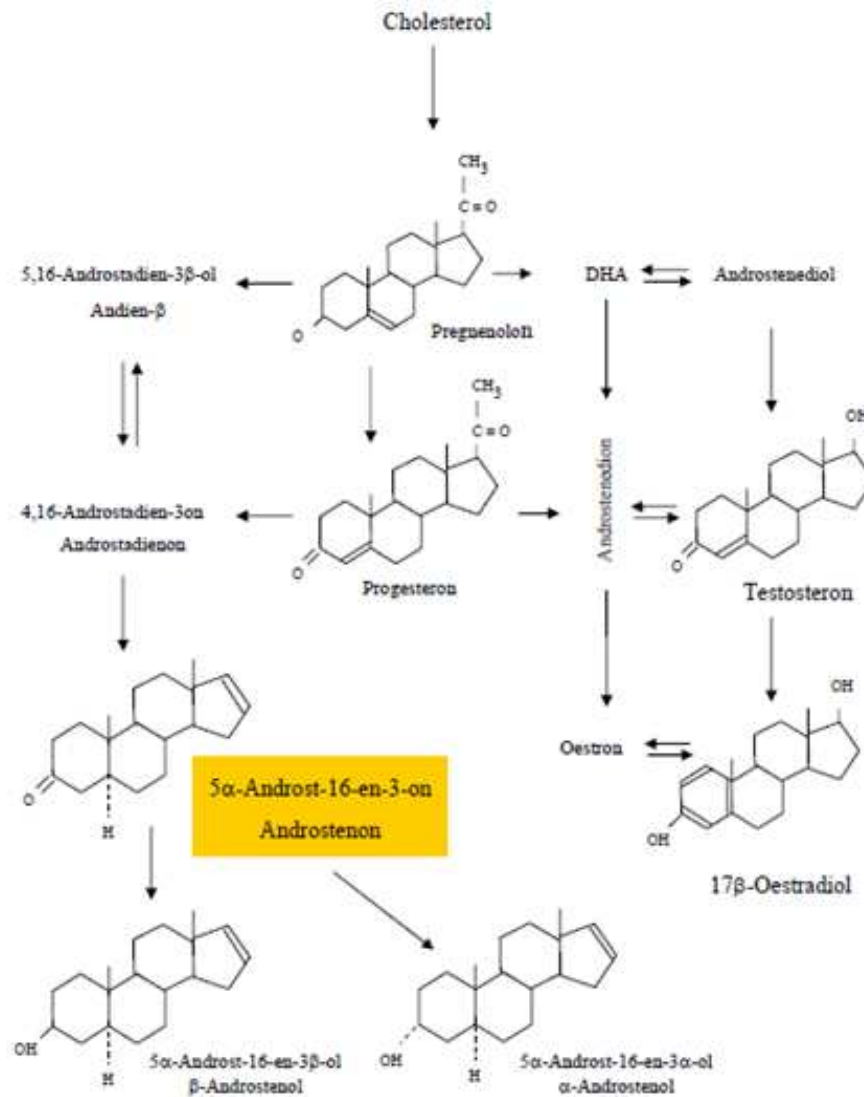


Abb. 1: Androstenonbiosynthese und Synthese verwandter Steroide im Hoden, aus Bracher-Jakob, 2000

2.1.2. Metabolismus von Androstenon

Noch im Hoden erfolgt eine Metabolisierung des Androstenons in 3α- und 3β-Androstenol, die eine höhere Polarität besitzen als Androstenon, wodurch sie hydrophiler werden, was bedeutet, dass ihre Wasserlöslichkeit steigt. Ein großer Teil dieser in den Hoden gebildeten Steroide wird durch die Hydroxysteroidsulfotransferasen der Leydigzellen schon im Hoden sulfokonjugiert

(Sinclair *et al.*, 2005; Zamaratskaia & Squires, 2009), so dass letztendlich nur 25-30 % der 5 α -Androstenone, 3 α - und 3 β -Androstenole in unkonjugierter Form vorliegen (Sinclair *et al.*, 2005). Aus dem Hoden gelangt das Androstenon über das Blutsystem entweder in die Leber und wird über diese inaktiviert und ausgeschieden (Sinclair *et al.*, 2005; Zamaratskaia & Squires, 2009), oder in die Speicheldrüsen, wo es im Speichel als Pheromon dient (Andresen, 2006; Zamaratskaia & Squires, 2009, siehe Abb.2). Zudem kann es wegen seiner stark lipophilen Eigenschaften in das Fettgewebe eingelagert werden (Doran *et al.*, 2004; Andresen, 2006) und ist damit für den urinartigen Ebergeruch verantwortlich (Lundström *et al.*, 2008). Bei der Einlagerung in das Fettgewebe kann zwischen der im Plasma und der im Fettgewebe gemessenen Androstenonkonzentration ein Zusammenhang erkannt werden, da abnehmende Plasmakonzentrationen zu abnehmenden Konzentrationen im Fettgewebe führen (Andresen, 2006). Die 16-Androstenonsteroidoide, die über das Blut zu den Speicheldrüsen gelangen, binden an das Protein Pheromaxein und werden mit dem Speichel als Pheromon ausgeschieden (Bracher-Jakob, 2000; Zamaratskaia & Squires, 2009). Androstenon, das in der Leber ankommt, wird in zwei Phasen abgebaut (Abb.2).

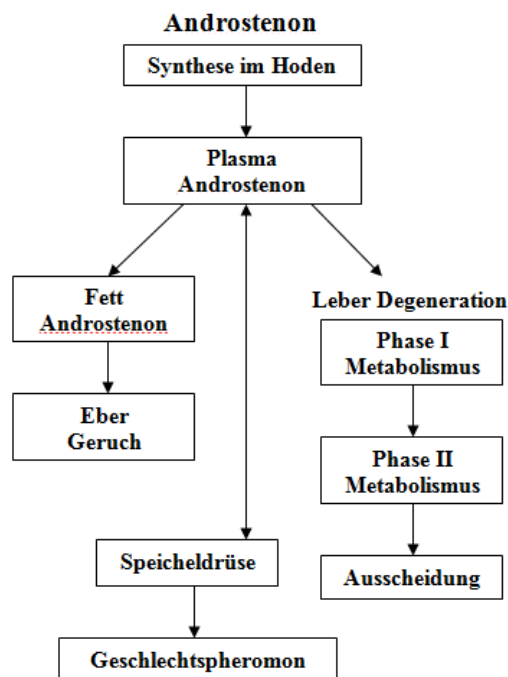


Abb. 2: Androstenonstoffwechsel, nach Zamaratskaia *et al.*, 2009

Der Abbau des Androstenons erfolgt in einem ersten Schritt, Phase 1, über 3 α – hydroxysteroid Dehydrogenasen zu 3 α - und 3 β -Androstenol (Doran *et al.*, 2004; Sinclair *et al.*, 2005). In einer zweiten Phase werden die Steroide glucuronidiert und sulfoconjugiert, wodurch sie zum einen wirkungslos werden und zum anderen an Polarität und Wasserlöslichkeit gewinnen, was eine Ausscheidung über die Galle und Nieren ermöglicht (Sinclair *et al.*, 2005).

2.1.3. Skatol und Indol

Skatole (3-Methyl-indole) und Indole können einen unangenehmen fäkalartigen Geruch in Fettgewebe verursachen, wobei Skatol eine größere Rolle spielt als Indol (Claus *et al.*, 1994). Bei Monogastriern entstehen Skatole und Indole als Abbauprodukt von Tryptophan im Dickdarm, wobei das Tryptophan durch eine Anzahl verschiedener Bakterien zu Indol oder Indoleessigsäure abgebaut werden kann. Letzteres wird durch hochspezialisierte Laktobazillen des Bakterienstammes 11201 bei Fehlen anderer Energiequellen weiter zu Skatol umgewandelt (Claus *et al.*, 1994, siehe Abb. 3).

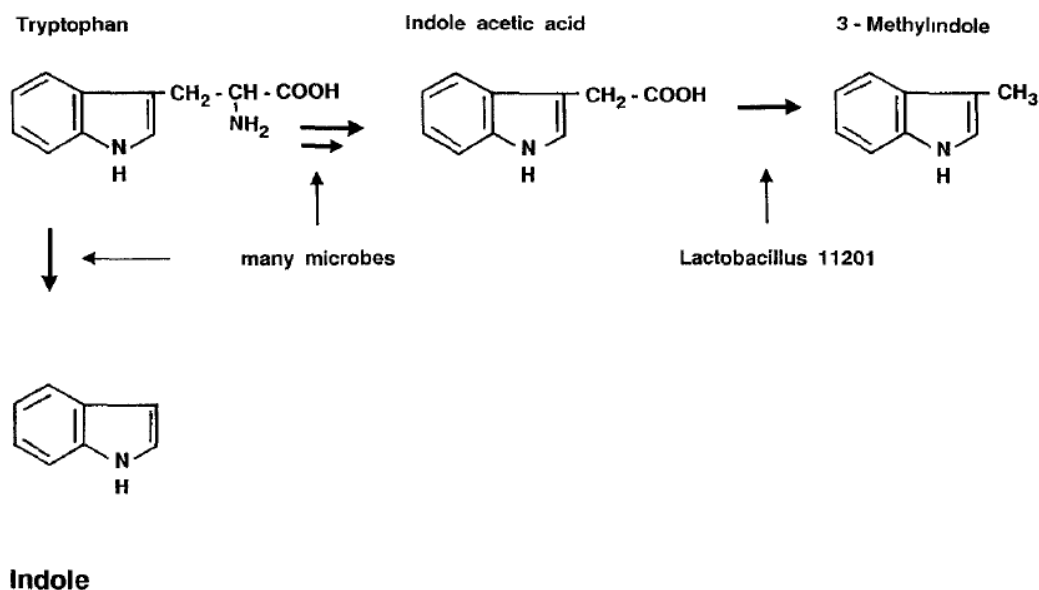


Abb.3: Bakterieller Tryptophanabbau im Darm, aus Claus *et al.*, 1994

Als hauptsächliche Quelle für den Tryptophanabbau wird zum einen die Zelldebris des Dünndarmes betrachtet (Claus *et al.*, 1994), zum anderen können unverdaute Futterproteine als Substrate verwendet werden (Bracher-Jakob, 2000). Gebildetes Skatol gelangt über die Darmschleimhaut in die Portalvene und in die Leber, in der eine Metabolisierung stattfindet (Andresen, 2006). Obwohl die Leber das Potential besitzt größere Mengen Skatol als physiologisch im Blut vorkommt, herauszufiltern, verlässt bei einigen Ebern ein Teil des Skatols die Leber ohne metabolisiert worden zu sein und sammelt sich im Fettgewebe an (Andresen, 2006). Im Gegensatz zu Androstenon, das von ca. drei Viertel aller Menschen nicht wahrgenommen werden kann, ist Skatol für nahezu alle Menschen bemerkbar (Andresen, 2006; Chen, 2007; Pauly *et al.*, 2009; Lunde *et al.*, 2010).

Skatol ist keine geschlechtsspezifische Geruchskomponente, kann aber aufgrund des erhöhten anabolen Stoffwechsels bei Ebern vermehrt im Dickdarm gebildet werden (Branscheid, 1995; Lösel, 2006; Adam *et al.*, 2009). Zudem hemmt das Androstenon der Eber den Skatol-Metabolismus in der Leber, wodurch ebenfalls eine Erhöhung der Skatolkonzentration im Fett begünstigt wird (Oskam *et al.*, 2008).

2.2. Sensorische Untersuchung auf Ebergeruch

Nach der allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV LmH) in der Neufassung vom 9. Nov. 2009, Anlage 4: Methoden zur Untersuchung von Fleisch, Nr.6 „Feststellung von Geruchs- und Geschmacksabweichungen im Sinne der Verordnung (EG) Nr.854/2004 gibt es verschiedene Verfahren um Geruchs- und Geschmacksabweichungen von Fleisch sensorisch festzustellen. Sie legt zudem fest, dass bei der Probenentnahme darauf geachtet werden muss das Probenmaterial ohne Verunreinigung zu entnehmen und in einem verschlossenen, geruchsneutralen Behältnis zu transportieren. Die Untersuchung der Probe soll dann bei frischem Fleisch frühestens 24 Stunden nach dem Schlachten erfolgen. Eine Geschmacksprüfung kann im Falle von

hochgradigen Geruchsabweichungen entfallen und darf keinesfalls erfolgen, wenn Verdacht auf eine Verunreinigung des Probenmaterials mit Erregern, pharmakologisch wirksamen Substanzen oder ähnlichen gesundheitsschädlichen Stoffen besteht (AVV LmH).

Als erste „orientierende Feststellung“ gilt das Mikrowellen-Diathermie-Verfahren (MWD). Hierbei wird eine vorzugsweise aus dem Kopf entnommene, ca. 50 g schwere Fleischprobe, die idealerweise Fettgewebe- und Speicheldrüsenanteile beinhaltet, in Würfel mit ca. 1 cm Kantenlänge geschnitten und dann in einem einseitig verschlossenen Folienbeutel oder Bratschlauch in der Mikrowelle möglichst schnell erhitzt, bis sich Dampf bildet, wobei keine Kruste entstehen sollte. Nun wird der Beutel mit der Probe geöffnet und die Geruchsprüfung durchgeführt. Diese wird nach einigen Minuten, in denen die Probe abkühlt, wiederholt und es kann zudem eine Geschmacksprüfung vorgenommen werden. Ist die Probe auffällig, erfolgt eine weitere Untersuchung durch eine Koch- oder Ausschmelzprobe.

Bei der Kochprobe wird die Probe in Wasser erhitzt und der Dampf und die Probe beurteilt. Dabei unterscheidet man einen Kaltansatz und einen Heißansatz. Bei dem Kaltansatz wird gewürfeltes Muskelfleisch (2 cm Kantenlänge, 60 g) mit Bindegewebe, das tief aus verschiedenen Körperteilen entnommen wurde, in 90 ml kaltem Wasser bis zum Sieden erhitzt, und es kann sowohl der Dampf als auch der Geruch und Geschmack der Kochbrühe bei 75 und 25°C beurteilt werden. Bei dem „Heißansatz“ wird ein grob von Bindegewebe und Fett befreites möglichst würfelförmiges Muskelfleischstück (10 cm Kantenlänge, Nacken) in bereits siedendes Wasser (1l) gegeben. Nach 5 Minuten Sieden wird das Fleischstück angeschnitten und der Geruch und Geschmack in heißem Zustand untersucht. Die „Ausschmelzprobe“ besteht aus dem Ausschmelzen von ca. 150 g feingewürfeltem (5 mm Kantenlänge) Fettgewebe über einer Hitzequelle. Bei Schweinen wird als Fettprobe Rückenspeck verwendet. Je 20 g gewürfeltes Fett werden in ein Prüfgefäß gegeben und erhitzt, bis flüssiges Fett austritt. Dabei sollte vorhandenes Bindegewebe nicht gebräunt werden. Der Geruch der entstehenden Dämpfe wird aus kurzer Entfernung geprüft und in seiner „Eigenart“ beschrieben. Fleischerzeugnisse können ebenfalls auf Geruchs- und Geschmacksabweichungen geprüft werden, indem, falls notwendig, frische Schnittflächen sensorisch geprüft

werden. Fettproben oder fettreiche Fleischproben müssen erwärmt geprüft werden (AVV LmH).

2.3. Einflüsse auf die Ausprägung des Ebergeruchs

Die Ausprägung des Ebergeruchs kann durch verschiedene Faktoren wie spezielles Haltungsmanagement, das Schlachtgewicht, die Fütterung oder die Genetik beeinflusst werden (Chen, 2007; Baumgartner, 2008; Pauly *et al.*, 2010; Preinerstorfer *et al.*, 2010).

Dies ist dadurch erklärbar, dass die Androstenonbildung eng an die Synthese der Hodenhormone gekoppelt ist und mit fortschreitender Pubertät zunimmt. Demnach können Rasse- und Umwelteinflüsse wie die Tageslichtdauer, welche einen schnelleren Eintritt der Pubertät bewirken, zu einer früheren Androstenonbildung führen (Weiler *et al.*, 1995; Fredriksen *et al.*, 2006). Durch das Androstenon wiederum kann der Skatolwert beeinflusst werden (Oskam *et al.*, 2008), der zudem auch von Faktoren wie der Fütterung abhängig ist (Frieden *et al.*, 2011).

2.3.1. Photoperiode

Über den Einfluss der Photoperiode gibt es verschiedene Ergebnisse. So konnten Zamaratskaia *et al.* (2004) keine Auswirkungen der Photoperiode auf die Plasmaskatol- und Androstenonwerte von Yorkshire x Hampshire- Ebern feststellen, während Andersson *et al.* (1998) eine photoperiodisch beeinflussbare Entwicklung der Pubertät, der Spermatogenese und des Ebergeruchs nachwiesen. Bei Untersuchungen von Weiler *et al.* (1995) zeigte die Tageslichtdauer einen Einfluss auf den Androstenongehalt. Im Vergleich zeigten Eber mit einem Mastendgewicht von ca. 115 kg, die bei zunehmender Tageslichtdauer gehalten wurden, eine signifikant höhere Anzahl androstenonbelasteter Schlachtkörper ($>0,5 \mu\text{g}$ Androstenon/g Fett) als die bei abnehmender Tageslichtdauer gehaltenen. Dieses Phänomen konnte allerdings im Versuch nur bei Ebern der Genetik Pietrain

(Pi) x Deutsche Landrasse (DL) und nicht bei den Ebern der Genetik Deutsches Edelschwein (De) x Deutsche Landrasse (DL) gesehen werden (Weiler *et al.*, 1995). Fredriksen *et al.* (2006) prüften die Auswirkungen eines künstlichen Lichtprogrammes in der Annahme, zunehmende Lichtlänge würde geringere sexuelle Entwicklung bewirken und damit zu geringerem Ebergeruch führen. Sie stellten nicht nur keine geringeren Androstenonwerte bei zunehmender Tageslichtdauer fest, sondern leicht erhöhte Werte. Dies passt grundsätzlich zu den Ergebnissen von Weiler *et al.* (1995). Fredriksen *et al.* (2006) kommen dennoch zu dem Schluss, dass eine gezielte Einflussnahme auf den Ebergeruch durch künstliche Lichtprogramme nicht zu empfehlen sei, da Eber bei kurzen Tageslichtlängen gesundheitliche Defizite aufwiesen. Nach Einschätzung von Preinerstorfer *et al.* (2010) und Borell *et al.* (2008) stellt eine verkürzte Tageslichtdauer durch Lichtprogramme eine Beeinträchtigung für das Wohlbefinden der Tiere dar.

2.3.2. Genetik

Der Androstenongehalt im Fett ist hauptsächlich durch die Genetik und den Entwicklungsstand bedingt (Bonneau, 2006; Lundström *et al.*, 2008). Jonsson *et al.* (1974) fanden bei Ebern (Dänische Landrasse) eine hohe Heritabilität ($h^2 = 0,54 \pm 0,32$) des Ebergeruchs und sahen in der züchterischen Selektion eine Chance den Ebergeruch zu verringern. Auch nach der Einschätzung von Tholen und Frieden (2010b) ist eine Zucht auf Verringerung des Ebergeruchs mit großer Wahrscheinlichkeit erfolgreich, weil eine hohe Heritabilität für Androstenon ($h^2 = 0,5$) und geringe unerwünschte genetische Korrelationen ($r = 0,2$) zu Belegungsalter und abgesetzter Ferkelzahl vorliegen. Frieden *et al.* (2011) beurteilen die mögliche Verringerung des Ebergeruchs durch Selektion als vielversprechend. Durch die hohe Erblichkeit sei es möglich innerhalb von 8-10 Jahren den Anteil der Eber, der über 1000 ng Androstenon/g Fett aufweist, von 20% auf 5 % zu senken. Die Skatolkonzentrationen zeigen ebenfalls eine gewisse Rasseabhängigkeit (Babol *et al.*, 2004). So stellten Babol *et al.* (2004) fest, dass alle untersuchten Rassen (Duroc, Hampshire, Yorkshire, Landrasse) in den Skatolwerten eine Zunahme und

spätere Abnahme zeigten, aber die Zeitspanne, in der besonders hohe Skatolkonzentrationen auftraten, rassebedingt variierte (Babol *et al.*, 2004, siehe Abb.4).

2.3.3. Fütterung

Da Laktobazillen Tryptophan grundsätzlich bei Substratmangel zu Skatol abbauen, konnten nach einwöchiger Zufütterung des unverdaulichen Fructooligosaccharids Inulin als Ersatzsubstrat signifikant niedrigere Skatol-Werte im Kot und Fettgewebe nachgewiesen werden (Claus *et al.*, 1994). Hansen *et al.* (2006) stellten nach Zufütterung von inulinreichen Chicoree-Wurzeln eine starke Reduzierung der im Blut gemessenen Skatolkonzentration fest, die sich bei mit Chicoree gefütterten Schweinen bis auf Werte zwischen 0,08 und 0,32 µg Skatol/l Blut vermindern ließ. Noch bessere Reduzierungen der Skatolkonzentrationen konnte die Kombination von Inulin und Bikarbonatzufütterung zeigen. In zwei Feldversuchen mit 20 und 30 Ebern zeigte sich eine Reduzierung der Skatol-Gewebekonzentrationen um 50-78 %. Bei diesen Ebern hatte keiner über 0.25 µg Skatol/g Fett. (Claus *et al.*, 1994). Eine Ernährung mit hohem Proteinanteil (16,3%) und Energiegehalt (13,7 MJME/kg) führte ebenfalls zu niedrigeren Skatolgehalten (Lundström *et al.*, 1988). Hingegen stellte Adam (2009) fest, dass Eber, die einen begrenzten Energiegehalt im Futter (12,6 MJME/kg) erhielten, einen um die Hälfte niedrigeren Skatolgehalt aufwiesen als Eber mit einem höheren Energiegehalt (13,8 MJME/kg).

Eine Fütterung von Butyraten, die die Apoptoserate der Darmzellen und damit die Tryptophanzufuhr vermindern sollten, zeigte eine gute Reduzierung der Skatolwerte (Claus *et al.*, 2003).

Die Zufütterung der Antibiotika Virginiamycin und Tylosin führte zu keinen signifikanten Reduzierungen der Skatolwerte, (Hansen & Larsen, 1994) wie auch eine Tryptophanzufütterung keine vermehrte Skatolbildung bewirken konnte (Claus *et al.*, 2003).

2.3.4. Alter und Gewicht

Mit steigendem Alter/Schlachtkörpergewicht steigt auch der Anteil der Eber, die Ebergeruch im Fleisch aufweisen (Baumgartner, 2008), da die Androstenonwerte in enger Beziehung zum Alter und der sexuellen Entwicklung stehen und mit der Pubertät drastisch ansteigen (Weiler *et al.*, 1995; Babol *et al.*, 2004; Zamaratskaia & Squires, 2009). Aber auch die Skatolwerte steigen mit der Pubertät an, was an einer positiven Beeinflussung des Lebermetabolismus durch die Hodensteroider erklärt werden kann (Babol *et al.*, 1999; Zamaratskaia & Squires, 2009). Von Weiler *et al.* (1995) wurde festgestellt, dass die Anzahl der Eber mit Androstenonwerten über 0,5 µg/g Fett bei höheren Mastendgewichten (115 kg) signifikant höher lag (59,6%) als bei niedrigeren Mastendgewichten (95 kg; 39,1%). Zudem lagen die Skatolwerte der schwereren Eber tendenziell höher (Weiler *et al.*, 1995). Ähnliche Ergebnisse zeigte auch eine Studie aus Düsse, in der Schweine in Einzelhaltung mit 85 kg zu 87,5% Androstenonwerte über 0,5 µg/g Fett zeigten und bei 95 kg zu 92,6% (Adam *et al.*, 2009).

Babol *et al.* (2004) stellten bei verschiedenen Schweinerassen eine rasseabhängige Beziehung zwischen dem Alter und der Skatolkonzentration fest (Abb.4).

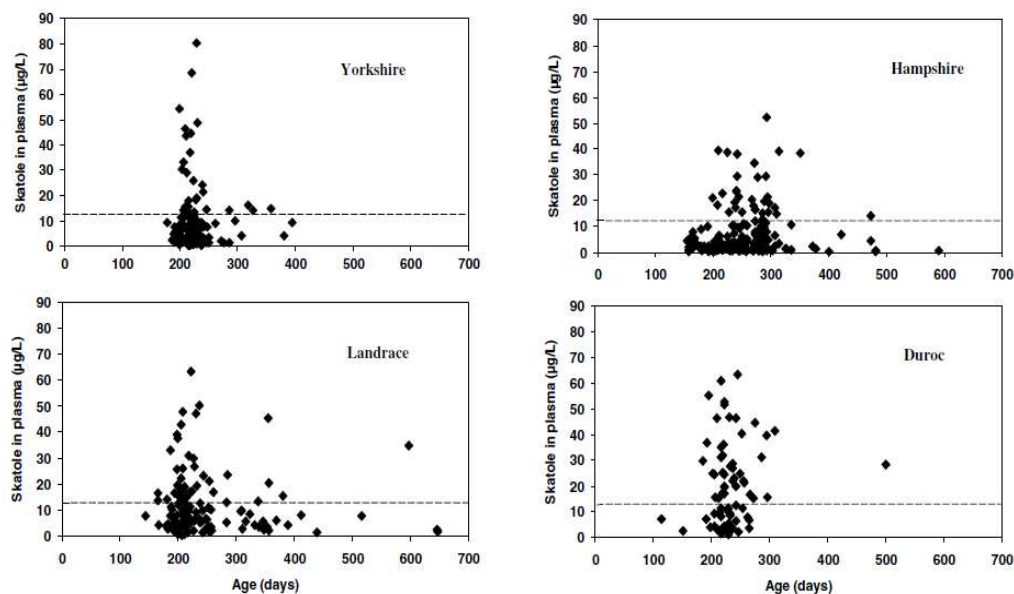


Abb. 4: Skatolkonzentration (µg/l Blutplasma) verschiedener Schweinerassen (Yorkshire, Hampshire, Landrasse und Duroc) in Abhängigkeit des Alters (Tage), aus Babol, 2004. Die gestrichelte Linie entspricht 0,20 ppm Skatol im Fettgewebe.

Hierbei konnte bei allen untersuchten Rassen (Hampshire, Duroc, Yorkshire, Landrasse) das gleiche Zusammenhangsmuster zwischen den Skatolwerten und dem Alter der Eber festgestellt werden. Alle Rassen zeigten zunächst eine altersabhängige starke Zunahme der Skatolwerte, die dann wieder abnahmen. Das Alter und der Zeitraum, über welchen erhöhte Skatolwerte gemessen werden konnten, waren rasseabhängig unterschiedlich (Babol *et al.*, 2004).

Um die Entstehung des Ebergeruchs durch Berücksichtigung des Alters zu reduzieren, müssten Masteber möglichst früh geschlachtet werden, wodurch der Mastleistung eine entscheidende Bedeutung zufällt (Pauly *et al.*, 2009). Laut Hagmüller (2006) müssten die durchschnittlichen Schlachtgewichte der Eber bei der Ebermast von derzeit 90 kg auf 80 kg reduziert werden, um die Wahrscheinlichkeit von Ebergeruch zu reduzieren. In Großbritannien und Irland, in denen die Ebermast bereits gängige Praxis ist, kommen die Eber mit maximal 100 kg Lebendgewicht zur Schlachtung, wobei in Ländern mit Ebermast generell niedrige Schlachtgewichte um die 70 kg zu beobachten sind (Preinerstorfer, 2010).

2.3.5. Haltung

Die Haltung kann einen Einfluss auf den Androstenon- und Skatolgehalt haben. Durch eine schlechte Stallhygiene mit erhöhtem Verschmutzungsgrad, der als zusätzliche Skatolquelle fungiert, kommt es zu einer vermehrten Skatoleinlagerung in das Fettgewebe (Preinerstorfer *et al.*, 2010). Achtet man eine Woche vor der Schlachtung auf gute hygienische Bedingungen, kann dadurch der Skatolgehalt der Eber deutlich verringert werden (Preinerstorfer *et al.*, 2010). Neben der Hygiene, die Auswirkungen auf den Skatolgehalt hat, ist nach Ergebnissen von Adam *et al.* (2009) auch die Art der Haltung entscheidend. Adam *et al.* (2009) stellten fest, dass Eber in Einzelhaltung doppelt so hohe Androstenon- und Skatolgehalte zeigten wie Eber in Gruppenhaltung. Die Hodengewichte lagen bei den Ebern in Einzelhaltung um 11% höher.

2.3.6. Bisherige Erfolge der Geruchsreduktion

Trotz aller Versuche den Ebergeruch durch Haltung, Fütterung, Zucht, niederes Schlachtgewicht oder Verarbeitungspraktiken zu verringern, konnte eine vollständige Reduktion des Ebergeruchs bisher nicht erreicht werden (Preinerstorfer *et al.*, 2010).

Deshalb ist generell für die Ebermast ein möglichst objektives Nachweisverfahren zur Erkennung des Ebergeruchs notwendig, um die Schlachtkörper aussortieren und die Qualität sichern zu können (Babol & Squires, 1995; Baumgartner, 2008; Pauly *et al.*, 2009; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Eine Möglichkeit wäre die Entwicklung einer „elektronischen Nase“, die bereits an der Schlachtlinie geruchsbelastetes Fleisch aussortiert (Baumgartner, 2008; Lundström *et al.*, 2008; Lundström *et al.*, 2009).

2.4. Kastration männlicher Ferkel

Um die Entwicklung des unangenehmen Ebergeruchs im Fleisch und unerwünschtes aggressives Verhalten zu verhindern, werden in den meisten Ländern die männlichen Ferkel in einem frühen Alter kastriert (Huber-Eicher & Spring, 2008; Europäische Erklärung, 2010; Fredriksen *et al.*, 2011). Somit ist die chirurgische Kastration die gängigste Methode um der Androstenonbildung und dem Ebergeruch männlicher Schweine entgegen zu wirken (Oskam *et al.*, 2008; Pauly *et al.*, 2010). Dabei wurde lange Zeit angenommen, dass neugeborene Tiere eine eingeschränkte Schmerzwahrnehmung besäßen, wodurch es den Tierhaltern erlaubt war Eingriffe wie Kastrationen, Schwanzkupieren oder Verkleinerung von Eckzähnen in den ersten Lebenswochen selbst und ohne Schmerzmittelgabe durchzuführen (Richtlinie 91/630/ EWG; Taylor *et al.*, 2001). Entgegen dieser Annahme weiß man heute, dass auch in den ersten Lebenstagen die Kastration ein schmerzhafter Eingriff ist (EFSA Journal, 2004; Hagmüller, 2006; Borell *et al.*, 2008; Europäische Erklärung, 2010). Während der Kastration und den Stunden danach können im Verhalten und den physiologischen Vorgängen zahlreiche Schmerzreaktionen beobachtet werden und einige Verhaltensweisen bleiben sogar über Tage hinweg verändert (EFSA Journal, 2004). Zudem kann es in den Wochen

nach dem Eingriff bei den Ferkeln zur Hemmung von inflammatorischen Reaktionen kommen (Borell *et al.*, 2008). Die frühere Fehleinschätzung einer verminderten neonatalen Schmerzempfindung spiegelt sich in der bisherigen gesetzlichen Lage wieder: In Deutschland ist es laut § 5 Tierschutzgesetz grundsätzlich verboten an einem Wirbeltier mit Schmerzen verbundenen Eingriffe ohne Betäubung vorzunehmen. Männliche Schweine dürfen jedoch bis zum einschließlich 7. Lebenstag ohne Betäubung kastriert werden (Deutsches Tierschutzgesetz § 5). Zugrunde liegend ist in der EU die Richtlinie 91/630/ EWG „Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen“ bzw. deren Änderungen durch die Richtlinie 2001/93/EG . Diese Richtlinie erlaubt in der EU die Kastration ohne Anästhesie und Schmerzmittelgabe bis zum 7. Lebenstag. Dementsprechend ist es in den meisten Ländern der EU gängige Praxis männliche Ferkel chirurgisch ohne Anästhesie zu kastrieren, um die Entwicklung des Ebergeruchs zu vermeiden, (Animalia Norway, 2008; Geßl & Rudolph, 2009) und es werden jedes Jahr laut Animalia Norway (2008) in der EU 98 Mio. männliche Ferkel kastriert, davon 97 % ohne Betäubung. Dies entspricht etwa 94 Millionen männlicher Schweine, die ohne Schmerzausschaltung kastriert werden (Animalia Norway, 2008). Da in den letzten Jahren dieses Vorgehen aus Aspekten des Tierschutzes in Europa jedoch immer kritischer gesehen wird, haben einige Länder, wie die Schweiz oder Norwegen, die Kastration ohne Schmerzausschaltung bereits verboten und es wird nach Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration gesucht (Baumgartner, 2008). Europa hat, wie bereits in der Einleitung angesprochen, das Ziel gesetzt die chirurgische Kastration ohne Betäubung bis zum Jahr 2018 abzuschaffen. So heißt es in der „Europäischen Erklärung über Alternativen zur chirurgischen Kastration bei Schweinen“ (2010) die chirurgische Kastration bei Schweinen solle ab dem 1. Januar 2012 nur noch bei verlängerter Verabreichung von Schmerz- und/oder Betäubungsmittel und nur nach allseits anerkannten Methoden erfolgen. Angestrebt sei die chirurgische Kastration ohne Betäubung europaweit bis zum 01.01.2018 abzuschaffen (Europäische Erklärung, 2010). Um dieses Ziel zu erreichen wurden europaweite Projekte, wie PIGCAS (2007/2008), ALKASDE (2009), SABRE (2009-2013) oder STOP-CAS (2010-2013) initiiert, durch die die Alternativen zur betäubungslosen, chirurgischen Kastration genauer erforscht werden sollen (Kluge, 2010).

Unabhängig von der gesetzlichen Regelung der EU haben bereits Änderungen bei

der Ferkelkastration stattgefunden. Freiwillig hat in Deutschland das Qualitätssicherung (QS) - Prüfsystem festgelegt, dass QS-Ferkelerzeuger seit dem 1. April 2009 bei der Ferkelkastration postoperative Schmerzmittel einsetzen müssen (Geßl & Rudolph, 2009). In anderen Ländern wie den Niederlanden ist die Kohlenstoffdioxid (CO²) –Narkose eingesetzt (Paulke, 2009; Preinerstorfer *et al.*, 2010), die allerdings aus Aspekten des Tierschutzes als ungeeignet anzusehen ist (Kohler *et al.*, 1998; Baumgartner, 2008; Mühlbauer, 2009). Ab 2015 soll dann laut der Noordwijk-Deklaration in den Niederlanden auf die Kastration verzichtet werden (Paulke, 2009; Preinerstorfer *et al.*, 2010). In Norwegen ist die betäubungslose Kastration bereits seit 2002 verboten, ebenso wie in der Schweiz die Kastration ohne Schmerzausschaltung seit 2010 verboten ist (Tierschutzgesetz Schweiz 5. Abschnitt Artikel 16; Tierschutzverordnung Schweiz 2. Abschnitt, Artikel 15; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Zudem verkaufen in den Niederlanden einige Lebensmittel-Großhandelsketten kein Fleisch mehr von ohne Schmerzmittelgabe kastrierten Ferkeln (Geßl & Rudolph, 2009). In Deutschland setzen sich seit dem Jahr 2009 ebenfalls vorwiegend große Mitglieder des Bundesverbandes der Systemgastronomie dafür ein ab 2011 kein Fleisch von betäubungslos kastrierten Ferkeln zu verarbeiten, wobei betont wird, dass damit nicht erwünscht sei nur noch Fleisch von Sauen zu verwenden (Bundesverband der Systemgastronomie e.V., 2010).

Zusammenfassend ist aufgrund der zunehmenden Ablehnung einer betäubungslosen Ferkelkastration und des europaweiten gesetzlichen Ziels also ein Wandel in der Fleischproduktion zu erwarten und es ist dringend erforderlich eine Alternative zur betäubungslosen Ferkelkastration zu etablieren.

2.5. Alternativen zur betäubungslosen chirurgischen Kastration männlicher Ferkel

Als Alternativen zur chirurgischen Kastration ohne Betäubung werden die chirurgische Kastration mit Schmerzausschaltung oder der Verzicht auf chirurgische Kastration gesehen. Die Schmerzausschaltung könnte durch Inhalationsnarkose, Injektionsnarkose, Lokalanästhesie, lokale Vereisung mit postoperativer

Lokalanästhesie oder Schmerzmittelgabe erfolgen. Methoden, die auf die chirurgische Kastration verzichten, sind die Immunokastration, das Spermasexing oder die Ebermast (Geßl & Rudolph, 2009; Kupper et al. 2009; Paulke, 2009; Rusche, 2010). Da auf die Ebermast in den Punkten 2.6., 2.7. und 2.8. genauer eingegangen wird, soll diese Möglichkeit hier noch nicht eingehender betrachtet werden.

2.5.1. Injektionsnarkose

Bei der Injektionsnarkose ist Ketamin als Narkosemittel in Verbindung mit einem Beruhigungsmittel Methode der Wahl (Baumgartner, 2008; Rusche, 2010). Jedoch gibt es Zweifel, ob die Narkosetiefe auch ausreichend ist (Borell *et al.*, 2008). Von Leeb *et al.* (2008) konnte eine ungenügende Narkosetiefe bei mit Ketamin und Azaperon anaesthesierten Ferkeln festgestellt werden. Nur die Hälfte der 1047 Ferkel zeigten bei Reflex- und Muskeltonusmessungen eine ausreichende Narkosetiefe. Zudem handelt es sich bei Ketamin um ein Anaesthetikum, das ein sehr hohes Missbrauchspotential als Rauschmittel beinhaltet und dessen Handhabung in vielen Ländern der EU eingeschränkt ist. Dadurch wäre es dem Tierhalter selbst nicht erlaubt Ketamin einzusetzen (Borell *et al.*, 2008). Insgesamt wird der Einsatz einer Injektionsnarkose als zeitaufwendig und kostenintensiv beurteilt (Leeb *et al.*, 2008; Baumgartner, 2008).

2.5.2. Spermasexing

Das Prinzip des Spermasexings beruht auf der Trennung von Spermien mit X- und Y- Chromosomen (Johnson *et al.*, 2005), wodurch eine geschlechtsspezifisch selektierte Besamung erfolgen kann. Laut Johnson können bei in den Eileiter platzierten Besamungen Würfe erzeugt werden, die zu 90-100 % dem gewünschten Geschlecht entsprechen (Johnson *et al.*, 2005). Jedoch ist dieses Verfahren nach Einschätzung des „Projektes PIGCAS“ als Routineverfahren bisher nicht einsetzbar, da es sehr zeitaufwendig ist (10 Stunden für die Produktion von einer 150 Mio.

Spermadosis) (Animalia Norway, 2008). Eine geringere Spermiendosis müsste direkt in den Uterus platziert werden. Diese intrauterine Besamung ist schwieriger durchzuführen als die derzeit durchgeführte cervicale Platzierung des Spermas und würde deshalb zudem eine spezielle Ausbildung des Personals erfordern (Animalia Norway, 2008). Außerdem besteht das Risiko durch die derzeitige Besamungstechnik Verletzungen und Schmerzen bei der Sau zu verursachen (Giersing *et al.*, 2006).

2.5.3. Immunokastration

Die Immunokastration beruht auf einer aktiven „Immunisierung“ gegen Gonadotropin Releasing Hormone (GnRH), die normalerweise die Freisetzung von Follikel stimulierendem Hormon (FSH) und Luteinisierendem Hormon (LH) aus dem Hypophysenvorderlappen veranlassen, die wiederum das Hodenwachstum fördern. Auf diese Weise kann durch die Hemmung der GnRH- Wirkung die Bildung der Geschlechtshormone wie Testosteron oder Androstenon verhindert werden (Meinecke, 2000; Hagmüller, 2006) und damit die Entstehung des Geschlechtsgeruchs. Die Immunisierung muss zweimal in 4-wöchigem Abstand erfolgen, wobei die letzte Injektion 4 bis 6 Wochen vor der Schlachtung gegeben wird (Hagmüller, 2006). Die Wirkung der Immunokastration mittels des sogenannten „Impfstoffs“ Improvac[®] (Fa Pfizer, Berlin) erwies sich anhand einer Untersuchung von Hügel (2010) als gut. Jedoch zeigten die immunisierten Schweine schlechtere Tageszunahmen in der Zeit zwischen den beiden Injektionen als die kastrierten Tiere. Nach der zweiten Injektion waren hingegen bessere Tageszunahmen als bei den Kastraten zu sehen (Hügel, 2010). Dasselbe ergaben Versuche des „Projektes ProSchwein“ (Kupper *et al.*, 2009).

Trotz der Tatsache, das Fleisch immunokastrierter Schweine unbedenklich verzehrt werden kann, weil mit der Nahrung aufgenommene Antikörper im Verdauungstrakt enzymatisch abgebaut werden und nicht in den Blutkreislauf gelangen (Hagmüller, 2006), steht der Verbraucher der Immunokastration sehr kritisch gegenüber. Umfrageergebnisse im Zusammenhang mit dem „Projekt ProSchwein“ ergaben in der Schweiz, dass über die Hälfte der Befragten (56 %) ein solches Fleisch nicht

kaufen würden und 17,3 % nur mit Bedenken (Huber-Eicher & Spring, 2008). Eine Umfrage in Norwegen zeigte große Skepsis gegenüber der Immunokastration und ausnahmslose Ablehnung einer solchen Behandlung aus Produktionsgründen (Fredriksen *et al.*, 2011). Als weiterer Nachteil sind die Kosten zu sehen, die einerseits durch den benötigten Wirkstoff entstehen, andererseits durch eine möglicherweise notwendige Kontrolle der Tiere am Schlachtband, wenn deren Hodengröße nicht gering genug ist um den Erfolg der Immunokastration eindeutig nachzuweisen (EFSA Journal, 2004). Zudem gibt der EFSA-Bericht (2004) zu bedenken, dass ein gewisses Risiko für das ausführende Personal durch versehentliche Selbstinjektion besteht.

In Australien ist die Immunokastration bei Ebern allerdings bereits weitgehend eingesetzt, in zahlreichen anderen Ländern außerhalb der EU wie Brasilien, Neuseeland, Mexico oder Thailand ist eine Immunokastration mittels Improvac[®] erlaubt (Animalia Norway, 2008). Innerhalb der EU und Norwegen ist Improvac[®] seit 2009 zugelassen (Fredriksen *et al.*, 2011).

2.5.4. Lokalanästhesie

Lokalanästhesie alleine

Das Anästhetikum wird lokal in den Hoden verabreicht und es wird ca. 15 Minuten gewartet, bis die Wirkung einsetzt (Hagmüller, 2006). Zwar wird mit der Lokalanästhesie der Schmerz während der Kastration erkennbar vermindert, (Gutzwiller, 2003; Baumgartner, 2008), jedoch wird an der ausreichenden Wirkung der Lokalanästhesie gezweifelt. Denn nach Einschätzung des „Projektes PIGCAS“ wird zum einen durch das Handling und die Injektion Stress und Schmerz ausgelöst, und zum anderen zeigten einige Studien keine signifikanten Verminderungen des Kastrationsschmerzes (Borell *et al.*, 2008). Beispielsweise wurde in einer Untersuchung von Zöls (2006) nach intratestikulär verabreichter Lokalanästhetikumgabe von Procainhydrochlorid anhand der Kortisolmessungen im Blut eine fehlende Schmerzausschaltung festgestellt.

Vereisung mit postoperativer Lokalanästhesie

Dieses Verfahren wurde von Dr. Gasteiner am Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein entwickelt (Baumgartner, 2008). Bei dieser Methode wird vor den Hautschnitten die Haut durch eine Kryobehandlung anästhesiert, dann werden die Hoden abgesetzt und auf den Samenstrang und die Wundfläche ein Lokalanästhetikum mit Sperrkörper aufgesprüht (Gasteiner, 2008). Als Vorteile dieser Methode werden der geringe Zeitaufwand, die geringen Kosten (25 Cent/Ferkel) und die einfache Durchführbarkeit gesehen. Demgegenüber steht, dass das Absetzen des Samenstrangs schmerzhaft bleibt, da dieser nicht anästhesiert wird (Gasteiner, 2008). In Versuchen in Anlehnung an diese Methode mit gleichem Vorgehen, aber leicht variierten Pharmaka (Procain als Lokalanästhetikum und Chloraethyl als Kältespray anstelle von Lidocain und Freddo-Kältespray®) stellte Schiele (2010) sowohl eine halbe Stunde als auch 4 Stunden nach der Kastration in der Kortisolkonzentration keine signifikanten Unterschiede zwischen mittels dieser Methode und ohne Anästhesie kastrierten Ferkeln fest.

2.5.5. Schmerzmittelgabe

Durch einmalige präoperative Injektion eines nicht-steroidalen Antiphlogistikums (NSAID), wie Meloxicam oder Flunixin kann eine Schmerzreduktion bei der Kastration erfolgen (Baumgartner, 2008). Der Schmerzmittelwirkung durch NSAIDs zugrunde liegend ist, dass in Entzündungsgeschehen und der damit verbundenen Schmerzentstehung Prostaglandine eine Schlüsselrolle besitzen. Über eine Hemmung von Cyclooxygenasen führen die NSAIDs zu einer Hemmung der Prostaglandinsynthese und bewirken damit eine Schmerzreduktion (Kietzmann *et al.*, 2007). Der präoperative Einsatz von Meloxicam zeigte dabei gute Wirkung. So stellte Zöls (2006) anhand von Kortisolmessungen im Blut bei Meloxikameinsatz eine erhebliche Reduktion des postoperativen Schmerzes fest, während der Einsatz von Metamizol weniger Schmerzlinderung zeigte. Ebenso konnte Schulz (2007) anhand der Kortisolwerte eine signifikante Reduzierung des postoperative Kastrationsschmerzes durch Meloxicam nachweisen. Jedoch genügt der alleinige

Einsatz der Schmerzmittel nicht, um eine ausreichende Schmerzausschaltung bei der Kastration zu erzielen (Baumgartner, 2008).

2.5.6. Inhalationsanästhesie

Die Inhalationsnarkose beruht auf dem Einatmen von Narkosegasen. Als Narkosegase können prinzipiell Isofluran und die Kombination Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Sauerstoff (O₂) (Baumgartner, 2008) oder auch Halothan eingesetzt werden (Hagmüller, 2006), wobei derzeit keines dieser Gase für Schweine zugelassen ist (Vetidata, Stand 4. 05. 2011). Der Vorteil der Inhalationsnarkose ist eine sehr schnelle Einleitungs- und Aufwachphase (Mette, 2008), jedoch ist der Einsatz mit einem großen apparativen Aufwand verbunden (Narkosegerät, Betäubungsvorrichtung), beinhaltet das Risiko von Nebenwirkung für die ausführenden Personen (Hagmüller, 2006), und kann durch bestimmte Anästhetika bei Schweinen mit genetischer Prädisposition maligne Hyperthermie auslösen (EFSA Journal, 2004; Ebert *et al.*, 2007).

Zu der Wirkung der Inhalationsnarkose gibt es unterschiedliche Meinungen. Während Burren und Jäggin (2008) aufgrund geringer Abwehrbewegung und Lautäußerung bei 92,3% der Ferkel die Isoflurannarkose als ausreichend schmerzreduzierend ansehen, kommt Schulz (2007) anhand gemessener Kortisol- und Adrenalinwerte im Blut zu dem Ergebnis, dass die Isoflurannarkose zwar die Stressbelastung während der Kastration verringert, aber keine Reduzierung der postoperativen Schmerzen bewirken kann. Auch bei der CO₂-Narkose weisen hohe Kortisol- und β -Endorphinwerte darauf hin, dass eine ungenügende Belastungssenkung erreicht wird (Kohler *et al.*, 1998; Baumgartner, 2008). Mühlbauer (2009) stellte nach Kortisol- und Katecholaminmessungen sogar eine gravierend höhere Stressbelastung bei unter CO₂ kastrierten Ferkeln fest als bei unbetäubt kastrierten. Sie kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz einer CO₂-Narkose aus Tierschutzgründen in Frage zu stellen sei.

Der Einsatz von Halothan bietet zwar eine gute Einleitung und Analgesie, stellt aber für den Menschen ein gesundheitliches Risiko dar (Kohler *et al.*, 1998), da es im Verdacht steht Leberkrebs und Aborte zu verursachen (Bracher-Jakob, 2000; Ebert

et al., 2007). Zudem ist Halothan ein Triggerstoff für die maligne Hyperthermie, einer sehr gefährlichen Nebenwirkung der Narkose, die, wenn sie nicht sofort erkannt wird, bei 60-70 % der betroffenen Schweine tödlich endet (EFSA Journal, 2004; Ebert *et al.*, 2007).

2.6. Die Ebermast

Obwohl die Ebermast verglichen mit einer Mast von Kastraten sehr viele Vorteile besitzt, wurde sie bisher in den meisten Ländern der EU, in denen es gängige Praxis ist die Ferkel chirurgisch zu kastrieren, nicht praktiziert (Bonneau, 1998). Der wichtigste Grund hierfür liegt in der Entwicklung des Ebergeruchs, der durch die Kastration der männlichen Tiere unterbunden wird (Babol & Squires, 1995; Preinerstorfer *et al.*, 2010; Fredriksen *et al.*, 2011).

Nach Einschätzung der Bundestierärztekammer e.V. und dem Bundesverband der beamteten Tierärzte, sowie Praktizierenden Tierärzte stellt die Ebermast neben der Immunokastration die beste Alternative zur betäubungslosen chirurgischen Kastration dar, da sie sowohl die Kriterien des Tierwohls, der Lebensmittelsicherheit als auch der Fleischqualität mit der Geruchsfreiheit von Eberfleisch erfülle (Bundestierärztekammer e.V., Bundesverband der beamteten Tierärzte, Bundesverband Praktizierender Tierärzte e.V, 2011).

2.6.1. Gesetzliche Grundlage der Ebermast

Die Durchführung einer Ebermast wurde durch das Inkrafttreten des neuen EU-Hygienerechts 2006 und der Außerkraftsetzung der deutschen Fleischhygiene-Verordnung ermöglicht (Verband der Fleischwirtschaft e. V., 2010). Das neue Hygienepaket setzt sich aus den Hygieneverordnungen VO (EG) 852/2004, VO (EG) 853/2004 und VO (EG) 854/2004 zusammen und trat im Januar 2006 in Kraft (Henning, 2006). Danach ist Fleisch nur noch dann genussuntauglich, wenn es „organoleptische Anomalien, insbesondere einen ausgeprägten Geschlechtsgeruch

aufweist“ (VO EG 854/2004 Anhang I, Abschnitt 2 Kapitel V). Im Gegensatz dazu wurde nach der alten deutschen Fleischhygiene-Verordnung das Fleisch von nicht kastrierten männlichen Schweinen über 80 kg Tierkörpergewicht generell als genussuntauglich beurteilt und durfte nur dann als genussstauglich erklärt werden, wenn mit Hilfe eines geeigneten Tests nachgewiesen war, dass die 5-alpha-Androstenon-Höchstmenge von 0,5 µg/g Fett nicht überschritten wurde. Andernfalls war der Schlachtkörper als untauglich einzustufen (Fleischhygiene Verordnung, Verband der Fleischwirtschaft e.V., 2010). Da dieser Androstenonhöchstmengen-Nachweis nach Einschätzung des Verbands der deutschen Fleischwirtschaft (VDF) in der Praxis allerdings unmöglich war und zudem der festgesetzte Androstenongrenzwert von einem Großteil der Eber überschritten wurde, war die Ebermast in Deutschland undenkbar (Verband der Fleischwirtschaft e.V., 2010).

2.6.2. Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern

Der Schlachtkörper der Eber weist im Vergleich zu den Kastraten eine Verschiebung der Körperproportionen in die vordere Körperhälfte auf und zeichnet sich durch einen stark erhöhten Muskelfleischanteil und stark verringerten Fettanteil aus, wodurch der Schlachtkörperwert über dem der Kastraten liegt. Gleichzeitig ist eine Zunahme der Knochenmasse zu beobachten. Zudem haben Eber mehr Schwarten und Sehnen als Börgen (Dobrowolski *et al.*, 1995).

Bei Vergleichen der Teilstücke nach der DLG-Schnittführung ist eine unterschiedliche Verschiebung der Muskel- und Fettmenge in diesen Teilstücken zu erkennen. So ist der Muskelfleischanteil des Koteletts verhältnismäßig gering, während der Bauch bei den Ebern stark überproportional an Muskelfleischanteil zunimmt (Dobrowolski *et al.*, 1995).

Insgesamt haben Eber 1-2% höheren Anteil an wertvollen Teilstücken. Die Schulter ist um 5% mehr ausgeprägt (Bauer, 2010). Bei einem Vergleich von Großteilstücken zeigte die Schinken- und Kotelettregion kaum Unterschiede zu Kastraten, wohingegen die Bug-Kammregion der Eber stärker ausgeprägt war. Aufgrund des niedrigeren Fettansatzes ist die Bauchregion der Eber geringer ausgebildet (Dobrowolski *et al.*, 1995), und liegt etwa 10 % unter dem Bauchanteil

von Kastraten (Bauer, 2010). Außerdem besitzen Eber einen um etwa 9% höheren Kopfanteil (Bauer, 2010).

Die Eberschlachtkörper zeigten bei Untersuchungen von Dobrowolski et al. (1995) 60% Muskelfleischanteil (MFA) und 25,7% Fettgehalt, wodurch sie einen besseren Schlachtkörperwert als Börgen hatten (Abb. 5). Eine andere Untersuchung von Large White-Ebern zeigte in der Summe der Schultern, Lenden und Schinken einen Muskelfleischanteil der Eber von 57,3 %, der damit signifikant über dem Muskelfleischanteil der Kastraten mit 52,6 % lag (Pauly et al., 2008). Die Rückenfettdicke, das subkutane Fett der Schulter, Lende und Schinken der Eber lagen signifikant unter dem der Kastraten (Pauly et al., 2008). Insgesamt besitzen Eber bei gleichem mittlerem Schlachtgewicht fast 6% mehr Muskelfleisch und 8% weniger Fett (Dobrowolski et al., 1995).

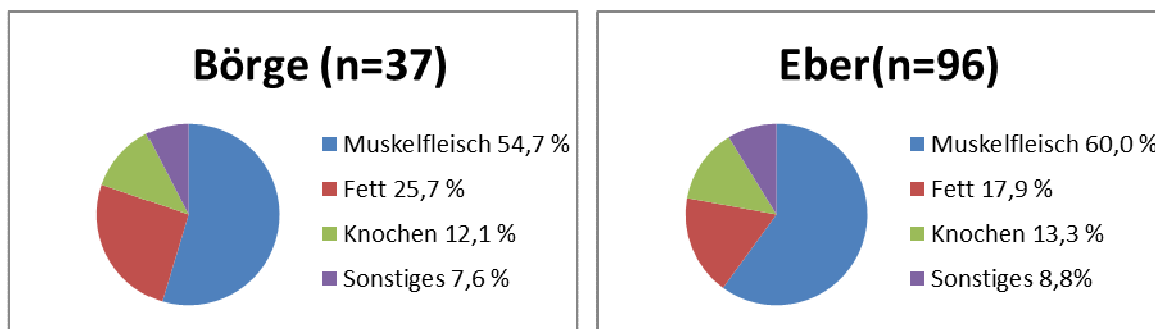


Abb.5: Schlachtkörperzusammensetzung der Börgen und Eber im Vergleich, nach Dobrowolski et al.,1995

Der intramuskuläre Fettgehalt ist bei den Ebern geringer als bei den Kastraten (Fischer & Weiler, 1995; Bauer, 2010). Fischer und Weiler stellten bei Messungen an verschiedenen Muskeln (M.), wie dem M. longissimus dorsi, M. triceps brachii oder M. semitendinosus, in einer Gewichtsklasse unter 80 kg bei Ebern um 0,3 - 0,4 % niedrigere intramuskuläre Fettgehalte als bei den Börgen fest. Andere Studien wie von Nold et al. (1997) zeigten ebenfalls bei Ebern geringere intramuskuläre Fettgehalte, wobei im M. longissimus dorsi Eber mit 100 kg 1,5 %, Jungsauen 1,7% und Börgen 2,8% intramuskuläres Fett aufwiesen. Nach Untersuchungen von Müller et al. (2010) waren die intramuskulären Fettgehalte des Kotelettes bei Ebern mit 0,6 % unter denen der Kastraten mit 1,1%.

Da sich die Eber in ihrer Körperzusammensetzung deutlich von Kastraten und Sauen unterscheiden, führt eine Klassifizierung nach bisherigen Schätzformeln zu einer Fehleinschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern (Bauer, 2010). Nach Untersuchungen von Dobrowolski *et al.* (1995) kam es bei Ebern mit den Formeln der Handelsklassenverordnung für Schweinehälften zu einer Unterschätzung des Muskelfleischanteils von 3%. Eine Anpassung der Schätzformeln an die Eberschlachtkörper ist deshalb erforderlich (Bauer, 2010).

2.7. Nachteile der Ebermast

2.7.1. Ebergeruch und seine Akzeptanz in Produkten

Der wichtigste Grund, der einer Ebermast im Weg steht, ist der Ebergeruch, wodurch in vielen Ländern die Ebermast abgelehnt wird (Babol *et al.*, 1999; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Wie Fischer *et al.* (1995) feststellten, können androstenonsensible Personen, je nach Zubereitungsart und Probenmaterial, einen „erheblichen“ oder „starken“ Ebergeruch mit einer Häufigkeit von 48-60 % bei leichteren Ebern (< 80 kg) und 57-73 % bei schwereren Ebern (>80 kg) wahrnehmen. Zudem empfanden einige Personen auch bei Androstenon-Konzentrationen unter 0,5 µg/g Fett einen unangenehmen Ebergeruch (Fischer & Weiler, 1995). Nach Untersuchungen von Desmoulin *et al.* (1982) wurden jedoch von den Konsumenten kaum Unterschiede zwischen Fleisch von Ebern und den Kontrolltieren (Kastraten und Sauen) bemerkt, solange der Fett-Androstenonspiegel unter 0,5 µg g⁻¹ im Fleisch oder 1 µg g⁻¹ im zubereiteten Produkt betrug (Desmoulin *et al.*, 1982).

Andere Untersuchungen zeigten, dass die Menschen verschiedener europäischer Länder unterschiedliche Akzeptanz für Eberfleisch hatten. So zeigte sich in Großbritannien für den Geruch und den Geschmack kaum Akzeptanzunterschiede zu Jungsauenfleisch, während in anderen Ländern, wie Deutschland oder Frankreich, 6,1- 10,2 % mit dem Geruch, und 2,4- 6,3% mit dem Geschmack unzufrieden waren (EFSA Journal, 2004).

Ein wichtiger Faktor für die Akzeptanz geruchbelasteten Fleisches ist die Zubereitung und Verzehrsform, da Geruchsabweichungen von erhitztem Fleisch, das warm serviert wird, stärker wahrgenommen werden (Babol & Squires, 1995). Ebenso weisen Fleischerzeugnisse, die im Laufe der Produktion erhitzt wurden, generell geringeren Geruch auf, da Skatol und Androstenon flüchtige Substanzen sind, deren Konzentrationen durch Erhitzen vermindert werden können (Babol & Squires, 1995; Lundström *et al.*, 2009). Folglich kann durch die Verarbeitung des Fleisches die Androstenonkonzentration teilweise reduziert werden. So wurde beispielsweise gepökelter Schinkenspeck um 21 % in der Androstenonkonzentration verringert, jedoch zeigte nur die Verarbeitung zu Kochschinken eine signifikante Reduzierung der Androstenonkonzentration um 60 %. Andere Produkte, wie Brühwürste oder Salami, konnten nur schwach oder gar nicht beeinflusst werden (Dehnhard *et al.*, 1995). Dahingegen war eine Reduzierung der Skatolkonzentration durch die Verarbeitung bei einigen Produkten bis unter die Nachweisgrenze möglich (Dehnhard *et al.*, 1995). Eine andere Möglichkeit Fleisch mit Ebergeruch zu verarbeiten liegt in der Mischung mit nicht riechendem Fleisch. Walstra (1974) zeigte, dass geräucherte Würstchen bis zu einem Anteil von 25% stark riechendem Fleisch und Fett bei Kaltverzehr, und 6-12% bei Warmverzehr von einem Expertenteam als „problemlos zu akzeptieren“ eingestuft wurden (Walstra, 1974). Ergebnisse von Trautmann *et al.* (2011) zeigten ebenfalls, dass für Kotelettstreifen, die wie Minutensteaks gebraten waren, weder die Fleischqualität noch die Kennzeichnung als Eberfleisch von signifikantem Einfluss auf die Beurteilung der Produkte war. Nur tendenziell wurden das Eberfleisch und die als Eberfleisch gekennzeichneten Produkte schlechter beurteilt. Hingegen zeigte eine andere Untersuchung, dass „sensitive Personen“ auch in Produkten wie Kochpökelware, Brühwürsten oder Rohwürsten geringe Konzentrationen von Androstenon und Skatol wahrnehmen konnten, während „unempfindlichen Personen“ die Eberfleischprodukte teilweise besser beurteilten als die Kontrolle (Stiebing, 2010).

Insgesamt zeigten die meisten Studien keine Unterschiede bei der sensorischen Beurteilung von Eberfleisch zu dem Fleisch von Kastraten und Sauen, solange niedrige Androstenon- und Skatolgehalte vorlagen (Lundström *et al.*, 2008). Dennoch bestehen bei einer Vermarktung von Eberfleisch Bedenken: Sollte geruchsbelastetes Fleisch in größeren Mengen verarbeitet werden, muss nach

Einschätzung von Müller *et al.* (2010) ein Verzehrsrückgang von Schweinefleisch befürchtet werden und auch Preinerstorfer *et al.* (2010) meinen eine Vermarktung geruchsbelasteten Fleisches sei schwierig und könne das Image von Schweinefleisch schädigen.

2.7.2. Fettkonsistenz

Das Fett der Eber enthält mehr Wasser und Protein und weniger Lipide. Zudem besitzt es einen größeren Anteil an ungesättigten Fettsäuren als das der Börgen und Jungsauen (Babol & Squires, 1995; Bonneau, 1998; Lundström *et al.*, 2009). Dies bringt zum einen den Vorteil, dass das Verzehren dieses Fleisches für den Menschen gesünder ist, da die Aufnahme großer Mengen Cholesterol und gesättigter Fettsäuren zu gesundheitlichen Störungen führen kann. Zum anderen hat es bei der Verarbeitung den Nachteil, dass es sehr weich ist und sich leichter von den anderen Geweben trennt, wodurch die Qualität der Schnitte abnimmt, (Babol & Squires, 1995). Außerdem oxidieren ungesättigte Fettsäuren schneller, weshalb das Fett schneller ranzig werden kann (Babol & Squires, 1995; Bonneau, 1998, Bauer, 2010). Dieses weiche Fettgewebe ist allerdings nicht eberspezifisch, sondern hängt mit dem hohen Anteil an Magergewebe zusammen (Bonneau, 1998). Durch die Fütterung können die ungesättigten Fettsäuren im Fett reduziert werden und damit die Nachteile größtenteils behoben werden (Wood *et al.*, 1989; Babol & Squires, 1995). So gibt es im United Kingdom, wo die Ebermast gängige Praxis ist, Vorgaben, die die Menge an ungesättigten Fettsäuren in der Fütterung begrenzen und damit die Entwicklung des weichen Fettes verringern (Lundström *et al.*, 2009).

2.7.3. Geringer intramuskulärer Fettgehalt

Wie bereits bei der Körperzusammensetzung erläutert, besitzen Eber einen geringeren intramuskulären Fettgehalt (IMF) als Kastraten (Bauer, 2010), wobei der intramuskuläre Fettgehalt als wichtiges Qualitätskriterium betrachtet wird (Mörlein,

2007), weil geringe intramuskuläre Fettgehalte zu Geschmacks und Saftigkeitsverlusten führen können (Bauer, 2010). Im Allgemeinen werden 2 bis 2,5% IMF mit einer guten Fleischqualität assoziiert. Aber durch Zucht auf einen hohen MFA und geringe Fettauflagen erfüllen marktbestimmende Schweinepopulationen heute kaum noch die 2% IMF und über 50 % der vom Warentest 2001/2002 geprüften Schlachtschweine zeigten IMF-Gehalte unter 1% (Mörlein, 2007). Eber lagen nach Angaben verschiedener Autoren (Fischer & Weiler, 1995; Nold *et al.*, 1997; Müller *et al.*, 2010) im Allgemeinen unter den IMF-Werten von Kastraten. Allerdings muss nicht bei allen genetischen Herkünften ein erhöhter IMF-Wert mit besseren sensorischen Eigenschaften verbunden sein (Mörlein, 2007).

2.7.4. Erhöhte Aggressivität

Im Vergleich zu den Kastraten und Jungsauen zeigen die Eber ein stärkeres aggressives und sexuelles Verhalten, wodurch die Gesundheit der Tiere beeinträchtigt werden kann (EFSA Journal, 2004; Pauly *et al.*, 2009). Allerdings konnten durch das Haltungsmanagement diese Verhaltensweisen reduziert werden, wie Untersuchungen von Fredriksen *et al.* (2008) zeigten. Die aggressiven Verhaltensweisen der Eber konnten durch eine gemeinsame Haltung von Wurfgeschwistern vom Zeitpunkt der Geburt bis zum Schlachtzeitpunkt vermindert werden, so dass weniger gesundheitliche Schäden auftraten (Fredriksen *et al.*, 2008). Und auch Pauly (2009) rät dazu eine Neugruppierung der Eber zu vermeiden, da ohne Neugruppierung nur geringe Hautläsionen zu beobachten waren.

Eber zeigen also grundsätzlich ein stärkeres Aggressionsverhalten als die Kastraten, jedoch kann dieses durch das richtige Haltungsmanagement verringert werden (Fredriksen *et al.*, 2008; Pauly *et al.*, 2009; Preinerstorfer *et al.*, 2010).

2.7.5. Geringere Ausschlachtung

Die Ausschlachtung der Eberschlachtkörper ist geringer als bei den Kastraten und liegt nach Untersuchungen von Müller *et al.* (2010) um 1,5 % unter der der Kastraten. Nach Ergebnissen von Adam *et al.* (2009) liegen die Ausschlachtungs-werte sogar um 2% unter denen der Kastraten, wobei bei Ebern mit durchschnittlich 85 und 95 kg auf die Hoden und Nebenhoden 0,6- 0,7 kg entfallen.

2.8. Vorteile der Ebermast

2.8.1. Tierschutz

Aus Sicht des Tierschutzes bietet die Jungebermast die beste Alternative zur betäubungslosen Kastration der männlichen Ferkel, da Stressbelastungen und Schmerzen vollständig entfallen (Hagmüller, 2006; Baumgartner, 2008; Preinerstorfer *et al.*, 2010; Rusche, 2010). Damit werden sowohl die erheblichen akuten Schmerzen bei der Operation als auch die postoperativen Schmerzen durch die Ebermast vermieden (Hagmüller, 2006; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Allerdings kann es bei der Ebermast zu vermehrt aggressivem Verhalten kommen, was wiederum das Wohlbefinden der Tiere einschränken kann (Borell *et al.*, 2008; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Durch das richtige Haltungsmanagement kann dieses Risiko jedoch reduziert werden (Fredriksen *et al.*, 2008; Pauly *et al.*, 2009).

2.8.2. Ökonomische Vorteile

Die Ebermast kann ökonomische Vorteile haben, da die Eber eine bessere Futterverwertung, schnelleres Wachstum, besseres Fleischansatzvermögen und einen höheren Magergewebeanteil als die Kastraten und Sauen aufweisen (Babol & Squires, 1995; Bracher-Jakob, 2000; Coker *et al.*, 2009; Geßl & Rudolph, 2009; Lundström *et al.*, 2009; Müller *et al.*, 2010). Der Grund liegt in der anabolen Stoffwechsellage, in der im Vergleich zu Kastraten die doppelte Menge an anabolen

Steroiden (Androgene, Östrogene) vorliegt (Bracher-Jakob, 2000; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Dadurch wird der Eiweißansatz gefördert und der Fettansatz vermindert, ein Umstand, der gerade in der Ausmastphase bei den Ebern das frühe Verfetten, wie es bei den Kastraten auftreten kann, verhindert (Bracher-Jakob, 2000; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Die Werte einzelner Studien variieren aufgrund verschiedener Einflussfaktoren wie Rasse, Fütterung und Schlachtgewicht. Jedoch gibt es Ergebnisse, die Höchstwerte einer besseren Effizienz in der Wachstumsrate um 13 %, im Futterverbrauch bis 9 %, in der Futterverwertung bis 14 % und in mageren Schlachtkörpern bis 20% gegenüber der Kastraten belegen (Lundström *et al.*, 2009; Preinerstorfer *et al.*, 2010). Hoppenbrock *et al.* (1995) konnten die besseren Mastleistungen bestätigen, indem sie bei Ebern mit 95 kg einen besseren Nettofutterverbrauch um 12,2 %, einen geringeren Futterverbrauch je kg um 12,5 % und sogar 35,1 % weniger Gewichtsverlust beim Transport nachwiesen. Die täglichen Zunahmen lagen dabei bei den Ebern mit 848 g nur geringfügig (1,4%) unter denen der Kastraten mit 860 g und auch die Mastdauer der Eber war mit durchschnittlichen 80,3 Tagen ohne großen Unterschied zu den Kastraten mit 78,2 Tagen (2,6 %). Hoppenbrock *et al.* (1995) kamen zu dem Ergebnis, dass Eber eindeutig eine bessere Mastleistung besitzen als Börgen. Müller *et al.* (2010) bestätigten die bessere Futtereffizienz, da sie bei Kastraten einen um 0,4 - 0,5 kg höheren Futterverbrauch pro kg Gewichtszunahme feststellten als bei Ebern. Die Mastleistung lag dabei mit einer Prüftageszunahme von 1022 g Lebendmasse über der der Kastraten mit 1012 g, wobei das Schlachtagter annähernd gleich war (167 und 168 Tage).

Dazu kommt, dass der Schlachtkörperwert der Eber mit einem erhöhten Muskelfleisch- und stark erniedrigten Fettanteil über dem der Börgen liegt (Dobrowolski *et al.*, 1995; Adam, 2009; Müller *et al.*, 2010). Eber haben bei vergleichbarem Schlachtgewicht signifikant niedrigere Fettauflagen als Kastraten (Müller *et al.*, 2010) und zeigten bei gleichem mittlerem Schlachtgewicht fast 6% mehr Muskelfleisch und 8% weniger Fett (Dobrowolski *et al.*, 1995). Im Bauchbereich lagen die Muskelfleischanteile der Eber 5 % über denen der Kastraten (Müller *et al.*, 2010).

Untersuchungen von Müller *et al.* (2010) zeigten zudem bei Ebern längere Schlachtkörper als bei Kastraten.

Die Produktionskosten für Eber liegen wesentlich niedriger als bei Kastraten (Bonneau, 1998; Zöls, 2006). So entfallen Kosten, die mit der Kastration verbunden sind, ebenso werden durch die Kastration bedingte Tierverluste, mögliche Mastleistungsabnahmen in den Tagen nach der Kastration oder verbundene Komplikationen, wie Abszessbildung und Infektionen vermieden (Bonneau, 1998; Fredriksen *et al.*, 2009). Das trägt dazu bei, dass im Endeffekt bei der Ebermast bessere Gewinne erwirtschaftet werden können als bei der Mast von Kastraten (Walstra, 1974). Bei entsprechenden Bezahlungssystemen für Eberschlachtkörper mit einer Berücksichtigung der besseren Teilstückqualität liegen die Gewinne einer Ebermast deutlich über denen einer Mast von Kastraten (Müller *et al.*, 2010). Allerdings gibt das EFSA Journal (2004) zu bedenken, dass neben den Kosteneinsparungen bei der Ebermast auch mögliche Ausgaben für das Ebergeruch-Screeningsystem anfallen können (EFSA Journal, 2004). Für die sensorische Untersuchung dieser Studie fielen für jedes Mikrowellenverfahren, jede Kochprobe und jede Ausschmelzprobe je 8,50 € (ohne Mehrwertsteuer; MwSt) an. Damit wurden für die sensorische Untersuchung der 123 Eber mit 123 MWD, 28 Kaltansätzen und 13 Ausschmelzproben insgesamt 1658,86 € (mit MwSt) ausgegeben, das sind durchschnittlich 13,50 € (mit MwSt) pro Eber (Anlage zur Rechnung des Tiergesundheitsdienstes Bayern e.V., vom 09.03.2011). Dazu kommen die möglicherweise anfallenden Totalverluste mit Futter- und Haltungskosten (+Entsorgungsgebühren) genussuntauglicher Schlachtkörper (Müller *et al.*, 2010). Die objektive Untersuchung der Androstenonkonzentration würde derzeit mit Labormethoden Kosten von ca. 25,- € je Eber verursachen, wodurch die Ebermast komplett unwirtschaftlich würde (Anlage zur Rechnung des Tiergesundheitsdienstes Bayern e.V., vom 09.03.2011). Allerdings ist nach der derzeitigen Gesetzgebung kein Androstenongrenzwert festgelegt, der einen ausgeprägten Geschlechtsgeruch definiert, weshalb eine Androstenonbestimmung bei einer Ebermast nicht mehr notwendig ist (VO EG 854/2004 Anhang I, Abschnitt 2 Kapitel V).

An einer Optimierung der Methoden zur zuverlässigen und kostengünstigen Feststellung von Ebergeruch, wie etwa der Entwicklung moderner Screeningprogramme („Elektronische Nase“) wird zurzeit vielfältig geforscht (Haugen, 2006; Vestergard *et al.* 2006).

Insgesamt können die möglichen Gewinne einer Ebermast deutlich über denen einer Mast von Kastraten liegen (Walstra, 1974; Müller *et al.*, 2010).

Länder wie Großbritannien oder Irland haben jedenfalls die Kastration zu Gunsten der Ebermast schon vor 20-30 Jahren aus vorwiegend wirtschaftlichen Gründen, wie dem schnelleren Wachstum, der besseren Futterverwertung und den magereren Schlachtkörpern abgeschafft, so dass dort fast alle männlichen Schweine unkastriert gemästet werden (Animalia Norway, 2008).

2.8.3. Umweltschutz

Der Stallmist von Nutztieren wird als die Hauptquelle für die Ammoniak-Emission angesehen (Portejoie *et al.*, 2004) und die moderne Tierproduktion wird zunehmend unter Druck gesetzt der steigenden Umweltbelastung entgegenzuwirken (Relandeau, 1999). Eine vermehrte Ablagerung von Ammoniak (NH_3) kann zu einer Versäuerung der Böden, und einer Eutrophierung der Gewässer führen und dadurch das Ökosystem stören (Portejoie *et al.*, 2004). In Gebäuden stellt NH_3 in Kombination mit Staub zudem ein Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier dar, da es längerfristig zu Lungenerkrankungen führen kann (Portejoie *et al.*, 2004). Hier weisen Eber einen Vorteil gegenüber den Kastraten auf. Sie haben eine um 25% höhere Stickstoffretention als Kastraten (Bauer, 2010) und zeigen somit eine verminderte Stickstoffausscheidung (Tholen & Frieden, 2010a).

2.9. Schlachtkörperqualität und Schlachtkörperwert von Schweinen

Die Schlachtkörperqualität kann unterteilt werden in die Schlachtkörperzusammensetzung und die Beschaffenheit von Fleisch und Fett (Braun & Müller, 2006).

Nach der Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007 werden der

Schlachtkörperwert und die Fleischbeschaffenheit ermittelt. Zur Erfassung des Schlachtkörperwertes wird neben dem Schlachtkörpergewicht warm und kalt, die Schlachtkörperlänge, die Rückenspeckdicke, die Rückenmuskelfläche, die Fettfläche, das Fleisch-Fett-Verhältnis, die Speckdicke über der Rückenmuskelfläche (Speckmaß B), die Seitenspeckdicke, der intramuskuläre Fettgehalt, das Schinkengewicht, der Schinkenanteil (fakultativ), und der Fleischanteil (nach Formel) ermittelt (Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007).

Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien des Schlachtkörperwerts nach den Angaben der Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 01.07.2004 dargestellt: Für alle Parameter zur Ermittlung des Schlachtkörperwerts gilt, dass sie in der Leistungsprüfanstalt an den hängenden Schlachtkörpern nach einer mindestens 12-stündigen Kühlzeit erfasst werden müssen.

Das Schlachtgewicht warm (kg) gibt das Gewicht des von Beckenhöhlenfett, Nieren, Nierenfett, Flomen und Zwerchfell/-Pfeiler befreiten, längsgeteilten Schlachtkörpers direkt nach der Schlachtung wieder.

Das Schlachtkörpergewicht kalt (kg) ist aus dem Schlachtkörpergewicht warm berechenbar: Es werden 2% Kühlverlust abgezogen und das Ergebnis wird durch 2 dividiert.

Die Schlachtkörperlänge (cm) ist die Strecke zwischen dem cranialen Rand des ersten Halswirbels und der cranialen Kante des Schlossknochens.

Die Rückenspeckdicke (cm) gibt die durchschnittliche Speckdicke an Widerrist, Rückenmitte und Lende an. Sie wird gemessen, indem mittels einer Schublehre der Abstand zwischen der Muskel-Speck-Trennlinie und der Außenkante der Schwarte analysiert wird, wobei senkrecht zur Außenkante der Schwarte gemessen wird.

Die Rückenmuskelfläche (cm²) wird am M. longissimus dorsi am Kotelettanschnitt ermittelt. Für die Messung wird ein Schnitt zwischen dem 13. und 14. Brustwirbel senkrecht zur Wirbelsäule gesetzt. Der Muskelanschnitt wird fotografiert und 1:1 wiederhergestellt. Rassespezifisch wird bei jedem Einzeltier eine lineare Korrektur auf ein Schlachtkörpergewicht warm von 85 kg durchgeführt.

Die Fettfläche (cm²) ist die Fläche über dem M. longissimus dorsi am Kotelettanschnitt. Die Begrenzung der Fläche erfolgt indem von einem definierten

Punkt A am dorsalen Rückenmuskelende das Lot auf die Schwarte (Schnittpunkt A') gefällt wird.

Das Fleisch-Fett-Verhältnis wird mit folgender Formel berechnet: gewichtskorrigierte Fettfläche geteilt durch gewichtskorrigierte Rückenmuskelfläche. Angegeben wird es durch die Formel: 1 dividiert durch den Quotienten aus Fettfläche und Rückenmuskelfläche.

Die Speckdicke über der Rückenmuskelfläche (Speckmaß B) (cm) stellt die dünnste Fettauflagestelle über dem Rückenmuskel dar. Sie wird mittels Schublehre direkt an der Schlachtkörperhälfte oder der Kotelettfotografie ermittelt, kann aber auch durch andere vom Ausschuss für Leistungsprüfungen und Zuchtwertfeststellung beim Schwein (ALZ) zugelassene Techniken gemessen werden. Die Seitenspeckdicke (cm) wird mittels Schublehre am Kotelettanschnitt der Schlachtkörperhälfte ermittelt. Sie stellt das höchste fleischfreie Speckmaß senkrecht zur Schwarte in Höhe des ventralen Endes des M. latissimus dorsi einschließlich der Schwarte dar (D-D'). Wird dieser Punkt von anderen Muskeln verdeckt oder weist der in den Speck ragende Muskel keine Unterbrechung auf und ist über 5 mm dick, wird die Messung an der dicksten fleischfreien Stelle ventral des M. iliocostalis vorgenommen. Die Messung darf auch von anderen vom ALZ zugelassenen Geräten durchgeführt werden.

Der Fleischanteil im Bauch (%) wird anhand der sogenannten Gruber-Formel geschätzt:

für Vaterlinien: $73,685 - 3,347 \cdot \text{Rückenspeck, Lende (cm)} - 2,259 \cdot \text{Seitenspeck (cm)} + 0,078 \cdot \text{Fleischfläche (cm}^2\text{)} - 0,626 \cdot \text{Fettfläche (cm}^2\text{)}$,

für Mutterlinien: $51,194 + 0,216 \cdot \text{Schlachtgewicht (kg)} - 2,690 \cdot \text{Rückenspeck Mitte (cm)} - 2,489 \cdot \text{Seitenspeck (cm)} - 3,115 \cdot \text{Speckmaß über Rückenmuskelfläche (cm)}$,

für Kreuzungstiere: $65,942 - 1,819 \cdot \text{Rückenspeckdicke, Lende (cm)} - 1,867 \cdot \text{Seitenspeck (cm)} + 0,145 \cdot \text{Fleischfläche (cm}^2\text{)} - 0,479 \cdot \text{Fettfläche (cm}^2\text{)}$.

In Abhängigkeit vom Prüfverfahren können modifizierte Formeln verwendet werden.

Der Intramuskuläre Fettgehalt kann fakultativ ermittelt werden. Die Probe wird zwischen der 13. und 14. Rippe entnommen und entweder nasschemisch oder durch ein zugelassenes physikalisches Analyseverfahren ermittelt.

Das Schinkengewicht (kg) kann ebenfalls fakultativ erfasst werden. Nach Abtrennung des Schinkens vom Schlachtkörper wird das Filet entfernt und ein Längsschnitt zwischen letztem und vorletztem Lendenwirbel senkrecht zur

Wirbelsäule gesetzt. Das Schinkengewicht umfasst auch die Fettauflage, das Eisbein, das Spitzbein, den Schwanz und die Zuwamme. Das Filet geht nicht in das Gewicht ein. Sollte der Filetkopf am Schinken verbleiben, müssen 200 g vom Schinkengewicht abgezogen werden. Fehlt der Schwanz, müssen 200 g zugerechnet werden.

Der Schinkenanteil (%) kann ebenfalls fakultativ berechnet werden, indem der Gewichtsanteil des Schinkens am Schlachtgewicht kalt ermittelt wird. Der Fleischanteil nach „Bonner Formel 04“ (%) wird wie folgt berechnet:

für Mutterlinien (DE/DL) und Hybriden: $59,704 - 0,147 \cdot \text{Fettfläche (cm}^2) + 0,222 \cdot \text{Fleischfläche (cm}^2) - 1,744 \cdot \text{Rückenspeck, Lende (cm) - 1,175} \cdot \text{Rückenspeck, Mitte (cm) - 0,809} \cdot \text{Rückenspeck, Widerrist (cm) - 1,801} \cdot \text{Speckmaß über Rückenmuskelfläche (cm)}$;

für Pietrain (Vaterlinien): $56,848 + 0,161 \cdot \text{Ausschlachtung (\%)} - 0,174 \cdot \text{Fettfläche (cm}^2) + 0,048 \cdot \text{Fleischfläche (cm}^2) - 1,240 \cdot \text{Rückenspeck, Mitte (cm) - 0,711} \cdot \text{Rückenspeck, Widerrist (cm) - 0,295} \cdot \text{Seitenspeckdicke (cm) - 1,330} \cdot \text{Speckmass über Rückenmuskelfläche (cm) x Schlachtkörpergewicht (warm) x 100/Mastendgewicht}$.

Die Fleischbeschaffenheit wird nach der Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007 durch Messung des pH-Wertes, der Leitfähigkeit, der Fleischhelligkeit (fakultativ) und des Tropfsaftverlusts (fakultativ) beurteilt (Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007).

Bei der Qualitätsbestimmung des Fleisches gibt der pH-Wert den Grad der Fleischsäuerung an. Dieser sinkt im Prozess der Fleischreifung ab, da im Schlachtkörper anaerob Glykogen zu Laktat (Milchsäure) abgebaut wird. Wie stark der pH-Wert abfällt, ist für die Fleischqualität entscheidend. Bei einer „normalen Fleischreifung“ fällt der pH-Wert bis auf einen Endwert von etwa 5,5 ab (Strack, 2000; Honikel, 2004; Littmann *et al.* 2006). Der pH-Wert wird an Kotelett und Schinken überprüft.

Der pH-Wert des Koteletts wird 35 bis 45 Minuten post mortem (p.m.) mittels einer 4 cm tief eingestochenen Elektrode zwischen den Dornfortsätzen des 13. und 14. Brustwirbels (pH₁-Kotelett) und 24 h (±4h) p.m. am Kotelettanschnitt (pH₂₄-Kotelett)

gemessen. Der pH-Wert des Schinkens wird 24h (± 4 h) p.m. am Schinken ermittelt (pH₂₄-Schinken) (Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007). Bei einer normalen Fleischreifung liegt der pH₁-Kotelett-Wert zwischen 5,8 und 6,4; der pH₂₄-Kotelett-Wert unter 5,6 und der pH₂₄-Schinken-Wert unter 5,6 (Strack, 2000). Neben den erwünschten pH-Werten kann es aber auch zu einer „fehlerhaften“ Fleischsäuerung kommen, wodurch Fleisch von anormaler Beschaffenheit entsteht: das PSE- und das DFD- Fleisch (Abb 6).

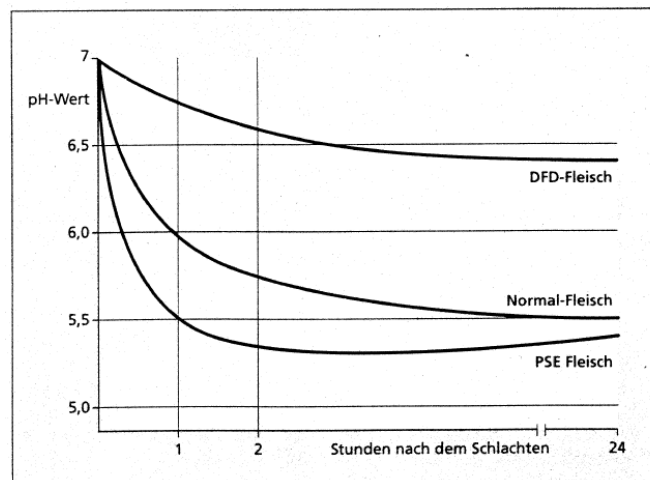


Abb. 6: Verlaufsformen des pH-Abfalls im Schweinefleisch bis 24 Stunden nach dem Schlachten, aus Littmann *et al.*, 2006

PSE steht für pale (bleich), soft (=weich), und exsudative (= wässrig), DFD für dark (=dunkel), firm (=fest) und dry (=trocken). Das PSE-Fleisch entsteht durch einen zu schnellen Abbau der Energiereserven (Glykogen) zu Laktat, wodurch es zu einer zu starken Fleischsäuerung mit zu niedrigen pH-Werten kommt (pH₁-Kotelett < 5,6). Dieses Fleisch ist weniger zart und schrumpft durch seinen hohen Wasserverlust beim Erhitzen stärker als normales Fleisch. Zudem zeigen sich Probleme bei der Verarbeitung, da Tropfwasser und verstärkte Verdunstung zu Gewichtsverlusten, verstärkter Geleebildung bei Dosenschinken und geringerem Wasseraufnahmevermögen bei der Würstchenherstellung führen (Strack, 2000).

Das DFD-Fleisch entsteht durch eine zu geringe Fleischsäuerung bei einem Energiereservemangel (Mangel an Glykogen) in den Muskeln zum Zeitpunkt der Schlachtung. Durch die zu geringe Säuerung des Fleisches können sich Bakterien vermehren und es kommt zu einer geringeren Haltbarkeit. Zudem hat das Fleisch

eine „unangenehm leimige“ Konsistenz. Der pH₂₄-Kotelett-Wert und pH₂₄-Schinken-Wert liegen bei DFD-Fleisch über 6 (normal :<5,6) (Strack, 2000).

Durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit (LF) (mS/cm²) kann auf eine einfache und schnelle Art das Auftreten von PSE-Fleisch untersucht werden, indem die elektrische Leitfähigkeit die Veränderungen im Muskelgewebe darstellt, die durch den sinkenden pH-Wert entstehen (Strack, 2000). Im Verlauf der Fleischreifung wird durch den abnehmenden pH-Wert die Anzahl freier Ladungsträger erhöht und es kommt zu einer Zerstörung der Zellmembran. Hierdurch ist ein Austausch von intrazellulären und extrazellulären Flüssigkeiten möglich, die zu einem dielektrischen (nichtleitenden) Zustand führen (Braun & Müller, 2006). Die Leitfähigkeit (LF) wird fakultativ 40-50 Minuten p.m. mit einer bis 6 cm tief eingestochenen Elektrode zwischen den Dornfortsätzen des 12. und 13. Brustwirbels gemessen (LF₁-Kotelett). Eine zweite Messung (LF₂₄) wird 24 h p.m. (± 4h) zwischen den Dornfortsätzen des 14. und 15. Brustwirbels in 6 cm Tiefe durchgeführt (Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 01.07.2004).

Da die Leitfähigkeit mit der Menge an Flüssigkeit in der Muskulatur zunimmt, liegt bei hohen LF-Werten eine ungünstige Fleischbeschaffenheit vor (Littmann *et al.* 2006). Eine gute Fleischqualität ist dann gegeben, wenn die LF₁-Kotelett- und LF₂₄-Kotelett- Werte unter 5 mS/cm² liegen. Unerwünscht sind Werte über 8,0 mS/cm² (Strack, 2000).

Die Fleischhelligkeit stellt einen weiteren Indikator für die Fleischqualität dar (Littmann *et al.*, 2006). Die Messung wird fakultativ am Kotelettanschnitt mit einem vom ALZ genehmigten Gerät zur Fleischhelligkeitsmessung durchgeführt, wobei zuvor die Fleischfläche durch das Abstreichen mit einer Messerklinge von Flüssigkeit befreit werden muss (Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 01.07.2004). Bei Messungen mit dem Gerät Opto-Star (24 h p.m. Kotelett) zeigen Werte zwischen 66 und 80 eine sehr gute Fleischqualität und Werte zwischen 61 und 65 eine gute Fleischqualität an. Liegt der Wert unter 55, bedeutet dies, dass PSE-Fleisch vorliegt. Werte über 80 zeigen Verdacht auf DFD-Fleisch an (Littmann *et al.*, 2006).

Der Tropfsaftverlust (%) kann fakultativ ermittelt werden. Er gibt das Safthaltevermögen des Fleisches wieder, indem das Verhältnis von dem Gewicht

des abgetropften Wassers und dem Gewicht der Fleischprobe verglichen wird. Der Tropfwasserverlust sollte 24 - 48 h p.m. unter 3 % liegen (Strack, 2000; Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007).

Der Schlachtkörper kann nach der VO über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper anhand der Höhe des Muskelfleischanteils (MFA;%) in verschiedene Handelsklassen eingeteilt werden. Von zugelassenen Klassifizierungsgeräten wird das Speck- und Fleischmaß zwischen der zweit- und drittletzten Rippe gemessen. Aus diesem kann durch eine Formel der MFA berechnet werden (VO über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper). Nach der Höhe des MFA erfolgt bei Schweinen mit einem Schlachtgewicht zwischen 50 und 120 kg die Einteilung des Schlachtkörpers in eine Handelsklasse (VO über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper, 2011):

Tab.1: Einteilung der Handelsklassen

Handelsklasse	MFA (%)
S	≥ 60
E	$55 \geq \text{MFA} < 60$
U	$50 \geq \text{MFA} < 55$
R	$45 \geq \text{MFA} < 50$
O	$40 \geq \text{MFA} < 45$
P	< 40
M	Schlachtkörper von Sauen
V	Schlachtkörper von Ebern, die in der Zucht Verwendung finden und von Altschneidern

Handelsklassenschema mit den Handelsklassen S, E, U, R, O, P, M und V, eingeteilt nach den Muskelfleischanteilen (MFA;%), modifiziert nach der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper, 2011 (Schweineschlachtkörper- Handelsklassenverordnung; SchwHKIV).

Da die Eber einen anderen Körperbau als Kastraten oder Sauen besitzen, sind die bisherigen Schätzformeln bei der Klassifizierung von Eberschlachtkörpern fehlerhaft (Dobrowolski *et al.*, 1995; Bauer, 2010). Deshalb ist für eine Klassifizierung von Ebern eine Anpassung der Schätzformeln notwendig (Bauer, 2010).

2.10. Immunologische Methoden zum Nachweis von Substanzen

Mit Hilfe von Immunoassays können semiquantitativ geringe Konzentrationen aller Substanzen bestimmt werden, für die Antikörper herstellbar sind (Koolmann & Röhm, 2003a). Antikörper (Immunglobuline) stellen äußerst empfindliche analytische Reagentien dar, um Antigene quantitativ zu bestimmen. Man kann verschiedene Immunoassays unterscheiden. Beim Festphasenimmunoassay wird ein spezifischer Antikörper an eine Matrix, beispielsweise eine Polyvinylchloridplatte, gebunden. Auf diese wird die Probe gegeben, woraufhin in der Probe enthaltene Antigene an die spezifischen Antikörper binden. Es bilden sich Antikörper-Antigen-Komplexe. Danach wird die Platte abgewaschen, so dass nichtgebundene Antigene entfernt werden. Anschließend wird ein zweiter für das gebundene Antigen spezifischer Antikörper zugefügt, der radioaktiv oder fluoreszierend markiert ist und deshalb mit hoher Empfindlichkeit nachweisbar ist. Die Platte wird erneut abgewaschen um ungebundene Moleküle zu entfernen und die Radioaktivität bzw. Fluoreszenz der gebundenen Antikörper kann gemessen werden. Da die Menge der gebundenen, nachweisbaren Antikörper zu der Menge des Antigens proportional ist, kann dadurch auch die Menge des Antigens bestimmt werden (Stryer, 1990).

In einem Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) ist die Nachweisempfindlichkeit des Tests noch größer. Bei diesem Nachweisverfahren wird wie für den Festphasenimmunoassay beschrieben vorgegangen, jedoch ist der zugegebene zweite Antikörper statt mit einer radioaktiven oder fluoreszierenden Komponente mit einem Enzym, beispielsweise der alkalischen Phosphatase, verbunden. Die Platte wird abgewaschen, um wiederum nichtgebundene Antikörper-Enzym Einheiten zu entfernen. Gibt man nun ein enzyspezifisches farblores Substrat auf die Platte, wird dieses sehr schnell von dem gebundenen

Enzym in ein farbiges oder von einem nicht fluoreszierenden in ein fluoreszierendes Produkt umgewandelt (Stryer, 1990). Diese Produkte sind photometrisch nachweisbar (Koolmann & Röhm, 2003a).

Eine weitere Methode stellt das Western Blotting dar, bei dem die zu untersuchende Probe zunächst einer Sodium-dodecyl-sulfate Polyacrylamidgel-Elektrophorese (SDS-Page) unterzogen wird (Stryer, 1990). Das ist ein Verfahren, in dem Moleküle in einem elektrischen Feld wandern. Im Normalfall richtet sich die Geschwindigkeit, mit der sich Moleküle im elektrischen Feld bewegen, nach ihrer Größe, Ladung und Form, jedoch ist für das Proteingemisch bei der SDS-Page durch eine Vorbehandlung nur noch die Masse entscheidend. Nach der Wanderung durch das polymere Acrylamid-Gel haben sich die Proteine nach ihrer Wandergeschwindigkeit aufgetrennt und können durch Färbung sichtbar gemacht werden (Koolmann & Röhm, 2003b). Für das Western Blotting werden die aufgetrennten Proteine aus dem Gel auf eine Polymerschicht übertragen (=“Blotting“) und es wird wieder ein spezifischer Antikörper zugegeben. Nach einer Waschung kann der Antikörper-Antigen-Komplex durch Zugabe eines weiteren, für den zugegebenen Antikörper spezifischen, zweiten Antikörpers, der beispielsweise radioaktiv markiert ist, nachgewiesen werden. Der zweite Antikörper kann anstelle der radioaktiven Markierung auch mit einem Enzym verbunden sein, das wie bei einem ELISA eine Farbreaktion mit einem zugegebenen Substrat auslöst. Durch das Western Blotting kann ein bestimmtes Protein aus einer komplexen Proteinmischung nachgewiesen werden. Dieses Verfahren wird beispielsweise bei der Klonierung von Genen angewandt (Stryer, 1990).

2.11. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung

Um die Körperzusammensetzung zu ermitteln, wurden bereits verschiedenste Methoden eingesetzt (Rubiano *et al.*, 2000). Dabei kann zwischen direkten und indirekten Messmethoden (Kanaley, 1996) und zwischen invasiven und nicht invasiven Methoden unterschieden werden. Die nicht invasiven Methoden besitzen den Vorteil, dass mehrfache Messungen am gleichen Tier möglich sind, wodurch Wachstumsstudien durchgeführt werden können, bei denen der zufällige Tiereffekt

reduziert wird und weniger Versuchstiere benötigt werden (Lösel *et al.*, 2007). In der Nutztierhaltung ist die Ermittlung der Körperzusammensetzung unversehrter Schweine für Wachstums- und Entwicklungsstudien, zur Optimierung von Zuchtzielen, Fütterungsmanagement und des Schlachtgewichts von Bedeutung (Mohrmann *et al.*, 2006). Gerade die Forderung der Verbraucher nach einem höheren Magerfleischanteil indiziert zudem die Ermittlung der Körperzusammensetzung auf eine nicht invasive, objektive und einfach durchführbare Art (Marchello *et al.*, 1999). Im Folgenden werden nun einige Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung dargestellt.

2.11.1. Indirekte Methoden

2.11.1.1. Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)

Bei der Magnetresonanz geben Wasserstoffprotonen nach pulsativer Einstrahlung von Radiowellen einer bestimmten Wellenlänge elektromagnetische Wellen ab, die mittels Empfangsspule gemessen werden und spezifisch für die unterschiedlichen Gewebe sind (Baulain & Henning, 2001). Zugrundeliegende Basis ist, dass die Protonen eine Drehbewegung (Spin) besitzen und die Rotationsachse der Protonen im magnetischen Feld gemessen werden kann. Wird nun ein äußeres Magnetfeld erzeugt, richten sich die Spins entlang dieses Feldes aus, wobei sie eine Präzisionsbewegung mit einer charakteristischen Frequenz (Larmorfrequenz) zeigen. Durch das Ausrichten der Spins parallel zum magnetischen Feld entsteht eine Längsmagnetisierung. Mit einem Hochfrequenzimpuls können die Protonen um 90° ausgelenkt werden, wodurch sich die Ebene der Magnetisierung in eine transversale Magnetisierung ändert und eine Wechselspannung mit einer Frequenz gleich der Larmorfrequenz freigesetzt wird. Diese ist das Magnet-Resonanz-Signal, das von Computern zur Bildentstehung verwendet wird (Weishaupt *et al.*, 2009b). Nach Beenden des Impulses richten sich die Protonen wieder nach dem longitudinalen Magnetfeld aus, wobei wieder Energie abgegeben wird. Dieser Vorgang heißt longitudinale Relaxation. Die Zeit, in der dies geschieht, wird in der Zeitkonstante T1 ausgedrückt (Weishaupt *et al.*, 2009a). Direkt nach der

Impulssetzung sind die Spins phasenkohärent, das heißt, sie drehen sich synchron. Mit der Zeit jedoch kommt es zum Verlust dieser Phasenkohärenz und die Magnetvektoren der Protonen heben sich gegenseitig auf, wodurch die transversale Magnetisierung immer geringer wird, bis sie letztendlich verschwindet, ohne dass Energie an die Umgebung abgegeben wird. Dieser Prozess wird als die transversale Relaxation (T2) bezeichnet (Weishaupt *et al.*, 2009a). Die T2 Relaxationszeiten für biologische Gewebe liegen unter denen der T1 Relaxation (Baulain, 1997). Von Baulain und Henning (2001) wurde die MRT als äußerst genaue Methode zur Ermittlung der Körperzusammensetzung sowohl am lebenden Tier als auch am Schlachtkörper bezeichnet. In einer Studie von Mitchell *et al.* (2001b) mit lebenden Schweinen wurden u.a. im Vergleich zum Zerlegungsgewicht gute Beziehungen für die mittels MRT gemessenen Volumen der inneren Organe ermittelt ($r^2=0,64$ für das Herz bis 0,90 für die Leber). Zusammenfassend befinden Mitchell *et al.*, 2001b) die Volumenmessungen des Fettes und Muskels bestimmter definierter Regionen als gute Möglichkeit um die Körperzusammensetzung von Schweinen präzise zu ermitteln.

2.11.1.2. Ultraschall

Die Ultraschalltechnik ist ein nicht invasives Verfahren, das sowohl am lebenden als auch toten Tier eingesetzt werden kann (Busk *et al.*, 1999). Von dem Schallkopf werden pulsativ hochfrequente Ultraschallwellen im Bereich zwischen 2,5 und 15 MHz ausgesendet (Jackson & Thomas, 2009b), die das zu untersuchende Gewebe durchdringen. Stoßen sie dabei auf Grenzen zwischen Geweben mit unterschiedlichem akustischen Widerstand (akustischer Impedanz), werden sie teilweise reflektiert, ein sogenanntes Echo entsteht. Diese Echos werden vom Schallkopf gemessen. Aus der Zeit, die von der Aussendung bis zur Messung der reflektierten Welle vergeht, kann die Lage der Grenzfläche ermittelt werden. Das Bild kann als Auslenkungsamplituden (A-mode) oder zweidimensionales Bild (B-mode) auf dem Bildschirm dargestellt werden. Im M-Mode werden die Auslenkungsamplituden eines „A-Bildes“ (Oszillogramm) auf einer Zeitachse dargestellt. Das Echtzeitverfahren stellt die Gewebestrukturen in der Echtzeit dar.

Dies ist durch sehr schnelle und mehrfach hintereinander geschaltete Bilderzeugung möglich (Seibt, 2003b; Jackson & Thomas, 2009b).

In der Tiermedizin hat die Ultraschalltechnik zum einen als diagnostisches Verfahren große Bedeutung in der Praxis, zum anderen wird sie auch in der Tierbeurteilung eingesetzt. So findet Ultraschall beispielsweise bei der automatischen Fat-O-Meater (AutoFOM) - Beurteilung von Schlachtkörpern Anwendung (Busk *et al.*, 1999). Bei Zuchtprogrammen ist die Ultraschalltechnik ein wichtiges Verfahren, mit dem durch Speck- und Muskeldickenmessung am lebenden Tier die Verfettung von Schweinen festgestellt werden kann (Szabo *et al.*, 1999; Scholz & Baulain, 2009).

2.11.1.3. Computertomographie (CT)

Bei der Computertomographie wird indirekt die Schwächung von Röntgenstrahlen ermittelt, indem die Strahlung nach dem Durchdringen des Patienten bzw. zu untersuchenden Subjekts durch Detektoren gemessen wird. Diese befinden sich gegenüber einer Röntgenröhre und rotieren mit dieser um den Patienten. Während der Rotation sendet die Röntgenröhre Strahlung aus, die das zu untersuchende Gewebe durchdringt und von den Detektoren gemessen wird (Hofer, 2010). Durch die Messung werden zweidimensionale Schnittbilder angefertigt (Jackson & Thomas, 2009a), wobei für jede Schichtaufnahme die Röntgenröhren-Detektor-Einheit um das zu untersuchende Objekt rotiert (Hofer, 2010). Die gewonnenen Daten können zu einer 3D-Rekonstruktion verwendet werden oder es kann ein Schnitt durch aneinander liegende Schichten gesetzt werden, wodurch zusätzlich zu der transaxialen Standardebene weitere Ebenen betrachtet werden (Multiplanares Reformatieren) (Jackson & Thomas, 2009a). Die CT hat eine exzellente Bildauflösung (Jackson & Thomas, 2009a), zeigt gegenüber der MRT jedoch einen schlechteren Gewebekontrast, wenn es sich um fettfreie Gewebe handelt (Scholz & Baulain, 2009; Jackson & Thomas, 2009a).

Im Nutztierbereich wurde die CT bereits bei verschiedenen Tierarten eingesetzt. So untersuchten beispielsweise Lambe *et al.* (2003) 30 lebende Schafe mittels CT, um deren Gewebezusammensetzung mit Hilfe einer in dieser Studie erstellten

Gleichung vorherzusagen. Im Vergleich zu der Zerlegung wurden Fett- und Muskelgewicht mit einer guten Genauigkeit vorausgesagt ($r^2=80$ bis 99%), während das Knochengewicht weniger gut vorherzusagen war ($r^2=56\%$). Lambe *et al.* (2003) kommen zu dem Schluss, dass das Gewicht von Fett und Muskeln des Schlachtkörpers akkurat am lebenden Tier durch CT mit fünf anatomischen Referenz-Stellen vorhergesagt werden könne. Auch Geflügel (Brenoe & Kolstad, 2000) sowie Schweine wurden mit CT untersucht. Beispielsweise untersuchte Kolstad (2001) die Körperzusammensetzung von Schweinen dreier verschiedener Genotypen, um die Verteilung von Fett zu ermitteln. Nach der Untersuchung merkt sie an, dass die CT als nicht-invasive Technik sinnvoll für Studien über das Wachstum und die Entwicklung von Tieren sei. In einem Rückblick auf die Anwendung digitaler darstellender Techniken am lebenden Tier fassen Szabo *et al.* (1999) mehrere Arbeiten, in denen Schweine mit CT untersucht wurden, zusammen und erhalten für die CT-Werte Beziehungen (r^2), die für Magergewebe bei 0,58-0,98 und für Fettgewebe 0,79-0,81 lagen. Szabo *et al.* (1999) beurteilen daraufhin die CT als Möglichkeit erfolgreich bei der regulären Tierbeurteilung in Zuchtprogrammen eingesetzt zu werden. Die Computertomographie wird in Ländern wie Neu-Seeland, Ungarn, Norwegen und Großbritannien routinemäßig in Zuchtprogrammen zur Leistungsprüfung von Zuchttieren eingesetzt. In Großbritannien stellt die CT derzeit sogar die gängigste Methode dar, um in Schafzuchtprogrammen durch Messungen am lebenden Tier die Schlachtkörperzusammensetzung zu bestimmen (Bünger *et al.*, 2011). Gleichzeitig ist die Computertomographie als Referenzmethodik für die Schlachtkörperklassifizierung zugelassen (Lautenschlaeger, 2011).

2.11.1.4. Bioelektrische Impedanz (BIA)

Die bioelektrische Impedanz ist ein Verfahren, mit dem das Körperwasser bestimmt werden kann. Hierbei werden vier Elektroden an Armen und Beinen angebracht und eine niedrige Wechselspannung angelegt, die entweder aus 50 kHz oder aus mehreren verschiedenen Frequenzen besteht (Lukaski, 2009). Während der Strom das Gewebe durchdringt, kommt es zu einem Spannungsabfall, der durch den Gewebewiderstand (Impedanz) bedingt ist und von den Elektroden gemessen

werden kann. Dieser Widerstand ist gewebeabhängig unterschiedlich. So zeigt Magerweichgewebe eine geringe Impedanz, während Fett und Knochengewebe einen großen Widerstand besitzen (Ellis *et al.*, 1999). Die niedrigste Impedanz findet sich im elektrolytreichen Körperwasser (Scholz & Baulain, 2009). Aus den gemessenen Werten der Impedanz kann auf das Körperwasser oder das fettfreie Gewebe geschlossen werden (Lukaski, 2009). Eine Untersuchung von lebenden Schweinen und deren Schlachtkörpern mittels BIA ergab für das Magergewebe der Schlachtkörper gute Ergebnisse ($r^2=0,88$), für die Messungen an lebenden Tieren lagen Beziehungen von $r^2=0,63$ vor (Marchello *et al.*, 1999). Zollinger *et al.* (2010) konnten an Rinderschlachtkörpern durch die BIA und den Einsatz entwickelter Gleichungen gute Messergebnisse erzielen (Fett % $r^2=0,84$) und beurteilten die bioelektrische Impedanz als schnelle und präzise Methode, um die Schlachtleistung zu bestimmen. Allerdings fehle derzeit die eingehende Erforschung und Standardisierung, die für die industrielle Nutzung nötig sei.

2.11.1.5. Total body electrical conductivity (TOBEC)

TOBEC ist ein nichtinvasives Verfahren, mit dem es möglich ist die fettfreie Masse von lebenden Tieren und Menschen zu bestimmen (Bellinger & Williams, 1993) und wurde ursprünglich entwickelt um den Fett- und Magergewebeanteil in Hackfleisch zu ermitteln (Bell *et al.*, 1994). Durch eine Spule wird in einer Messkammer ein elektromagnetisches Feld erzeugt, das durch einen Detektor gemessen wird (Bellinger & Williams, 1993). Der gemessene Unterschied zwischen dem Widerstand der Spule bei der leeren Kammer und dem Widerstand der Kammer mit dem Lebewesen wird zur Ermittlung des TOBEC Wertes herangezogen (Stenger & Bielajew, 1995). Dieser Unterschied im Widerstand entsteht durch unterschiedliche elektrische Eigenschaften des Subjektes, die auf dem Volumen und der Verteilung der Ionen im Lebewesen beruhen, und darauf, dass fettfreie Masse 20 mal mehr hydratisiert ist als Fettgewebe, wodurch die fettfreie Masse eine höhere Ionenkonzentration besitzt als das Fettgewebe. Damit weist das fettfreie Gewebe eine viel bessere elektrische Leitfähigkeit auf als das Fettgewebe (Bellinger & Williams, 1993). Auf dieser höheren elektrischen Leitfähigkeit des fettfreien

Gewebes basiert das TOBEC Verfahren (Bell *et al.*, 1994), in welchem die Masse an magerem Gewebe und damit indirekt das Fettgewebe bestimmt werden kann (Stenger & Bielajew, 1995). Forrest (1994) bestimmte an Schweineschlachtkörpern die Genauigkeit der TOBEC-Messung im Vergleich zu Werten der Zerlegung. Er beurteilte daraufhin das TOBEC-Verfahren als genau genug, um den Magerfleischgehalt in Schlachtkörperteilstücken, wie Schinken oder Schulter, zu bestimmen ($r^2_{\text{warmer Schinken}}=0,87$; $r^2_{\text{Schulter, warm}}=0,84$). Higbie *et al.* (2002) untersuchten die Möglichkeit, durch TOBEC-Verfahren die Masse an Magergewebe und Fettgewebe bei warmen und gekühlten Schweineschlachtkörperhälften zu bestimmen. Die Schlachtkörperhälften wurden zerlegt und chemisch analysiert. Die Daten aus der chemischen Analyse und der Zerlegung wurden mit den Ergebnissen auf TOBEC-Werten basierender Gleichungen verglichen. Hierbei zeigten sich sehr gute Beziehungen zwischen den mittels TOBEC- gewonnenen Ergebnissen und den Werten der chemischen Analyse ($r^2_{\text{warmer Schlachtkörper}}=0,91$, $r^2_{\text{kalter Schlachtkörper}}=0,93$). Durch TOBEC-Messungen am Schinken konnte sogar eine Genauigkeit für den Magergewebewert des gesamten Schlachtkörpers von $r^2=0,95$ erreicht werden. Die Autoren beurteilten daraufhin das TOBEC-Verfahren als eine ausgezeichnete Methode, um die Magergewebemasse in Schlachtkörpern zu bestimmen.

2.11.1.6. Nahinfrarot-Interaktanz

Die Nahinfrarot-Interaktanz ist eine schnelle, sichere und nicht-invasive Methode um die Körperzusammensetzung zu ermitteln (Conway *et al.*, 1984). Sie beruht darauf, dass verschiedene Gewebetypen Licht unterschiedlicher Wellenlängen absorbieren. Beispielsweise absorbiert reines Fett eine Wellenlänge von 930 nm, reines Wasser 970 nm (Schreiner *et al.*, 1995). Die Ermittlung der Körperzusammensetzung erfolgt durch die Messung der Reflektion oder Durchgängigkeit der Strahlung in einem Wellenlängenbereich zwischen 850 und 2600 nm (Mitchell *et al.*, 2005). In einer Studie über die Berechnung der Körperzusammensetzung von Schweinen mittels Nahinfrarot-Interaktanz stellten Mitchell *et al.* (2005) fest, dass die Korrelationen zwischen den mittels NIR

gewonnenen Werten und den Werten anderer Messmethoden generell bei Menschen höher ausfielen als bei Messungen mit Schweinen, in welchen die besten Korrelationen bei $r=0,75$ lagen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Methode für lebende Schweine oder Schlachtkörper nicht genau genug sei um allein als Standardmethode eingesetzt zu werden.

2.11.1.7. Densitometrie

Beim Menschen ist die Körperdichtemessung eine bewährte Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Üblicherweise wird über Unterwasser- oder hydrostatisches Wiegen das Körpervolumen ermittelt und daraus die Dichte des Körpers kalkuliert ($\text{Dichte} = \text{Gewicht} / \text{Volumen}$). Aus der Dichte des Körpers kann auf den Fettgehalt geschlossen werden, da dieser in umgekehrtem Verhältnis zur Dichte steht (Lukaski, 2009).

Eine weitere Methode ist die Air displacement plethysmographie. Bei dieser Methode sitzt der zu Untersuchende in einer abgeschlossenen Testkammer, minimal bekleidet, mit Schwimmkappe, trockener Haut und Haaren und möglichst wenig Körperbehaarung. Durch spezifisch ausgeführte Atemübungen wird das Lungenvolumen ermittelt, durch das dann das gesamte Körpervolumen bestimmt wird (Lukaski, 2009).

Bei der Hydrodensitometrie sitzt der Patient in einem speziellen Tank. Das Körpervolumen wird nach dem Prinzip des Archimedes ermittelt, indem die in der Luft gemessene Masse mit der unter Wasser gemessenen Masse verglichen wird. Dabei ist völlige Expiration des Patienten nötig (Brodie *et al.*, 1998).

Aufgrund der Tatsache, dass für die Messungen die Atemvorgänge von dem Probanden gesteuert werden müssen, erscheinen diese Methoden bei Tieren ungeeignet (Hampe, 2005).

2.11.1.8. Anthropometrie

Die Anthropometrie ist ein schnelles, günstiges und nicht invasives Verfahren (Zemel *et al.*, 1997). Es erfolgen verschiedene Messungen wie die Dicke von Hautfalten an verschiedenen Stellen, die Knochenmaße oder der Umfang von Körperteilen. Dabei gibt es zahlreiche Kombinationen verschiedener anthropometrischer Messungen, da ein einzelner Messwert allein den Ernährungszustand nicht korrekt darstellen würde (Zemel *et al.*, 1997; Brodie *et al.*, 1998). Mit Hilfe von Gleichungen kann aus den gemessenen Werten die Körperdichte berechnet werden (Brodie *et al.*, 1998). Um mit Hilfe der Anthropometrie akkurate und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen bedarf, es allerdings eines gut ausgebildeten Anthropometristen (Zemel *et al.*, 1997). Nach Untersuchungen von Mirosh *et al.* (1981), bei denen 661 Hühner anthropometrisch mit 2 Hautmessungen untersucht wurden, ergaben sich ungenügende Korrelationen zu den absoluten und prozentualen abdominalen Fettgehalten. Die Autoren befanden demnach diese Methode als nicht sinnvoll, um den abdominalen Fettgehalt bei Hühnern zu ermitteln. Dahingegen wurde von Arrayet *et al.* (2002) erfolgreich die Wachstumsgeschwindigkeit von 421 Holsteinkälbern durch anthropometrische Vermessungen überprüft. Dabei wurden unter anderem die Länge des Antebrachiums, der Tibia und des Kopfes sowie die Widerristhöhe gemessen.

2.11.1.9. Verdünnungsmethoden

Mit der Verdünnungsmethode kann bei lebenden Organismen das Körperwasser ermittelt werden, indem eine Tracermischung verabreicht wird (Lukaski & Johnson, 1985). Als Tracer können beispielsweise schweres Wasser D₂O oder Oxygen 18 (¹⁸O) eingesetzt werden, die als natürliche stabile Isotope vorkommen (Zemel *et al.*, 1997). Es wurden auch bereits Antipyrone oder Tritium eingesetzt. Da die Antipyrone jedoch Wechselwirkungen mit Proteinen zeigten und Tritium aufgrund der Radioaktivität ungeeignet erschien, wurde beim Menschen weitgehend D₂O zur Körperwasserbestimmung eingesetzt. D₂O zeigt zudem das gleiche Verteilungsvolumen wie Wasser, ist ungiftig und wird in ähnlicher Weise wie Wasser

vom Körper ausgeschieden (Lukaski & Johnson, 1985). Der Tracer (D_2O oder ^{18}O) wird oral verabreicht und seine Konzentration nach einem bestimmten Zeitraum in einer Körperflüssigkeit, wie in Blut, Urin oder Speichel bestimmt (Lukaski & Johnson, 1985; Zemel *et al.*, 1997). Nach dem Verdünnungsprinzip kann der Körperwassergehalt hochgerechnet werden und aus diesem die fettfreie Körpermasse, aus der wiederum die Fettmenge und der prozentuale Fettgehalt berechnet werden können (Zemel *et al.*, 1997). Mohrmann *et al.* (2006) untersuchten die Körperzusammensetzung von 440 wachsenden Schweinen und setzten neben MRT und der chemischen Analyse auch die D_2O -Verdünnungsmethode ein. Mit der chemischen Analyse als Referenzmethode wurden allometrische Funktionen für die D_2O -Verdünnungsmethode erstellt, wodurch die Körperzusammensetzung eingeschätzt werden konnte. Zwischen den Werten aus der chemischen Analyse und der Verdünnungsmethode ergaben sich gute Korrelationen sowohl für den leeren Körper ($r_{\text{Leerkörperwasser (\%)}} = 0,93$; $r_{\text{Fettfreie Masse (\%)}} = 0,86$) als auch für die prozentualen Weichgewebegehalte ($r_{\text{Wassergehalt (\%)}} = 0,91$; $r_{\text{Fettfreie Masse (\%)}} = 0,88$; $r_{\text{Proteingehalt (\%)}} = 0,82$). Zusammenfassend meinen Mohrmann *et al.* (2006), dass die D_2O -Verdünnung für In-Vivo-Messungen eine präzise Methode sei, um die Körperzusammensetzung zu ermitteln. Bei Kühen wurde die Körperzusammensetzung ebenfalls mittels D_2O -Verdünnung ermittelt. So analysierten Andrew *et al.* (1995) die Körperzusammensetzung von Holstein-Milchkühen in drei verschiedenen Laktationsstadien und meinten, es sei eine präzise Methode um das Fettgewebe und die Energiemobilisation bzw. -sättigung während der Laktation zu ermitteln (Andrew *et al.*, 1995). Chillard *et al.* (1991) bestimmten die Körperzusammensetzung für Holsteinkühe in der Laktationsphase mit Hilfe der D_2O -Verdünnung.

2.11.1.10. Gesamtkörperkalium

Die Kalium 40 – Messung basiert darauf, dass natürlich vorkommendes Kalium eine geringe Radioaktivität aufweist. Durch die Messung dieser Aktivität kann der Gesamtkalium-Gehalt der untersuchten Probe bestimmt werden (Myhre & Kessler, 1966). Dabei geht man davon aus, dass im mageren Gewebe ein konstanter

Kaliumgehalt vorliegt, während das Fettgewebe als kaliumfrei betrachtet werden kann. Das Gesamtkörperkalium wird geschätzt und das magere Gewebe kann berechnet werden. Aus diesem und dem Gewicht lässt sich wiederum das Fettgewebe berechnen (Barter & Forbes, 1963). Kirton *et al.* (1961) untersuchten 10 lebende Lämmer mit der Liquid Scintillation und kommen zu dem Schluss, dass zwischen der Gamma-Aktivität der lebenden Tiere und ihrer Schlachtkörper zu geringe Korrelationen bestünden, als dass das Verfahren von größerer Bedeutung erscheine. Dahingegen stellten Siemens *et al.* (1991) bei der Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinen hohe Korrelationen ($r = 0,70$) des ermittelten Kaliumgehaltes zu dem der chemischen Analyse fest und meinen, dass die Liquid Scintillation eine schnelle und akkurate Möglichkeit sei, um die Zusammensetzung von Schlachtkörpern und lebenden Tieren zu erfassen. Aber auch sie stellten fest, dass der am Schlachtkörper gemessene Kaliumgehalt weitaus präzisere Aussagen über die Körperzusammensetzung liefert als der am lebenden Tier ermittelte Wert (Siemens *et al.*, 1991).

2.11.2. Direkte Methoden

2.11.2.1. Chemische Analyse (chem. Analyse)

In der chem. Analyse ist sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Bestimmung der Probenzusammensetzung möglich (Schwedt, 2007a). Je nach Fragestellung können Komponenten der Körperzusammensetzung durch verschiedene Methoden ermittelt werden. So kann beispielsweise Rohprotein durch das Kjehldalverfahren, Proteine mit Hilfe von Pepsin-Salzsäure-Lösung, Fette durch Verseifung und Petroläther oder Rohasche (Mineralstoffe) durch Veraschung im Muffelofen analysiert werden (Kamphues *et al.*, 2004). Neben der allein analytischen Funktion besitzt die chemische Analyse bei der Ermittlung der Körperzusammensetzung in vielen Studien als Referenzmethode Bedeutung, wie zum Beispiel bei Mitchell *et al.* (1998a), Mitchell *et al.* (2000), Speakman *et al.* (2001), Mitchell *et al.* (2003), Suster *et al.* (2003) und Lösel *et al.* (2007). Zusammen mit der Zerlegung wird die chem. Analyse zur Bestimmung der

Körperzusammensetzung als die am häufigsten eingesetzte Methode gesehen, wobei allerdings der zeitliche Aufwand, die Kosten und die Zerstörung des Gewebes als Nachteile beurteilt werden (Lösel *et al.*, 2007).

2.11.2.2. Neutronenaktivierungsanalyse

Die Neutronenaktivierungsanalyse basiert auf nuklearen Reaktionen (Kanaley, 1996) und gilt als besonders empfindliche Methode, bei der sich die Nachweisgrenze bei günstigen Bedingungen im unteren Pikogrammbereich befinden kann (Schwedt, 2007b). Durch einen moderierten Neutronenstrahl, der mit hoher Geschwindigkeit auf das zu untersuchende Subjekt geleitet wird, werden von einigen Elementen (C, O, H, N, Ca, P, Mg, Na, Cl, I, Cd) nicht stabile Isotope gebildet. Gehen diese Isotope wieder in ihren stabilen Grundzustand über, werden für das Element spezifische Gamma-Strahlen freigesetzt (Kanaley, 1996). Diese Strahlung wird von Detektoren gemessen (Lukaski *et al.*, 1981). Die entstehende Strahlung ist in ihrem Energielevel typisch für ein bestimmtes Element. Aus der Aktivitätsstärke der Strahlung lässt sich auf die Menge des Elements schließen. Anhand der ermittelten Elemente können dann Protein-, Mineral- und Fettgehalt berechnet werden (Kanaley, 1996). Die In-vivo-Neutronenaktivierung ist laut Mitra *et al.* (1998) eine präzise Methode die Körperzusammensetzung zu ermitteln, jedoch wird die Strahlenbelastung für den gesamten Körper als Faktor gesehen, der die bisherige Entwicklung bremste (Dosishöhe 30 uSV). Im Nutztierbereich wurde beispielsweise die Neutronenaktivierungsanalyse eingesetzt, um in Geweben und Organen von Schweinen die Bromgehalte zu bestimmen (Friedman *et al.*, 1973) und auch bei lebenden Kleintieren, vorwiegend Ratten, wurde mittels dieser Methode der Stickstoffgehalt untersucht (Stamatelatos & Yasumura, 1995).

2.11.3. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

2.11.3.1. Funktionsweise der DXA

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie basiert auf einem Dreikomponentenmodell, das davon ausgeht, dass sich ein Körper aus den drei Komponenten Fettgewebe, Magerweichgewebe und Knochenmineralstoffen zusammensetzt (Scholz, 2002; siehe Abb.7).

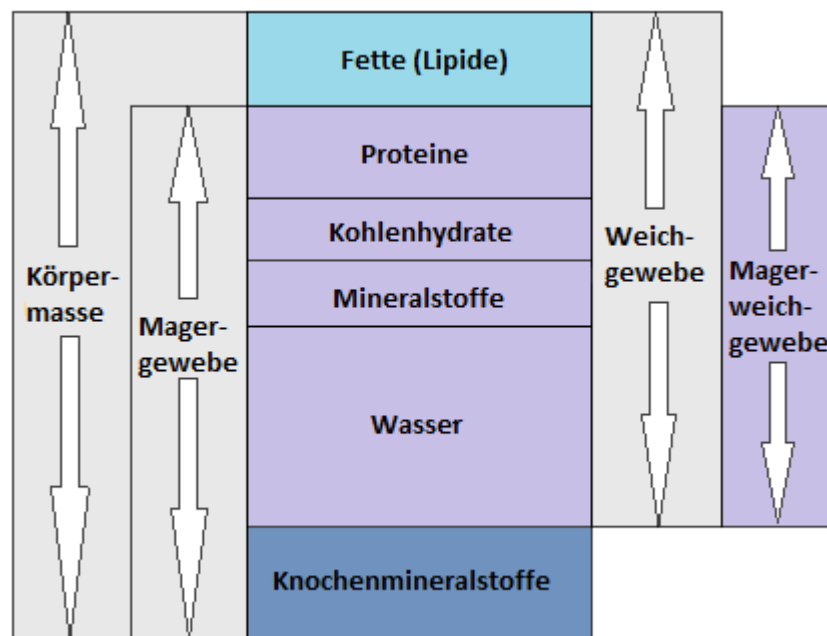


Abb.7: Drei-Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung mittels DXA-Analyse, mit den drei Komponenten Fett-, Magerweichgewebe und Knochenmineralstoffen, modifiziert nach Scholz, 2002

Die Unterscheidung der drei Komponenten ist durch den Einsatz von Röntgenstrahlung zweier unterschiedlicher Photonenenergieniveaus möglich (Laskey, 1996; Pietrobelli *et al.*, 1998). Diese liegen z.B. zwischen ca. 15 keV und 80 keV und werden von einer Röntgenquelle ausgesendet (Scholz, 2002). Die Photonen durchdringen das zu untersuchende Gewebe und werden dabei in ihrem Energieniveau gewebeabhängig abgeschwächt. Die Abschwächung der Intensität des Photonstrahls kommt dadurch zustande, dass ein Photon auf seinem Weg durch das Gewebe auf ein Elektron aus der Hülle eines Atoms trifft. Dabei kann das Photon einen Teil seiner Energie auf das Elektron übertragen, wobei das Photon die

Richtung und die Frequenz ändert (Comptoneffekt), oder es kann seine gesamte Energie an das Elektron abgeben (Photoeffekt) (Seibt, 2003a). Die Röntgenstrahlung einer bestimmten Wellenlänge wird umso stärker abgeschwächt, je größer die Dichte, die Dicke (Weglänge des Photons) und die Ordnungszahl des absorbierenden Materials sind (Seibt, 2003a). Diese Abschwächung der beiden Photonenenergieniveaus durch das Gewebe wird anhand der ankommenden Photonenenergie durch einen Detektor gemessen (Laskey, 1996; Pietrobelli *et al.*, 1998). Da die verschiedenen Gewebearten ein unterschiedliches Abschwächungsverhalten zeigen, kann je nach gemessener Abschwächung der Photonenstrahlen auf das Gewebe geschlossen werden, das durchdrungen wurde. So können durch die unterschiedliche Abschwächung der „beiden Photonenstrahlen“ der Gehalt an Knochenmineral und das Weichgewebe berechnet werden (Laskey, 1996). Da hierbei nur zwei Photonenenergieniveaus eingesetzt werden, könnten damit theoretisch auch nur zwei Gewebekomponenten bestimmt werden (Laskey, 1996; Pietrobelli *et al.*, 1998). Um alle drei Gewebekomponenten messen zu können, müssen die Bildpunkte (Pixel) in Punkte unterschieden werden, die nur Weichgewebe enthalten oder aus Weichgewebe und Knochengewebe bestehen (Laskey, 1996). Das Verhältnis der Abschwächung der zwei Photonenenergieniveaus wird in dem Röntgenschwächungskoeffizienten (R-Wert) ausgedrückt, der zur Unterscheidung der Bildpunkte mit und ohne Knochenmineralgehalt herangezogen wird. Dieser ist für die verschiedenen Elemente charakteristisch und vom angewendeten Energieniveau abhängig. So besitzt bei den zwei Energieniveaus 40 keV und 70 keV Wasserstoff einen R-Wert von ca. 1,1, Kohlenstoff 1,2, Sauerstoff ca. 1,4, Calcium 3,5 und Eisen 4,0 (Pietrobelli *et al.*, 1998). Elemente mit einer höheren Ordnungszahl, wie beispielsweise Calcium oder Eisen, führen zu einer stärkeren Schwächung der Röntgenstrahlen als Elemente mit einer niedrigen Ordnungszahl, wie Wasserstoff (Pietrobelli *et al.*, 1998; Seibt, 2003a). Demnach zeigen auch die unterschiedlichen Gewebe je nach ihrer molekularen Zusammensetzung unterschiedliche R-Werte. Da Knochengewebe reich an Knochenmineralen wie Calcium ist, hat es demnach einen höheren Röntgenschwächungskoeffizienten als Weichgewebe, das vorwiegend aus Elementen mit niedriger Ordnungszahl, wie Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff, besteht (Pietrobelli *et al.*, 1996). Bei Photonenenergieniveaus von 40keV und 70keV liegt der R-Wert für das

Magerweichgewebe bei ca. 1,2, für Fettgewebe bei ca. 1,35 und für Knochenmineral bei $> 2,8$ (Pietrobelli *et al.*, 1996; Scholz, 2002). Damit liegt zwischen dem Weichgewebe und dem Knochengewebe ein deutlicher Unterschied im R-Wert vor, der der Software ermöglicht zwischen Bildpunkten mit und ohne Knochengewebe zu unterscheiden. Hierdurch kann der Fettgewebe-, Magerweichgewebe- und Knochenmineralgehalt in jedem Bildpunkt ermittelt werden (Laskey, 1996). Auf diese Weise ergibt sich aus dem dreidimensionalen Scanobjekt auf dem Bildschirm ein zweidimensionales Bild, das sich aus den einzelnen Bildpunkten zusammensetzt.

2.11.3.2. Einsatzgebiete der DXA

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie wurde ursprünglich für die Knochendichtemessung beim Menschen entwickelt (Scholz & Baulain, 2009). Neben der Osteoporoseerkennung können in der Humanmedizin durch die Ermittlung der Körperzusammensetzung Informationen über Wachstumsstörungen, Stoffwechselerkrankungen und Ernährungszustände gewonnen werden (iDXA Informationsbroschüre).

Neben dem Einsatz in der Humanmedizin gibt es die Anwendung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie beim Tier. Dabei wurden verschiedenste Tierarten gescannt, und es gibt ein breites Feld von Indikationen, die sich von dem Bereich der Tierzucht und der Lebensmittelherstellung bis hin zur Forschung in der Endokrinologie erstrecken, in der z.B. hormonelle Auswirkungen auf den Knochenbau untersucht werden. Beispielsweise ermittelten Mitchell *et al.* (1997a) die Körperzusammensetzung von Hühnern, Speakman *et al.* (2001) untersuchten 10 Katzen und 6 Hunde, Lochmüller *et al.* (1999) die Auswirkungen von Wachstumshormonen auf Mäuse und Vanderschueren *et al.* (2000) scannten männliche Ratten, um den Einfluss von Östrogen auf das Skelettsystem zu untersuchen. Von 2000 bis 2004 untersuchten Hampe *et al.* (2005) die Körperzusammensetzung und das Wachstum von 214 Kälbern, während Mitchell *et al.* (1997b) Teile von Rinderrippen scannten und deren Zusammensetzung ermittelten. Selbst die Körperzusammensetzung von Schlangen wurde von Secor

und Nagy (2003) mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie untersucht. Desweiteren gibt es zahlreiche Versuche in denen Schweine gescannt wurden.

2.11.3.3. DXA-Untersuchungen am Schwein

Für Schweine gibt es eine Vielzahl an Untersuchungen, die sowohl am lebenden Tier als auch am Schlachtkörper vorgenommen wurden und verschiedenste Gewichtgruppen erfassten. Beispielsweise scannten Mitchell *et al.* (1996) 48 getötete weibliche Schweine zwischen 10,2 und 60,5 kg. Dadurch erhielten sie Werte über die gesamte Gewebemasse, das Fettgewebe, den prozentualen Fettgehalt, das Magerweichgewebe und die BMC. Die Gesamtkörperfettgehalte ($r=0,989$) und das Magerweichgewebe ($r=0,968$) korrelierten sehr gut mit den Werten der chem. Analyse, die Gesamtkörpermasse ($r=0,999$) korrelierte gut mit dem gemessenen Körpergewicht. Zudem konnten sie keinen signifikanten Unterschied im durchschnittlichen prozentualen Fettgehalt zu den Werten der chem. Analyse feststellen ($p=0,76$), bemerkten aber, dass für die mittels DXA ermittelten Werte eines geringeren Fettgehaltes die Tendenz zur Unterschätzung, für hohe Fettgehalte zur Überschätzung des prozentualen Fettgehaltes zu erkennen war. Mitchell *et al.* (1996) kommen zu dem Schluss, dass diese Ergebnisse die DXA als sichere Methode indizieren um die Körperzusammensetzung von Schweinen zu ermitteln, es jedoch noch umfassender Kalibrierung bedürfe.

Zwei Jahre darauf untersuchten Mitchell *et al.* (1998a) 97 lebende Schweine mit einem Gewicht von 5 bis 27 kg im Pediatrimodus eines Lunar DPX-L. Die Tiere wurden daraufhin geschlachtet und chemisch analysiert. Die Ergebnisse zeigten, dass der prozentuale Fettgehalt durch DXA signifikant unterschätzt wurde (DXA: 6,9, Chem.: 10,9 % , $p<0,001$), die anderen ermittelten Werte jedoch gute Korrelationen mit der chem. Analyse zeigten. So ergaben sich im Vergleich der Werte des DXA-Scans zur chem. Analyse folgende Beziehungen: für das Körpergewicht ($r^2=0,99$); für das Magerweichgewebe in g ($r^2=0,99$), für das Fettgewebe in g ($r^2=0,92$), für das Fettgewebe in % ($r^2=0,74$) und für den BMC ($r^2=0,81$). Insgesamt befanden Mitchell *et al.* (1998a) nach dieser Arbeit, dass

aufgrund der hohen Übereinstimmung mit der geeigneten Einstellung DXA zur Analyse der Körperzusammensetzung genutzt werden kann.

Lukaski *et al.* (1999), die mit einem Hologic 2000W 20 lebende Schweine mit Gewichten zwischen 52 und 113 kg in Seiten- und Bauchlage scannten und daraufhin die Werte mit der chemischen Analyse verglichen, konnten feststellen, dass in der Analyse der DXA der prozentuale Fettgehalt signifikant unterschätzt wurde, ebenso wie auch die Fettmasse unterschätzt (20%, $p > 0,05$) und das fettfreie Gewebe sowie die knochen- und fettfreie Masse überschätzt wurden (6% und 9 %, $p > 0,05$). Insgesamt zeigten die mittels DXA ermittelten Werte jedoch eine signifikante Beziehung mit den chemisch analysierten Daten ($r^2 = 0,927-0,998$). Ein signifikant höherer Knochenmineralgehalt (BMC) bei der chemischen Analyse (Seitenlage $r^2 = 0,883$; Bauchlage: $r^2 = 0,950$), konnten von Lukaski *et al.* (1999) dadurch erklärt werden, dass in die chem. Analyse nicht nur die Minerale der Knochen, sondern auch diejenigen des gesamten Gewebes bewertet werden, während bei der DXA-Messung nur Mineralien des Knochengewebes in die Messung eingehen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die DXA eine präzise Methode sei, um das Weichgewebe zu ermitteln, da anfängliche Ungenauigkeiten im prozentualen Fettgehalt durch erneuerte Software teilweise beseitigt worden seien (Lukaski *et al.*, 1999).

Um die Genauigkeit der DXA zur Ermittlung der Körperzusammensetzung von Schweinen zu prüfen, scannten Scholz und Förster (2006) 123 lebende Schweine, die in zwei Gewichtsgruppen eingeteilt waren. Gruppe 1 umfasste alle Schweine mit einem Gewicht von 30-50 kg, Gruppe 2 Schweine mit 70-90 kg. Drei Tage darauf erfolgten die Schlachtung und nach 24-stündiger Kühlung die grobgewebliche Zerlegung der linken Schlachtkörperhälfte nach der EU-Referenzmethode. In der Gruppe 2 konnte zwischen den Werten der Zerlegung und der DXA der lebenden Schweine eine hohe Beziehung im prozentualen Fettgehalt (max. $r^2 = 0,82$) und im Magerweichgewebe (max. $r^2 = 0,72$) festgestellt werden. In der Gruppe 1 lagen mit maximal $r^2 = 0,38$ für das Muskelfleisch und $r^2 = 0,36$ für den prozentualen Fettgehalt geringere Beziehungen vor. Für den BMC lagen für beide Gruppen geringe Beziehungen zwischen Zerlegung und DXA vor (Gruppe 1 max. $r^2 = 0,58$ und Gruppe 2 max. $r^2 = 0,30$). Die höheren BMC-Werte in der Zerlegung wurden dadurch erklärt, dass in die Messung der Zerlegung der gesamte Knochen inklusive Wasser und Fettgehalte (Knochenmark) eingehen, während in der Messung mittels DXA nur der

Mineralgehalt der Knochen gemessen wird. Die Autoren meinten, dass DXA generell eine geeignete Methode sei, um bei Schweinen zwischen 30 und 90 kg Wachstumsstudien durchzuführen, wobei der Fettgehalt (%) und Muskelgehalt (%) erst ab 50 kg Lebendmasse genauer bestimmt werden könnten (Scholz & Förster, 2006).

Bei Schlachtkörpern wird die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Ermittlung der Körperzusammensetzung eingesetzt. Sie erreichte bei Untersuchungen von Schweineschlachtkörperhälften große Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer grobgeweblichen Zerlegung (Scholz *et al.*, 2002) oder der chem. Analyse (Mitchell *et al.*, 1998b; Suster *et al.*, 2003). So stellten Suster *et al.* (2003) in einer Untersuchung, in der 151 Schweine zwischen 10 und 120 kg lebend, deren Schlachtkörper, und halbe Schlachtkörper gescannt wurden, für das Weichgewebe, das Magerweichgewebe, das Fettgewebe und den BMC eine enge Beziehung zur chem. Analyse fest und meinten die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei lebenden Tieren und Schlachtkörpern sei als zerstörungsfreie Methode zur Analyse der Körperzusammensetzung genauer als andere derzeit routinemäßig eingesetzte Methoden (Suster *et al.*, 2003).

Scholz *et al.* (2002) untersuchten, mit welcher Genauigkeit die mit DXA ermittelte Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften den Ergebnissen aus der EU-Referenzzzerlegung entsprach. Sie scannten 30 rechte, unzerlegte Schlachtkörperhälften mit einem Gewicht zwischen 30 u 39 kg (kalt) und verglichen die Ergebnisse mit den Werten der Zerlegung der linken Schlachtkörperhälften. Generell konnten sie eine sehr hohe Korrelation zwischen den mittels DXA und den mittels grobgeweblicher Zerlegung gewonnenen Werten feststellen. So zeigte der durchschnittliche Fettgehalt eine Beziehung von $r^2=0,82$, der Magerweichgewebeanteil von $r^2=0,76$. Lediglich der BMC zeigte eine geringere Beziehung, was von Scholz *et al.* (2002) dadurch erklärt wurde, dass bei der grobgeweblichen Zerlegung das Gewicht des gesamten Knochens mit Wasser und Knochenmark, bei der DXA hingegen nur der Knochenmineralgehalt gemessen werde (Scholz *et al.*, 2002).

In zahlreichen weiteren Studien wurde das DXA Verfahren genutzt. Beispielsweise konnten Mitchell *et al.* (2002) anhand von DXA-Untersuchungen zeigen, dass durch einen einzelnen, definierten DXA-Querschnitt-Scan am lebenden Tier die In-Vivo-Ganzkörperzusammensetzung mit hoher Genauigkeit geschätzt werden kann.

Mitchell *et al.* (2003) analysierten 262 Schlachtkörper mittels DXA in Querschnitten, um auf die Gesamtschlachtkörperzusammensetzung zu schließen, wobei sich hohe Beziehungen zwischen den Teilregionen und dem gesamten Schlachtkörper zeigten. Scholz *et al.* (2007) bestätigten im Rahmen eines Gerätevergleichs, dass die am lebenden Tier durchgeführten DXA-Messungen zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung herangezogen werden können, und von Hoffschulte *et al.* (2007) wurden die Beziehung zwischen der Körperzusammensetzung und der Fruchtbarkeit von Jungsauen durch die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie untersucht.

Die Beispiele zeigen, dass die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei der Ermittlung der Körperzusammensetzung von lebenden Schweinen und Schweineschlachtkörpern ein bewährtes Verfahren ist, das in vielen Untersuchungen eingesetzt wurde und reproduzierbare Ergebnisse erzielte.

2.11.3.4. Genauigkeit der Messergebnisse des GE Lunar DPX-IQ

Die Genauigkeit des in dieser Untersuchung verwendeten DXA-Gerätes GE Lunar DPX-IQ, bei Fettgehaltsmessungen wurde von Ruge (2006) mittels zweier Phantome, einem „Variable Composition Phantom“ (VCP) und einem Wirbelsäulenphantom untersucht. Das Gerät wurde in verschiedenen Scanmodi auf seine Genauigkeit und Präzision geprüft, indem die gemessenen Ergebnisse mit den bekannten Fettkonfigurationen der Phantome verglichen wurden. Der GE-Lunar DPX-IQ konnte beim Einsatz des VCP sowohl mit als auch ohne Wirbelsäulenphantom genaue und präzise Messergebnisse erzielen. Die größte Präzision wurde bei der Kombination des VCP mit dem Wirbelsäulenphantom in den Scanmodi „Adult normal“ und „Pediatric large“ ermittelt. Der „Adult normal“-Modus, der auch in der Untersuchung der Eberschlachthälften von Versuch 1 verwendet wurde, wies bei Ruge (2006) mit einer maximalen Standardabweichung von 0,45 für den prozentualen Fettgehalt sehr gute Ergebnisse auf. Zu erkennen war, dass bei Ruge (2006) die Genauigkeit und Präzision der Messungen von dem simulierten Fettgehalt des Phantoms abhängig waren, wobei im Adult normal-

Modus die präzisesten Messwerte bei einem hohen Fettgehalt (43,5 %) mit einer Standardabweichung von 0,31 vorlagen (Abb. 8).

Messung Nr.	„Low Fat“ 8,3 [% – Fett]	„Medium Fat“ 22,3 [% – Fett]	„High Fat“ 43,5 [% – Fett]
1	6,40	21,00	43,40
2	5,70	20,90	44,00
3	6,70	21,50	44,10
4	6,60	21,60	43,80
Mittelwert	6,35	21,25	43,83
Standardabweichung	0,45	0,35	0,31
Variationskoeffizient [%]	7,10	1,65	0,71

Abb.8: Evaluierung der VCP-Messergebnisse für „Adult normal“ mit Wirbelsäulenphantom, aus Ruge, 2006

Anders ist dies beim Kleintiermodus, der sich anhand der Ergebnisse nach Einschätzung von Ruge (2006) als ungeeignet erwies. So zeigten Messungen im Kleintiermodus „langsam“ eine Standardabweichung von 0,69 bei geringem Fettgehalt, und 0,66 bei hohem Fettgehalt.

Zahlreiche andere Studien (Mitchell *et al.*, 1998b; Scholz *et al.*, 2002; Suster *et al.*, 2003) (siehe Punkt 3.11.3.3. DXA beim Schwein) zeigten für DXA-Untersuchungen am Schwein gute Beziehungen mit den Werten einer Zerlegung oder der chemischen Analyse.

3. Versuch 1

3.1. Material und Methode

3.1.1. Tiermaterial

Untersucht wurden 82 linke und 1 rechte Eberschlachtkörperhälften mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie, um deren Schlachtkörperzusammensetzung zu analysieren. Die Schlachtkörperhälften stammten aus den drei Leistungsprüfanstalten Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Grub. Die vierte Gruppe bildeten Eber aus dem Lehr- und Versuchsgut (LVG) Oberschleißheim. Die Eber aus dem Haus Düsse und Grub waren Kreuzungstiere aus Pietrain x F1-Kreuzungssau Deutsches Edelschwein (DE) x Deutsche Landrasse (DL). Die Eber aus Boxberg entstammten Kreuzungen aus Pietrain-Ebern und Baden-Württemberger-Hybridsauen (Large White (LW) x [Leicoma - Deutsche Landrasse]), während die Eber des LVG's aus verschiedenen Kreuzungskombinationen der Rassen Pietrain (Pi), Cerdo Iberico (Ib) Wildschwein (WS), Duroc (Du), Large Black (LB) und Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH) hervorgingen (Tabelle 2).

Tab.2: Ebergenotypen in Versuch 1

Boxberg	Pi x F1-Kreuzungssau DE x DL (20)
Düsse	Pi x F1-Kreuzungssau DE x DL (21)
Grub	Pi x Baden-Württemberger-Hybridsau (LW x [Lc – DL]) (20)
LVG	Pi x Ib (5) Pi x WSDuLB (2) Pi x LBWSDu (4) Pi x LBSH (8) Du x LB (1) DuLB x PiLB (2)

Im Versuch 1 berücksichtigte Ausgangsrassen: Pietrain (Pi), Deutsches Edelschwein (DE), Deutsche Landrasse (DL), Large White (LW), Leicoma (Lc), Cerdo Iberico (Ib), Wildschwein (WS), Duroc (Du), Schwäbisch Hällisches-Schwein (SH) und Large Black (LB). Die Anzahl der Eber innerhalb einer Kreuzungskombination steht in Klammern.

Das Alter der Eber lag je nach Herkunft zwischen 154 und 237 Tagen (Tabelle 3).

Tab.3: Alter der Eber

	Alter (Tage)	Durchschnittsalter (Tage)
Boxberg	154-175	166
Düsse	157-180	167
Grub	160- 182	174
LVG	193-237	215

Das Alter (Tage) und das Durchschnittsalter (Tage) der Eber unterschiedlicher Herkunft (Boxberg, Düsse, Grub, LVG).

Die Eber aus dem Haus Düsse wurden in Einzelhaltung gehalten, alle anderen in Ebergruppen. Die Fütterung für die Eber aus dem Haus Düsse, Boxberg und Grub erfolgte nach der "Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein" vom 04.09.2007. Ein kg Futter setzte sich demnach folgendermaßen zusammen:

16,0 % Rohprotein, 1,0 % Lysin, 0,6 % Threonin, 0,6 % Methionin und Cystein, 13,4 MJ Umsetzbare Energie. Des Weiteren ist nach der Richtlinie eine Ad-libitum-Fütterung bzw. -Wasseraufnahme festgelegt.

Die Eber des LVG erhielten ad libitum Endmastfutter, das 55% Gerste, 12% Weizen, 5% Hafer, 11% Mais, 13,5% Sojaextraktionsschrot, 2,5% Mineralfutter Mastkraft (Salvana Tiernahrung GmbH) und 1% ADDCON FORMI (Säureadsorbaten) enthielt. Laut Analyseergebnissen der LKS Lichtenwalde vom 14.05.2010 enthielt das Futter 13,0 MJ Umsetzbare Energie und 14,9 % Rohprotein je kg.

Boxberg und Grub lieferten je 20 Schlachtkörperhälften, das Haus Düsse 21 und das LVG 22. Die Schlachtkörperhälften waren nach der EU-Hygieneverordnung: VO (EG) 853/2004 Anhang. III Abschnitt I Kapitel IV hergerichtet, alle inneren Organe waren entfernt. Bis auf die Eber aus dem Haus Düsse waren die Schlachtkörperhälften vollständig vorhanden. Bei den Schlachtkörpern aus dem Haus Düsse waren unerwartet an den Vorderfüßen die Phalangen und der Kopf cranial des Atlas oder cranial des Axis abgetrennt worden. Bei einem Tier fehlte auch der dritte Halswirbel. Die abgetrennten Teile lagen nicht vor. Insgesamt

stammten die gescannten Hälften von Ebern mit einem Schlachtkörpergewicht von 69,8 bis 115,8 kg (warm). Das Alter der Tiere lag zwischen 154 und 237 Tagen.

Jeweils die Hälfte der Tiere einer Leistungsprüfanstalt sollte ein durchschnittliches Schlachtkörpergewicht von 85 kg aufweisen, die andere Hälfte 95 kg, um Aussagen über die Abhängigkeit der Schlachtkörperzusammensetzung von dem Schlachtkörpergewicht der Eber zu erhalten. Die Schlachthälften wurden deshalb in 2 Gruppen eingeteilt: Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) mit angestrebten 85 kg Durchschnittsgewicht und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2) mit angestrebten 95 kg.

Gruppe 1 waren die Eber mit einem Gewicht $\leq 90,00$ kg.

Gruppe 2 waren die Eber mit einem Gewicht $> 90,00$ kg.

Die Anzahl der Eber innerhalb der Gewichtsgruppen 1 und 2 geht aus Tabelle 4 hervor.

Tab.4: Anzahl der Eber verschiedener Herkunft in den zwei Gewichtsgruppen

	Anzahl Eber GWGR1	Anzahl Eber GWGR2
Boxberg	12	8
Düsse	10	11
Grub	10	10
LVG	8	14

Anzahl der Eber der unterschiedlichen Herkünfte Boxberg, Düsse, Grub und LVG in der Gewichtsgruppe 1 und 2 (GWGR1; GWGR2).

Die angestrebten Durchschnittsgewichte von 85 und 95 kg wurden bei den Ebern aus Grub erreicht, bei den Ebern aus Boxberg leicht unterschritten und bei Düsse leicht überschritten. Die Eber des LVG wichen am meisten ab. Dies zeigen die Tabellen 5 und 6.

Tab.5: Durchschnittsschlachtkörpergewichte der Eber

Ø Gewicht (kg)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
	87,02	91,68	90,48	93,23

Tab.6: Durchschnittsschlachtkörpergewichte der Eber in den 2 Gewichtsgruppen

	B 1	B 2	D 1	D 2	G 1	G 2	LVG 1	LVG 2
Ø Gewicht(kg)	83,02	93,03	86,59	96,30	85,54	95,42	80,35	100,59

Durchschnittsschlachtkörpergewichte (kg) der Eber aus Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und dem Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim (LVG) in den Gewichtsgruppen 1 und 2.

3.1.2. Verwendetes Dualenergie-Röntgenabsorptiometriegerät: GE Lunar DPX-IQ

Es gibt DXA-Geräte verschiedener Firmen, wie beispielsweise GE Lunar, Hologic und Norland (Laskey, 1996). Prinzipiell sind die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie-Geräte so aufgebaut, dass sie eine Quelle oder zusätzlich einen speziellen Filter besitzen, mit der die zwei Photonenenergieniveaus erzeugt werden, einen Detektor, der die Energieniveaus nach Durchdringen des Objektes misst, und einem Anschluss an ein Computersystem, mit dem das gescannte Objekt dargestellt werden kann (Laskey, 1996).

Für die Untersuchungen der Eberschlachthälften wurde ein GE Lunar DPX-IQ-Scanner mit der Softwareversion 4.7e verwendet. Für das mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie gescannte Objekt wird der Knochenmineralgehalt (BMC, g), die Knochenmineraldichte (BMD, g/cm²), das Magerweichgewebe (g), das Fettgewebe (g), der Fettgehalt (%) und das gesamte Weichgewebe (g), bestehend aus der Summe von Fett- und Magerweichgewebe, angezeigt. Zusätzlich werden der R-Wert (Röntgenschwächungskoeffizient) und die Fläche des Knochengewebes (cm²) angegeben. Bei dem GE Lunar DPX-IQ ist es möglich, das entstandene zweidimensionale Bild mit Hilfe der Software in freiwählbare "Regions of Interest" (ROI) zu unterteilen. Das heißt, jeder beliebige Teilbereich des Scanbildes kann am Bildschirm virtuell umgrenzt und dessen Gewebezusammensetzung analysiert werden. Neben den Werten, die für das ganze gescannte Objekt vorliegen, können somit auch Werte für einzelne Teilbereiche ermittelt werden.

3.1.3. Scannen der Schlachtkörperhälften

Die Untersuchung der Schlachtkörperhälften mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie erfolgte an 10 Scanterminen. Nach Anlieferung wurden die Hälften bis zur DXA-Untersuchung im Kühlraum bei 6-8 C° aufbewahrt und nach einer Qualitätskontrolle des DXA-Gerätes auf dem Scanner gelagert. Hierbei wurde der Schlachtkörper mit der Innenseite auf den Scanner gelegt, der Kopf bzw. craniale Rand an der oberen Scan-Linie, so dass cranial beginnend die gesamte Hälfte gescannt wurde. Jede Hälfte wurde auf diese Weise mit dem Modus „Ganzkörper Adult Normal“ untersucht. Bei besonders großen Hälften konnte durch für den Scanner speziell angefertigte Holzklötze, die außerhalb des gescannten Bereichs auf dem Scantisch positioniert wurden, der Schlachtkörper gestützt werden, wodurch dieser optimal im Scanbereich lag (Abb. 9).



Abb.9: Scanvorgang mit auf dem Scantisch gelagerter Schlachtkörperhälfte

3.1.4. Einteilung der Regions of Interest (ROI)

Nach dem Scanvorgang lagen für jede Eberschlachtkörperhälfte der Knochenmineralgehalt (g), der BMD (g/cm^2), Werte für das gesamte Weichgewebe (g) und das Fett- und Magerweichgewebe (g) vor. Diese Werte bezogen sich auf die gesamte gescannte Schlachthälfte. Um feststellen zu können, wie sich die Gewebezusammensetzung des Schlachtkörpers in einzelnen Teilregionen verhält, war es notwendig die Schlachtkörperhälften am Computerbildschirm mittels der herstellerseitigen Software virtuell in einzelne Teilbereiche, die „Regions of Interest“, zu unterteilen.

Jede Schlachtkörperhälfte wurde in 5 Teilregionen unterteilt:

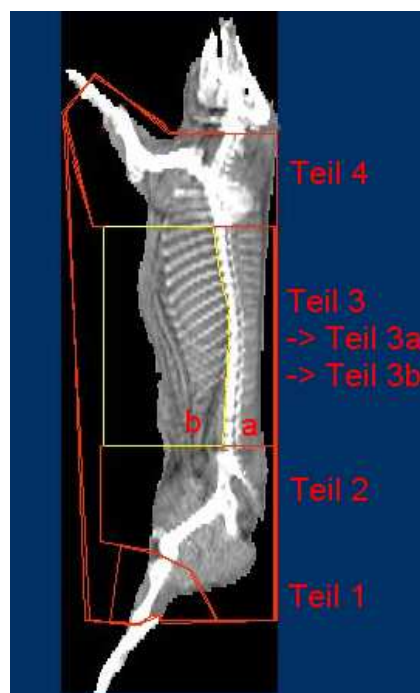


Abb.10: DXA-Bild mit Teilregionen (ROI)

Teil 1

Teil 1 beschreibt den Bereich von dem Schnitt durch das Kniegelenk bis zu dem Schnitt durch das Tarsalgelenk.

Teil 2

Teil 2 umfasst das Gebiet ab dem 6. Lendenwirbel (bzw. erster Lendenwirbel hinter dem Beckenknochen) und endet im Schnitt durch das Kniegelenk.

Teil 3

Teil 3 beinhaltet den Bereich ab 5. Brustwirbel bis einschließlich 5. Lendenwirbel (bzw. letzter Lendenwirbel vor dem Becken).

Teil 3 ist weiter unterteilt in Teil 3a und 3b. Teil 3b beinhaltet den Bereich ventral der Wirbelsäule, wohingegen Teil 3a den dorsalen Bereich einschließlich der Wirbelsäule umgrenzt.

Teil 4

Teil 4 enthält den Schlachtkörperteil zwischen 2. Halswirbel bis einschließlich 4. Brustwirbel und umfasst die Vordergliedmaße bis auf die Phalangen.

Teil 5

Teil 5 schließt die Teilstücke 1-4 ein und gibt den Gesamtinhalt aller Teilstücke wieder.

Bei der Einteilung der ROI war es wichtig die einzelnen Teile bei allen Ebern gleich zu unterteilen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Hierzu wurde nach der Einteilung der ROI bei der ersten Eberschlachthälfte am DXA-Computer das Bild ausgedruckt, so dass es bei der weiteren Schnittsetzung als Vorlage dienen konnte. Mit Hilfe einer Digitalkamera wurden Übersichts- und Detailaufnahmen von der einzelnen am Bildschirm dargestellten Schlachtkörperhälfte gemacht, die den direkten Vergleich zweier oder mehrerer virtueller Schnittführungen möglich machten.

Nach Einteilung der einzelnen Regionen wurde die Schnittführung aller Teile noch einmal bei allen Eberschlachthälften verglichen und gegebenenfalls korrigiert.

Um die Korrektheit der Linienführung bei der Einteilung zu kontrollieren und um zu vermeiden, dass Gewebe durch Linienüberschneidung doppelt gewertet bzw. nicht gewertet wurde, musste bei jedem Schlachtkörper das Gewebe (BMC, Magerweichgewebe, und Fettgewebe) der Teile 1, 2, 3, und 4 addiert und mit dem Gewebewert von Teil 5 verglichen werden.

3.1.5. Auswertung

Aus den Daten, die der DXA-Scan lieferte, wurde durch die „Schleißheimer Formeln für Eber“ auf DXA-Basis (Bernau *et al.*, 2011) der gesamte Muskelfleischanteil des Teils 5 (MFA LPA) und des Bauches (MFA LPA Bauch) berechnet. Da die Formeln anhand der LPA-Prüfkriterien entwickelt wurden, wird der Muskelfleischanteil in Teil5 als „MFA LPA“ und der MFA des Bauches als „MFA LPA Bauch“ bezeichnet.

$$\text{MFA_DXA} = \text{MFA LPA} = 16,43704 + 0,0002232 \cdot \text{DXA Muskel (g)} + 0,42045 \cdot \text{DXA Muskel (\%)}$$

$$\text{MFA_Bauch_DXA} = \text{MFA LPA Bauch} = 67,08607 - 0,63639 \cdot \text{DXA Fett (\%)}$$

Die varianzanalytische Auswertung der Daten erfolgte mittels SAS 9.2 (Proc Mixed, REML, DF=Satterthwaite, © 2002-2008 by SAS Institute Inc. Cary North Carolina, USA)

In das Modell gingen als fixe Effekte die Herkunft, die Gewichtsgruppe und die Beziehung zwischen Herkunft und Gewicht ein.

Die Grenze für statistische Signifikanz wurde mit $p = 0,05$ festgelegt.

3.2. Ergebnisse

3.2.1. BMC

Abhängigkeit von der Herkunft

Der BMC zeigte in Teil 5, 1, 2, 4 und 3b eine signifikante Abhängigkeit von der Herkunft. In Teil 3 war der Einfluss der Herkunft annähernd signifikant ($p = 0,0532$), in Teil 3a zeigte die Herkunft keinen signifikanten Einfluss. Den signifikant geringsten BMC zeigten in der Gesamtumrahmung (Teil5) die Eber aus Grub.

Den höchsten BMC wies bei Ebern jeder Herkunft das Teil 4 auf. Es folgte bei Boxberg der Teil 3, bei den Ebern aus Düsse, Grub und dem LVG der Teil 2. Der geringste BMC war bei allen Herkunft in Teil10 (Tabelle 7).

Tab.7: BMC der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)

BMC (g)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
Teil 5	920,60 ^{ab}	929,86 ^{ab}	853,62 ^c	948,57 ^a
	$\pm 20,41$	$\pm 19,54$	$\pm 20,00$	$\pm 19,82$
Teil 4	386,22 ^a	395,91 ^a	351,48 ^b	402,00 ^a
	$\pm 9,51$	$\pm 9,10$	$\pm 9,32$	$\pm 9,23$
Teil 3	237,51	222,48	211,13	223,57
	$\pm 6,67$	$\pm 6,38$	$\pm 6,53$	$\pm 6,47$
Teil 2	217,38 ^{bc}	231,12 ^{ab}	213,62 ^c	235,75 ^a
	$\pm 5,91$	$\pm 5,65$	$\pm 5,79$	$\pm 5,73$
Teil 1	79,61 ^b	80,38 ^b	77,66 ^b	86,24 ^a
	$\pm 1,80$	$\pm 1,73$	$\pm 1,77$	$\pm 1,75$
Teil 3a	160,53	156,35	145,75	152,23
	$\pm 4,68$	$\pm 4,48$	$\pm 4,59$	$\pm 4,55$
Teil 3b	76,91 ^a	65,96 ^b	65,18 ^b	71,07 ^{ab}
	$\pm 2,90$	$\pm 2,78$	$\pm 2,84$	$\pm 2,81$

BMC-Gehalt (g) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 - 5, 3a und 3b. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Die Eber zeigten in der Gewichtsgruppe 2 in allen Teilen einen signifikant höheren BMC als in der Gewichtsgruppe 1 (Tabelle 8).

Tab.8: BMC der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

BMC (g)	GWGR 1	GWGR 2
Teil 5	817,83 ^b $\pm 14,29$	1008,49 ^a $\pm 13,92$
Teil 4	347,60 ^b $\pm 6,66$	420,20 ^a $\pm 6,48$
Teil 3	197,03 ^b $\pm 4,67$	250,32 ^a $\pm 4,54$
Teil 2	199,14 ^b $\pm 4,13$	249,80 ^a $\pm 4,03$
Teil 1	74,22 ^b $\pm 1,26$	87,73 ^a $\pm 1,23$
Teil 3a	135,03 ^b $\pm 3,28$	172,40 ^a $\pm 3,20$
Teil 3b	61,87 ^b $\pm 2,03$	77,69 ^a $\pm 1,98$

BMC-Gehalt (g) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und der Gewichtsgruppe 2 (GWGR2). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Bei allen Teilen lag zwischen der Gewichtsgruppe und der Herkunft eine Interaktion in Bezug auf den BMC vor (Tabelle 9).

Tab.9: BMC-Werte der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

BMC (g)	B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
Teil 5	868,30 ^d	972,90 ^b	859,41 ^{cd}	1000,3 ^b	774,95 ^e	932,28 ^{bd}	768,67 ^{ce}	1128,4 ^a
	$\pm 25,83$	$\pm 31,63$	$\pm 28,29$	$\pm 26,97$	$\pm 28,29$	$\pm 28,29$	$\pm 31,63$	$\pm 23,91$
Teil 4	368,18 ^{cd}	404,26 ^{bd}	368,26 ^{cd}	423,55 ^b	320,61 ^e	382,34 ^d	333,35 ^{ec}	470,65 ^a
	$\pm 12,03$	$\pm 14,73$	$\pm 13,17$	$\pm 12,56$	$\pm 13,17$	$\pm 13,17$	$\pm 14,73$	$\pm 11,13$
Teil 3	222,84 ^{cde}	252,18 ^{ab}	202,96 ^{cf}	242,00 ^{bd}	189,36 ^{fg}	232,91 ^{be}	172,97 ^g	274,18 ^a
	$\pm 8,43$	$\pm 10,33$	$\pm 9,24$	$\pm 8,81$	$\pm 9,24$	$\pm 9,24$	$\pm 10,33$	$\pm 7,81$
Teil 2	200,67 ^{cgt}	234,09 ^{bd}	211,92 ^{cbg}	250,32 ^{de}	193,16 ^{fg}	234,09 ^{be}	190,81 ^g	280,69 ^a
	$\pm 7,47$	$\pm 9,15$	$\pm 8,18$	$\pm 7,80$	$\pm 8,18$	$\pm 8,18$	$\pm 9,15$	$\pm 6,92$
Teil 1	76,72 ^{de}	82,50 ^{cd}	76,16 ^{de}	84,60 ^{bc}	72,90 ^e	82,42 ^{acd}	71,09 ^e	101,39 ^a
	$\pm 2,28$	$\pm 2,79$	$\pm 2,50$	$\pm 2,38$	$\pm 2,50$	$\pm 2,50$	$\pm 2,79$	$\pm 2,11$
Teil 3a	152,05 ^{de}	169,01 ^{ae}	139,61 ^{dc}	173,09 ^{ab}	129,34 ^{cf}	162,16 ^{be}	119,12 ^f	185,34 ^a
	$\pm 5,92$	$\pm 7,25$	$\pm 6,49$	$\pm 6,18$	$\pm 6,49$	$\pm 6,49$	$\pm 7,25$	$\pm 5,48$
Teil 3b	70,52 ^{bc}	83,29 ^a	63,32 ^{cd}	68,60 ^c	59,86 ^{cd}	70,50 ^c	53,78 ^d	88,36 ^a
	$\pm 3,67$	$\pm 4,49$	$\pm 4,02$	$\pm 3,83$	$\pm 4,02$	$\pm 4,02$	$\pm 4,49$	$\pm 3,39$

BMC (g) der Teile in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

3.2.2. BMD

Abhängigkeit von der Herkunft

Bei allen Teilen zeigte die Herkunft einen signifikanten Einfluss auf den BMD, wobei Eber aus Grub in der Gesamtumrahmung (Teil 5) den signifikant geringsten BMD hatten. In allen anderen Teilen hatten die Eber aus Grub die niedrigsten BMD-Werte (Tabelle 10).

Tab.10: BMD-Gehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)

BMD (g/cm ²)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
Teil 5	0,872 ^b	0,870 ^b	0,823 ^c	0,922 ^a
	$\pm 0,009$	$\pm 0,008$	$\pm 0,008$	$\pm 0,008$
Teil 4	0,956 ^b	0,953 ^b	0,895 ^c	1,029 ^a
	$\pm 0,012$	$\pm 0,011$	$\pm 0,011$	$\pm 0,011$
Teil 3	0,630 ^b	0,624 ^b	0,594 ^c	0,652 ^a
	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$
Teil 2	1,030 ^a	1,007 ^a	0,959 ^b	1,038 ^a
	$\pm 0,013$	$\pm 0,012$	$\pm 0,013$	$\pm 0,013$
Teil 1	1,249 ^{ab}	1,206 ^{bc}	1,165 ^c	1,269 ^a
	$\pm 0,021$	$\pm 0,020$	$\pm 0,020$	$\pm 0,020$
Teil 3a	0,777 ^a	0,743 ^{bc}	0,721 ^c	0,784 ^a
	$\pm 0,011$	$\pm 0,010$	$\pm 0,011$	$\pm 0,011$
Teil 3b	0,451 ^b	0,451 ^b	0,425 ^c	0,479 ^a
	$\pm 0,005$	$\pm 0,005$	$\pm 0,005$	$\pm 0,005$

BMD-Gehalt (g/cm²) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 – 5, 3a und 3b.

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Alle Teile waren im BMD signifikant von der Gewichtsgruppe beeinflusst. Die Gewichtsgruppe 2 hatte bei allen Teilen erwartungsgemäß signifikant höhere BMD-Werte als die Gewichtsgruppe 1 (Tabelle 11).

Tab.11: BMD der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

BMD (g/cm ²)	GWGR 1	GWGR 2
Teil 5	0,847 ^b $\pm 0,006$	0,896 ^a $\pm 0,006$
Teil 4	0,930 ^b $\pm 0,008$	0,986 ^a $\pm 0,008$
Teil 3	0,605 ^b $\pm 0,005$	0,645 ^a $\pm 0,005$
Teil 2	0,979 ^b $\pm 0,009$	1,038 ^a $\pm 0,009$
Teil 1	1,181 ^b $\pm 0,014$	1,264 ^a $\pm 0,014$
Teil 3a	0,726 ^b $\pm 0,008$	0,787 ^a $\pm 0,007$
Teil 3b	0,442 ^b $\pm 0,004$	0,461 ^a $\pm 0,004$

BMD-Gehalt (g/cm²) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2).

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Bis auf Teil 3b war eine Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft vorhanden (Tabelle 12).

Tab.12: BMD der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

BMD (g/cm ²)	B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
Teil 5	0,868 ^b	0,876 ^b	0,860 ^b	0,880 ^b	0,794 ^c	0,852 ^b	0,865 ^b	0,978 ^a
	$\pm 0,011$	$\pm 0,013$	$\pm 0,012$	$\pm 0,011$	$\pm 0,012$	$\pm 0,012$	$\pm 0,013$	$\pm 0,010$
Teil 4	0,953 ^b	0,959 ^b	0,941 ^b	0,964 ^b	0,861 ^c	0,929 ^b	0,966 ^b	1,092 ^a
	$\pm 0,015$	$\pm 0,018$	$\pm 0,016$	$\pm 0,015$	$\pm 0,016$	$\pm 0,016$	$\pm 0,018$	$\pm 0,014$
Teil 3	0,627 ^b	0,633 ^b	0,611 ^b	0,636 ^b	0,567 ^c	0,621 ^b	0,613 ^b	0,691 ^a
	$\pm 0,009$	$\pm 0,011$	$\pm 0,020$	$\pm 0,009$	$\pm 0,020$	$\pm 0,020$	$\pm 0,010$	$\pm 0,008$
Teil 2	1,022 ^{db}	1,038 ^b	0,999 ^{bde}	1,015 ^{bd}	0,939 ^{cf}	0,979 ^{cdf}	0,956 ^{ce}	1,120 ^a
	$\pm 0,016$	$\pm 0,020$	$\pm 0,018$	$\pm 0,017$	$\pm 0,018$	$\pm 0,018$	$\pm 0,020$	$\pm 0,015$
Teil 1	1,237 ^{cb}	1,261 ^b	1,204 ^{bcd}	1,209 ^{bc}	1,126 ^{de}	1,204 ^{bcd}	1,156 ^{ce}	1,383 ^a
	$\pm 0,026$	$\pm 0,032$	$\pm 0,028$	$\pm 0,027$	$\pm 0,028$	$\pm 0,028$	$\pm 0,032$	$\pm 0,024$
Teil 3a	0,770 ^{bd}	0,784 ^b	0,730 ^{cd}	0,756 ^{bcd}	0,687 ^e	0,755 ^{bc}	0,716 ^{ce}	0,852 ^a
	$\pm 0,014$	$\pm 0,017$	$\pm 0,015$	$\pm 0,014$	$\pm 0,015$	$\pm 0,015$	$\pm 0,017$	$\pm 0,013$
Teil 3b	0,447	0,455	0,448	0,454	0,410	0,440	0,465	0,493
	$\pm 0,006$	$\pm 0,008$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$	$\pm 0,008$	$\pm 0,006$

BMD-Gehalt (g/cm²) der Teile in Abhängigkeit der Gewichtsgruppe und der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

3.2.3. Absoluter Fettgehalt

Abhängigkeit von der Herkunft

Die Herkunft zeigte in allen Teilen einen signifikanten Einfluss auf den absoluten Fettgehalt (g). Die Eber aus Boxberg hatten in Teil 5 und allen anderen Teilen den niedrigsten Fettgehalt, die Eber aus dem LVG den signifikant höchsten (Tabelle 13).

Tab.13: Absoluter Fettgehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)

Fett (g)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
Teil 5	3376 ^c	4479 ^b	3733 ^{bc}	6867 ^a
	± 374	± 358	± 366	± 363
Teil 4	1088 ^b	1316 ^b	1092 ^b	2006 ^a
	± 98	± 94	± 96	± 95
Teil 3	1033 ^b	1508 ^b	1268 ^b	2817 ^a
	± 175	± 167	± 171	± 170
Teil 2	1078 ^c	1442 ^b	1166 ^c	1709 ^a
	± 91	± 87	± 89	± 88
Teil 1	184 ^b	206 ^b	209 ^b	325 ^a
	± 18	± 17	± 17	± 17
Teil 3a	372 ^b	528 ^b	399 ^b	970 ^a
	± 79	± 75	± 77	± 77
Teil 3b	680 ^c	972 ^b	888 ^{bc}	1810 ^a
	± 102	± 97	± 100	± 99

Absoluter Fettgehalt (g) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 – 5, 3a und 3b.

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Der absolute Fettgehalt war in allen Teilen signifikant von der Gewichtsgruppe abhängig. In der Gewichtsgruppe 2 zeigten alle Teile einen signifikant höheren Fettgehalt (Tabelle 14).

Tab.14: Absoluter Fettgehalt der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

Fett (g)	GWGR 1	GWGR 2
Teil 5	3970 ^b \pm 262	5258 ^a \pm 255
Teil 4	1188 ^b \pm 69	1563 ^a \pm 66,97
Teil 3	1390 ^b \pm 122	1923 ^a \pm 119
Teil 2	1184 ^b \pm 64	1513 ^a \pm 62
Teil 1	205 ^b \pm 12	257 ^a \pm 12
Teil 3a	464 ^b \pm 55	671 ^a \pm 54
Teil 3b	938 ^b \pm 71	1237 ^a \pm 69

Absoluter Fettgehalt (g) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Es lag für keinen Teil eine Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft vor (Tabelle 15).

Tab.15: Absoluter Fettgehalt der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

Fett (g)	B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
Teil 5	3108	3644	3503	5455	3036	4431	6233	7501
	± 473	± 579	± 518	± 494	± 518	± 518	± 579	± 438
Teil 4	992	1184	1054	1577	902	1283	1805	2206
	± 124	± 152	± 136	± 130	± 136	± 136	± 152	± 115
Teil 3	926	1140	1108	1907	962	1574	2564	3070
	± 221	± 271	± 242	± 231	± 242	± 242	± 271	± 205
Teil 2	1017	1138	1175	1710	992	1340	1552	1865
	± 115	± 141	± 126	± 120	± 126	± 126	± 141	± 107
Teil 1	170	198	162	251	182	237	308	343
	± 22	± 28	± 25	± 23	± 25	± 25	± 28	± 21
Teil 3a	346	399	382	674	302	496	824	1115
	± 100	± 122	± 109	± 104	± 109	± 109	± 122	± 92
Teil 3b	610	750	742	1202	700	1077	1700	1920
	± 129	± 158	± 141	± 135	± 141	± 141	± 158	± 119

Absoluter Fettgehalt (g) der Teile in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und von der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG.

3.2.4. Relativer Fettgehalt

Abhängigkeit von der Herkunft

Die Herkunft zeigte bei allen Teilen einen signifikanten Einfluss auf den relativen Fettgehalt. Die Eber des LVGs zeigten in allen Teilen die signifikant höchsten relativen Fettgehalte (Tabelle 16).

Tab.16: Relativer Fettgehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)

Fett (%)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
Teil 5	9,13 ^c	11,54 ^b	9,65 ^{bc}	18,02 ^a
	$\pm 0,83$	$\pm 0,80$	$\pm 0,82$	$\pm 0,81$
Teil 4	9,73 ^b	11,50 ^b	9,71 ^b	18,09 ^a
	$\pm 0,74$	$\pm 0,71$	$\pm 0,72$	$\pm 0,72$
Teil 3	8,03 ^c	11,04 ^b	9,21 ^{bc}	19,49 ^a
	$\pm 0,99$	$\pm 0,94$	$\pm 0,97$	$\pm 0,96$
Teil 2	9,58 ^c	12,10 ^b	9,94 ^c	15,99 ^a
	$\pm 0,76$	$\pm 0,72$	$\pm 0,74$	$\pm 0,73$
Teil 1	10,30 ^b	11,30 ^b	10,67 ^b	17,18 ^a
	$\pm 0,77$	$\pm 0,73$	$\pm 0,75$	$\pm 0,74$
Teil 3a	5,90 ^b	7,95 ^b	6,36 ^b	16,05 ^a
	$\pm 1,04$	$\pm 1,00$	$\pm 1,02$	$\pm 1,01$
Teil 3b	10,39 ^c	13,79 ^b	11,92 ^{bc}	21,30 ^a
	$\pm 0,98$	$\pm 0,94$	$\pm 0,96$	$\pm 0,95$

Relativer Fettgehalt (%) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 – 5, 3a und 3b. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Die GWGR zeigte bei allen Teilen keinen signifikanten Einfluss, tendenziell hatten Eber in der Gewichtsgruppe 2 aber einen höheren relativen Fettgehalt (Tabelle 17).

Tab.17: Relativer Fettgehalt der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

Fett (%)	GWGR 1	GWGR 2
Teil 5	11,43 \pm 0,58	12,73 \pm 0,57
Teil 4	11,59 \pm 0,52	12,92 \pm 0,50
Teil 3	11,19 \pm 0,69	12,70 \pm 0,67
Teil 2	11,33 \pm 0,53	12,47 \pm 0,52
Teil 1	11,80 \pm 0,54	12,92 \pm 0,52
Teil 3a	8,28 \pm 0,73	9,85 \pm 0,71
Teil 3b	13,79 \pm 0,69	14,91 \pm 0,67

Relativer Fettgehalt (%) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Die Teile 1 und 3b zeigten eine Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft, die anderen Teile nicht. Eber des LVGs zeigten als einzige Herkunft in allen Teilen, also

auch den Teilen mit Interaktion (1 und 3b) in der GWGR2 tendenziell eine Abnahme des relativen Fettgehaltes (Tabelle 18).

Tab.18: Relativer Fettgehalt der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

Fett %	B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
Teil 5	8,99	9,26	9,69	13,39	8,38	10,91	18,68	17,37
	$\pm 1,06$	$\pm 1,29$	$\pm 1,16$	$\pm 1,10$	$\pm 1,16$	$\pm 1,16$	$\pm 1,29$	$\pm 0,98$
Teil 4	9,44	10,01	9,76	13,24	8,55	10,86	18,63	17,56
	$\pm 0,94$	$\pm 1,15$	$\pm 1,03$	$\pm 0,98$	$\pm 1,03$	$\pm 1,03$	$\pm 1,15$	$\pm 0,87$
Teil 3	7,87	8,19	8,96	13,13	7,58	10,83	20,35	18,64
	$\pm 1,25$	$\pm 1,53$	$\pm 1,37$	$\pm 1,30$	$\pm 1,37$	$\pm 1,37$	$\pm 1,53$	$\pm 1,16$
Teil 2	9,55	9,61	10,42	13,78	8,93	10,95	16,44	15,54
	$\pm 0,96$	$\pm 1,17$	$\pm 1,05$	$\pm 1,00$	$\pm 1,05$	$\pm 1,05$	$\pm 1,17$	$\pm 0,89$
Teil 1	9,98 ^c	10,61 ^{bc}	9,39 ^c	13,20 ^b	9,47 ^c	11,86 ^{bc}	18,34 ^a	16,01 ^a
	$\pm 0,97$	$\pm 1,19$	$\pm 1,06$	$\pm 1,01$	$\pm 1,06$	$\pm 1,06$	$\pm 1,19$	$\pm 0,90$
Teil 3a	5,86	5,94	6,37	9,54	5,11	7,61	15,79	16,31
	$\pm 1,32$	$\pm 1,62$	$\pm 1,45$	$\pm 1,38$	$\pm 1,45$	$\pm 1,45$	$\pm 1,62$	$\pm 1,22$
Teil 3b	10,38 ^c	10,40 ^c	11,57 ^c	16,01 ^b	10,34 ^c	13,50 ^{bc}	22,86 ^a	19,73 ^a
	$\pm 1,24$	$\pm 1,52$	$\pm 1,36$	$\pm 1,29$	$\pm 1,36$	$\pm 1,36$	$\pm 1,52$	$\pm 1,15$

Relativer Fettgehalt (%) der Teile in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und von der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

3.2.5. Absoluter Magerweichgewebegehalt

Abhängigkeit von Herkunft

Der Magerweichgewebegehalt aller Teile war signifikant von der Herkunft abhängig. Eber aus dem LVG zeigten in der Gesamtumrahmung (Teil 5) signifikant geringere Magerweichgewebemassen als die Eber anderer Herkunft. Bis auf Teil 3b hatten Eber aus dem LVG auch in allen anderen Teilen die geringsten Magerweichgewebegehalte (Tabelle 19).

Tab.19: Absoluter Magerweichgewebegehalt der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)

Magerweichgewebe (g)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
Teil 5	33629 ^a	34022 ^a	34591 ^a	30884 ^b
	± 436	± 417	± 427	± 423
Teil 4	10058 ^a	10059 ^a	10121 ^a	8984 ^b
	± 162	± 155	± 159	± 157
Teil 3	11728 ^{bc}	11929 ^{ab}	12232 ^a	11389 ^c
	± 164	± 157	± 161	± 159
Teil 2	10221 ^a	10428 ^a	10486 ^a	8955 ^b
	± 155	± 149	± 152	± 151
Teil1	1606 ^b	1606 ^b	1735 ^a	1566 ^b
	± 34	± 33	± 34	± 33
Teil 3a	5914 ^a	5964 ^a	5793 ^a	4796 ^b
	± 109	± 104	± 106	± 105
Teil 3b	5792 ^b	5971 ^b	6419 ^a	6626 ^a
	± 124	± 119	± 122	± 121

Absoluter Magerweichgewebegehalt (g) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 – 5, 3a und 3b. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Die Gewichtsgruppe hatte einen signifikanten Einfluss auf den absoluten Magerweichgewebegehalt. Eber der Gewichtsgruppe 2 hatten erwartungsgemäß einen signifikant höheren Magerweichgewebegehalt (Tabelle 20).

Tab.20: Absoluter Magerweichgewebegehalt der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

Magerweichgewebe (g)	GWGR 1	GWGR 2
Teil 5	31001 ^b ± 305	35562 ^a ± 297
Teil 4	9179 ^b ± 113	10432 ^a ± 110
Teil 3	10855 ^b ± 115	12783 ^a ± 112
Teil 2	9414 ^b ± 109	10631 ^a ± 106
Teil 1	1545 ^b ± 24	1711 ^a ± 23
Teil 3a	5208 ^b ± 76	6025 ^a ± 74
Teil 3b	5633 ^b ± 87	6771 ^a ± 85

Absoluter Magerweichgewebegehalt (g) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Bei allen Teilen gab es eine Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft (Tabelle 21).

Tab.21: Absoluter Magerweichgewebegehalt (MWG, g) der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

MWG (g)	B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
5	31567 ^b	35691 ^a	32765 ^b	35279 ^a	33036 ^b	36146 ^a	26636 ^c	35132 ^a
	± 551	± 675	± 604	± 575	± 604	± 604	± 675	± 510
4	9504 ^b	10612 ^a	9797 ^{bcd}	10322 ^{ac}	9672 ^{bd}	10571 ^a	7744,63 ^e	10223 ^{ad}
	± 205	± 251	± 224	± 214	± 224	± 224	± 251	± 190
3	10844 ^a	12611 ^b	11286 ^{ac}	12573 ^b	11587 ^c	12877 ^b	9704 ^d	13073 ^b
	± 207	± 254	± 227	± 216	± 227	± 227	± 254	± 192
2	9681 ^b	10760 ^a	10112 ^b	10743 ^a	10037 ^b	10935 ^a	7824 ^c	10086 ^b
	± 197	± 241	± 215	± 205	± 215	± 215	± 241	± 182
1	1532 ^c	1679 ^{abe}	1568 ^{bc}	1644 ^{abc}	1719 ^{ae}	1751 ^{ae}	1363 ^d	1770 ^e
	± 43	± 53	± 47	± 45	± 47	± 47	± 53	± 40
3a	5562 ^b	6266 ^a	5585 ^b	6343 ^a	5551 ^b	6034 ^a	4135 ^c	5457 ^b
	± 137	± 168	± 150	± 143	± 150	± 150	± 168	± 127
3b	5249 ^d	6334 ^{bc}	5682 ^{de}	6259 ^b	5995 ^{be}	6843 ^c	5606 ^{ed}	7646 ^a
	± 157	± 192	± 172	± 164	± 172	± 172	± 192	± 145

Absoluter Magerweichgewebegehalt (MWG; g) der Teile in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und von der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

3.2.6. Relativer Magerweichgewebegehalt

Abhängigkeit von der Herkunft

Die Herkunft zeigte für den relativen Magerweichgewebegehalt auf alle Teile einen signifikanten Einfluss. Eber des LVG hatten in allen Teilen die signifikant geringsten Magerweichgewebeanteile (Tabelle 22).

Tab.22: Relativer Magerweichgewebegehalt (MWG, %) der Eber verschiedener Herkunft in den Teilen 1 bis 5 (LSM \pm SEE)

MWG (%)	Boxberg	Düsse	Grub	LVG
Teil 5	88,68 ^a	86,38 ^b	88,38 ^{ab}	79,99 ^c
	$\pm 0,82$	$\pm 0,79$	$\pm 0,81$	$\pm 0,80$
Teil 4	87,25 ^{ab}	85,52 ^b	87,56 ^a	79,04 ^c
	$\pm 0,74$	$\pm 0,71$	$\pm 0,72$	$\pm 0,72$
Teil 3	90,29 ^a	87,52 ^b	89,39 ^{ab}	79,27 ^c
	$\pm 0,96$	$\pm 0,92$	$\pm 0,94$	$\pm 0,93$
Teil 2	88,71 ^a	86,23 ^b	88,45 ^a	82,23 ^c
	$\pm 0,76$	$\pm 0,73$	$\pm 0,74$	$\pm 0,74$
Teil 1	85,87 ^a	84,94 ^a	85,89 ^a	79,23 ^b
	$\pm 0,75$	$\pm 0,72$	$\pm 0,74$	$\pm 0,73$
Teil 3a	91,75 ^a	89,88 ^a	91,49 ^a	81,79 ^b
	$\pm 1,01$	$\pm 0,96$	$\pm 0,98$	$\pm 0,98$
Teil 3b	88,56 ^a	85,39 ^b	87,29 ^{ab}	78,04 ^c
	$\pm 0,96$	$\pm 0,91$	$\pm 0,94$	$\pm 0,93$

Relativer Magerweichgewebegehalt (%) der Eber unterschiedlicher Herkunft in den Teilen 1 - 5, 3a und 3b. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Die Gewichtsgruppe zeigte auf keinen Teil einen signifikanten Einfluss. Tendenziell hatte die Gewichtsgruppe 1 höhere Magerweichgewebeanteile als die Gewichtsgruppe 2 (Tabelle 23).

Tab.23: Relativer Magerweichgewebegehalt (%) der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

Magerweichgewebe (%)	GWGR 1	GWGR 2
Teil 5	86,55 \pm 0,58	85,16 \pm 0,56
Teil 4	85,54 \pm 0,52	84,14 \pm 0,50
Teil 3	87,40 \pm 0,67	85,84 \pm 0,65
Teil 2	87,04 \pm 0,53	85,77 \pm 0,52
Teil 1	84,61 \pm 0,53	83,35 \pm 0,51
Teil 3a	89,59 \pm 0,70	87,87 \pm 0,69
Teil 3b	85,38 \pm 0,67	84,26 \pm 0,65

Relativer Magerweichgewebegehalt (%) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Eine signifikante Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft bestand nur bei den Teilen 1 und 3b. Während die Eber der verschiedenen Herkünfte in der GWGR2 in diesen Teilen an Magerweichgewebe (%) konstant bleiben oder abnehmen, zeigen die Eber aus dem LVG eine Zunahme des Magerweichgewebeanteils in der GWGR2 (Tabelle 24).

Tab.24: Relativer Magerweichgewebegehalt der Teile von Ebern unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

MWG (%)	B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
Teil 5	88,81	88,55	88,23	84,53	89,69	87,08	79,48	80,50
	$\pm 1,04$	$\pm 1,28$	$\pm 1,14$	$\pm 1,09$	$\pm 1,14$	$\pm 1,14$	$\pm 1,28$	$\pm 0,96$
Teil 4	87,49	87,01	87,28	83,77	88,76	86,36	78,64	79,44
	$\pm 0,93$	$\pm 1,14$	$\pm 1,02$	$\pm 0,97$	$\pm 1,02$	$\pm 1,02$	$\pm 1,14$	$\pm 0,86$
Teil 3	90,43	90,15	89,58	85,46	91,04	87,75	78,55	80,00
	$\pm 1,21$	$\pm 1,49$	$\pm 1,33$	$\pm 1,27$	$\pm 1,33$	$\pm 1,33$	$\pm 1,49$	$\pm 1,12$
Teil 2	88,78	88,64	87,94	84,51	89,50	87,39	81,92	82,54
	$\pm 0,96$	$\pm 1,18$	$\pm 1,05$	$\pm 1,00$	$\pm 1,05$	$\pm 1,05$	$\pm 1,18$	$\pm 0,89$
Teil 1	86,13 ^a	85,60 ^{ab}	86,82 ^a	83,06 ^b	87,15 ^a	84,63 ^{ab}	78,35 ^c	80,11 ^c
	$\pm 0,95$	$\pm 1,17$	$\pm 1,04$	$\pm 0,99$	$\pm 1,04$	$\pm 1,04$	$\pm 1,17$	$\pm 0,88$
Teil 3a	91,78	91,72	91,47	88,28	92,84	90,14	82,26	81,32
	$\pm 1,27$	$\pm 1,56$	$\pm 1,39$	$\pm 1,33$	$\pm 1,39$	$\pm 1,39$	$\pm 1,56$	$\pm 1,18$
Teil 3b	88,55 ^a	88,57 ^a	87,56 ^a	83,22 ^b	88,85 ^a	85,74 ^{ab}	76,55 ^c	79,53 ^c
	$\pm 1,21$	$\pm 1,48$	$\pm 1,32$	$\pm 1,26$	$\pm 1,33$	$\pm 1,32$	$\pm 1,48$	$\pm 1,12$

Relativer Magerweichgewebegehalt (%) der Teile in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und von der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

3.2.7. Muskelfleischanteil LPA (MFA LPA nach Schleißheimer Formel für DXA-Ergebnisse – MFA Teil5)

Abhängigkeit von der Herkunft

Die Herkunft zeigte einen signifikanten Einfluss auf den MFA nach LPA-Methodik. Die Eber des LVGs unterschieden sich von den Ebern anderer Herkunft durch einen signifikant niedrigeren MFA (Tabelle 25).

Tab.25: Muskelfleischanteil LPA (%) der Eber verschiedener Herkunft (LSM \pm SEE)

Boxberg	Düsse	Grub	LVG
61,23 ^a	60,35 ^a	61,32 ^a	56,96 ^b
$\pm 0,40$	$\pm 0,38$	$\pm 0,39$	$\pm 0,39$

Muskelfleischanteil LPA (MFA LPA; %) der Eber verschiedener Herkunft geschätzt aus DXA-Ergebnissen. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Die Gewichtsgruppe zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den MFA nach LPA-Methodik. Tendenziell lag in der GWGR2 ein höherer MFA vor (Tabelle 26).

Tab.26: Muskelfleischanteil LPA (%) der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

GWGR1	GWGR2
59,75	60,18
$\pm 0,28$	$\pm 0,27$

Muskelfleischanteil nach LPA-Methodik (MFA LPA; %) der 123 Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und in der Gewichtsgruppe 2 (GWGR2).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Für den MFA nach LPA-Methodik lag eine signifikante Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft vor (Tabelle 27).

Tab.27: Muskelfleischanteil LPA (%) der Eber unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
60,82 ^{ab}	61,64 ^a	60,84 ^{ab}	59,85 ^b	61,52 ^a	61,12 ^{ab}	55,80 ^d	58,12 ^c
$\pm 0,50$	$\pm 0,62$	$\pm 0,55$	$\pm 0,53$	$\pm 0,55$	$\pm 0,55$	$\pm 0,62$	$\pm 0,47$

Muskelfleischanteil nach LPA-Methodik (MFA LPA; %) in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und von der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

3.2.8. Muskelfleischanteil LPA Bauch (nach Schleißheimer Formel für DXA-Ergebnisse)

Abhängigkeit von der Herkunft

Die Herkunft zeigte einen signifikanten Einfluss auf den Muskelfleischanteil des Bauches. Eber des LVGs hatten signifikant geringere Muskelfleischanteile als die drei anderen Herkünfte, während die Eber aus Düsse niedrigere Werte als die Eber aus Boxberg aufwiesen (Tabelle 28).

Tab.28: Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber verschiedener Herkunft (LSM \pm SEE)

Boxberg	Düsse	Grub	LVG
61,28 ^a	59,74 ^b	60,95 ^{ab}	55,62 ^c
$\pm 0,53$	$\pm 0,51$	$\pm 0,52$	$\pm 0,52$

Muskelfleischanteil des Bauches (MFA LPA Bauch; %) der Eber verschiedener Herkunft.

Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe

Die Gewichtsgruppe zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den Muskelfleischanteil des Bauches. Tendenziell war der MFA LPA Bauch (%) der GWGR1 höher als in der GWGR2 (Tabelle 29).

Tab.29: Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber der zwei Gewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

GWGR1	GWGR2
59,81	58,98
$\pm 0,37$	$\pm 0,36$

Muskelfleischanteil des Bauches (MFA LPA Bauch; %) der Eber in der Gewichtsgruppe 1 (GWGR1) und Gewichtsgruppe 2 (GWGR2).

Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft

Es zeigte sich keine Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft (Tabelle 30).

Tab.30: Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

Tab.30: Muskelfleischanteil LPA Bauch der Eber unterschiedlicher Herkunft in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe (LSM \pm SEE)

B1	B2	D1	D2	G1	G2	LVG1	LVG2
61,36	61,19	60,92	58,56	61,75	60,14	55,20	56,03
$\pm 0,67$	$\pm 0,82$	$\pm 0,74$	$\pm 0,70$	$\pm 0,74$	$\pm 0,74$	$\pm 0,82$	$\pm 0,62$

Muskelfleischanteil des Bauches (MFA LPA Bauch; %) in Abhängigkeit von der Gewichtsgruppe und von der Herkunft Boxberg (B), Düsse (D), Grub (G) und LVG.

4. Versuch 2

4.1. Material und Methode

4.1.1. Tiermaterial

Von Dezember 2009 bis Juli 2011 wurden 127 Eberschlachtkörper verschiedener Genotypen untersucht. Da 4 Ebergentypen nur jeweils einmal vorkamen, wurden diese in der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt, um statistisch korrekte Aussagen treffen zu können. Demnach wurden 123 Eber aus den Ursprungsrassen: Large Black (LB), Wildschwein (WS), Pietrain (Pi), Duroc (Du), Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Cerdo Iberico (Ib) und Hampshire (Ha) untersucht. Folgende Vatergenotypen Pi, PiIb, Pi_WSDuLB, DuLB, DuSH, LB, LB_PiDuPiHa sind dabei in die statistische Analyse eingegangen. Die Muttergenotypen waren: DuLB, DuSH, Ib, LB, LBSh, LBWSDu, PiDuPiHa, PiIb, PiLB, PiSH, PiLBWSDu, SH. In der Tabelle 31 ist die Anzahl der untersuchten Eber, die von den verschiedenen Vatergenotypen abstammen, dargestellt.

Tab.31: Vatterassen und Anzahl der Eber

Vatergenotyp	Anzahl
Pi	41
PiIb	15
Pi_WSDuLB	3
DuLB	16
DuSH	14
LB	15
LB_PiDuPiHa	19

Vatergenotypen (linke Spalte) und die Anzahl der untersuchten Eber, die von dem jeweiligen Vatergenotyp abstammten (rechte Spalte). Die Vatergenotypen stammten aus den Ursprungsrassen Large Black (LB), Wildschwein (WS), Pietrain (Pi), Duroc (Du), Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Cerdo Iberico (Ib) und Hampshire (Ha).

Alle Genotypen der untersuchten Eber sind in Tabelle 32 dargestellt.

Tab.32: Genetik der untersuchten Eber

Pi_LB	DuLB_PiSH	LBPiDuPiHa_LBSH
Pi_Ib	DuLB_PiIb	LBPiDuPiHa_DuLB
Pi_DuSH	DuLB_PiLB	LBPiDUPiHa_PiLB
Pi_LBSH	DuSH_DuLB	LBPiDuPiHa_PiLBWSDu
Pi_WSDuLB	DuSH_PiDuPiHa	LBPiDuPiHa_SH
Pi_LBWSDu	DuSH_PiLB	LB_PiLB
Pi_PiLBWSDu		LB_LB
PiWSDuLB_DuSH		LB_PiSH
PiLB_DuLB		
PiLB_LBWSDu		
PiLB_PiWSDuLB		

Genotypen der untersuchten Eber. Die Eber waren Kreuzungstiere aus: Large Black (LB), Wildschwein (WS), Pietrain (Pi), Duroc (Du), Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Cerdo Iberico (Ib) und Hampshire (Ha).

Alle Eber wurden in Gruppen gehalten, die einen in Mastställen mit Vollspaltenboden, die anderen in Auslaufhütten oder in Aufstallung mit Stroh (Außenklimastall und Mehrzweckstall). Die Gewichte lagen zwischen 51 und 137 kg (Schlachtgewicht warm; SGW). Es wurden drei Gewichtsgruppen eingeteilt: Schlachtgewichtsgruppe1 (SGW 1) mit Ebern bis einschließlich 85 kg, Schlachtgewichtsgruppe 2 (SGW 2) mit Ebern über 85 kg bis einschließlich 90 kg und Schlachtgewichtsgruppe 3 (SGW 3) mit Ebern über 90 kg.

Das Alter der Eber lag zwischen 193 und 289 Tagen. Die Geburts- und Masttermine der Eber lagen in unterschiedlichen Jahreszeiten. Die Schlachttermine waren: Dezember 2009, April 2010, Juli 2010, Januar 2011, Februar 2011, Mai 2011, Juni 2011.

4.1.2. Probenentnahme, sensorische Prüfung und Androstenonbestimmung

Für die sensorische Prüfung wurde von den Schlachtkörpern nach der Schlachtung aus dem hinteren Backenbereich (Regio masseterica und Regio parotidea) eine

Gewebeprobe von ca. 15 cm Durchmesser entnommen, die Fettgewebe, Muskelgewebe und Anteile der Speicheldrüse beinhaltete (Abb. 11).



Abb.11: Probenentnahme am Schlachtkörper für die sensorische Untersuchung und die Androstenonkonzentrationsbestimmung

Die Probe wurde in einen sauberen, geruchsneutralen Plastikbeutel gelegt, verschlossen und vom Tiergesundheitsdienst Bayern e.V. in 85586 Poing nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene“ (AVV LmH) sensorisch untersucht. Die sensorische Untersuchung erfolgte durch je zwei Prüferinnen, die auf Sensorik geschult waren. Zudem hatten sie eine 2-3 jährige Erfahrung im Bereich der Ebergeruchssensorik. Die Proben wurden 24 Stunden gekühlt und danach zuerst mittels Mikrowellen-Diathermie-Verfahren (MWD) als „auffällig“ oder „unauffällig“ beurteilt. Für die Untersuchung in der Mikrowellendiathermie wurde, wie nach der AVV LmH vorgeschrieben, eine 50 g schwere Fleischprobe mit Fett- und Speicheldrüsengewebe in 1cm große Würfel geschnitten und im verschlossenen Beutel bis zur Dampfbildung erhitzt.

Die in der Mikrowellendiathermie auffälligen Proben wurden einer Kochprobe (Kaltansatz) unterzogen, wobei wiederum eine Probe aus Fleisch mit Bindegewebe, Fettgewebe und Speicheldrüsengewebe untersucht wurde. Auch hier erfolgte das Vorgehen nach Angaben der AVV LmH, indem 60 g Probematerial mit 2 cm Kantenlänge in 90 ml kaltem Trinkwasser bis zum Sieden erhitzt und dessen Geruch nach Abkühlung auf 75 °C geprüft wurde. Die Probe wurde hierauf mit

unauffällig (0) oder auffällig (+ oder ++) beurteilt, wobei gegebenenfalls eine Definition als Ebergeruch, urinartiger und/oder fäkaler Geruch vorgenommen wurde. Für die Bewertung wurde vorwiegend der Geruch beurteilt, der Geschmack wurde nur in Ausnahmefällen untersucht, da die sensorische Bewertung der Prüferinnen im Geruch nach Angaben des Labors sehr gute Ergebnisse erzielen würden.

Die Proben, die beim Kaltansatz Abweichungen zeigten, wurden (bis auf 3) in einer Ausschmelzprobe geprüft und der Geruch wiederum mit 0, + oder ++ beurteilt. Das Vorgehen erfolgte wieder nach Angaben der AVV LmH und umfasste 150 g Fettgewebe der Backenprobe. Dieses wurde in ca. 5 mm große Würfel geschnitten, je 20 g auf dem Boden der Prüfgefäße verteilt, das Fett bis zum Austritt des flüssigen Fettes erhitzt und der Geruch beurteilt.

Am Schlachtkörper wurden die LPA (Leistungsprüfanstalt) -Messwerte für Schlachtkörperwert und Fleischqualität erhoben: gesamter Muskelfleischanteil (MFA ges.), Muskelfleischanteil Bauch (MFA Bauch), Seitenspeckdicke (SSP), Speckmaß B (SpB), Fleisch-Fett-Verhältnis (FFV), Fettfläche, Fleischfläche, Schlachtkörperlänge, pH-Wert des Koteletts 35 bis 45 Minuten nach der Schlachtung (pH1K), pH-Wert des Koteletts und des Schinkens 24 h nach der Schlachtung (pH24K; pH24S), Leitfähigkeit des Schinkens und des Koteletts 24 h p.m. (LFS24; LFK24).

Außerdem wurde von dem Tiergesundheitsdienst Bayern e.V. in 85586 Poing aus dem Fettgewebe des Probenmaterials die Androstenonkonzentration (mg/kg) nach MET-LHO-110/EIA (DGA Deutsche Gesellschaft für Akkreditierung mbH Anlage zur Akkreditierungsurkunde DGA-PL-2963.00, Gültigkeitsdauer: 2009-11-23 bis 2013-01-30) bestimmt. Hierzu wurde das Gewebe zunächst 24 h im Kühlschrank aufbewahrt oder tiefgefroren. Die Untersuchung des Androstenongehaltes erfolgte enzymimmunologisch durch einen Enzyme-Immuno-Assay, wobei die Nachweisgrenze bei 0,1 mg/kg lag.

4.1.3. Auswertung

Wie unter Punkt 2.6.2. beschrieben kann es aufgrund der anderen Morphologie der Eber im Vergleich zu Kastraten zu einer falschen Beurteilung der Schlachtkörper

durch bisherige Schätzformeln kommen, da diese auf den Körperbau von Kastraten und Sauen ausgelegt sind. Deshalb wurde von Bernau *et al.* (2011) in Anlehnung an die sogenannte Bonner Formel, aus Magnet-Resonanz-Tomographie-Ergebnissen Schätzformeln für Eberschlachtkörper entwickelt, die letztendlich auf die LPA-Prüfergebnisse zurückgreifen. Mittels dieser „Schleißheimer Formeln für Eber“ (Bernau *et al.*, 2011) wurden der Muskelfleischanteil des Bauches (MFA Bauch in %) und der Muskelfleischanteil des gesamten Schlachtkörpers (MFA ges. in %) ermittelt:

$$\text{MFA ges.(\%)} = 60,42299 - 0,21318 \cdot \text{Fettfläche (cm}^2\text{)} + 0,15109 \cdot \text{Fleischfläche (cm}^2\text{)} - 0,83610 \cdot \text{Rückenspeckdicke Mitte (cm)} - 3,28827 \cdot \text{Speckmaß B (cm)};$$

$$\text{MFA Bauch (\%)} = 67,09393 - 0,39407 \cdot \text{Fettfläche (cm}^2\text{)} + 0,08100 \cdot \text{Fleischfläche (cm}^2\text{)} - 0,96909 \cdot \text{Seitenspeckdicke (cm)} - 2,87417 \cdot \text{Speckmaß B (cm)}$$

Der Androstenongehalt (mg/kg) wurde mit Hilfe des natürlichen Logarithmus transformiert [+3] (Logandro), um eine Normalverteilung zu erhalten. Demnach entspricht eine Androstenonkonzentration von 1 mg/kg einem transformierten Wert von 3 (ln von 1 = 0 → +3 = 3; Tabelle 33).

Tab. 33: Androstenonwerte und entsprechender logarithmierter Wert

Androstenon (mg/kg)	nat. Log + 3 (Logandro)
0,1	0,697
0,5	2,307
1	3
3	4,099
5	4,609
10	5,303
13	5,565

Androstenonkonzentrationen (mg/kg) und deren entsprechende transformierte Werte (Logandro; Bsp: ln von 1 = 0 → +3 = 3).

Bei der statistischen Auswertung der Androstenonkonzentration konnte eine Probe zunächst nicht ausgewertet werden, da sie unter der Nachweisgrenze lag und der Wert 0 nicht logarithmierbar ist. Es wurde der Wert 0,09 mg/kg Androstenon

verwendet, der minimal unter der Nachweisgrenze von 0,1 mg/kg lag.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels SAS 9.2 (Proc Mixed, REML, DF=Satterthwaite, © 2002-2008 by SAS Institute Inc. Cary North Carolina, USA).

In das Modell gingen ein: als fixe Effekte der Vatergenotyp, das Ergebnis der MWD, die SGW-Gruppe und das Schlachtdatum sowie als zufällige Effekte der Muttergenotyp, die Stallbezeichnung und das Geburtsdatum. Die Ergebnisse der sensorischen Prüfung und die Einteilung in Gruppen mit unterschiedlichen Androstenongehalten wurden prozentual ausgewertet. Die Grenze für statistische Signifikanz wurde mit $p = 0,05$ festgelegt.

4.2. Ergebnisse

4.2.1. Sensorische Untersuchung

Im Mikrowellendiathermieverfahren zeigten sich 22,8 % der 123 Eber als geruchsauffällig (Abb. 12).

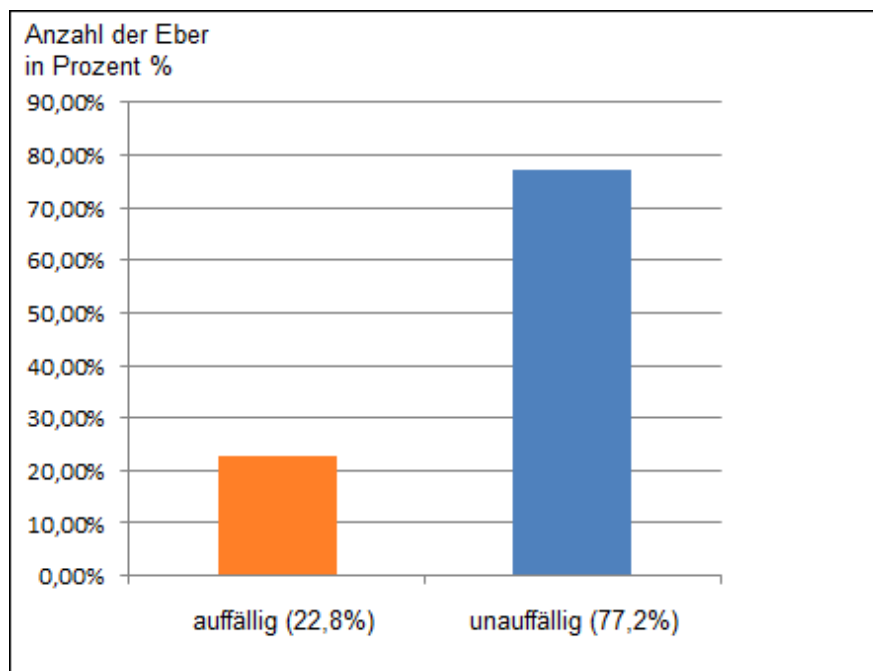


Abb.12: Geruchssensorische Ergebnisse des Mikrowellendiathermieverfahrens (MWD); sensorisch auffällige und unauffällige Proben der Eber (n=123) in Prozent (%)

Nach dem Kaltansatz waren noch 13,0 % der Eber (n=123) geruchsauffällig. Von diesen wurden 8,1 % mit + und 4,9 % mit ++ bewertet. Ein Anteil von 87 % der Eber zeigte keine Geruchsabweichungen (Abb. 13).

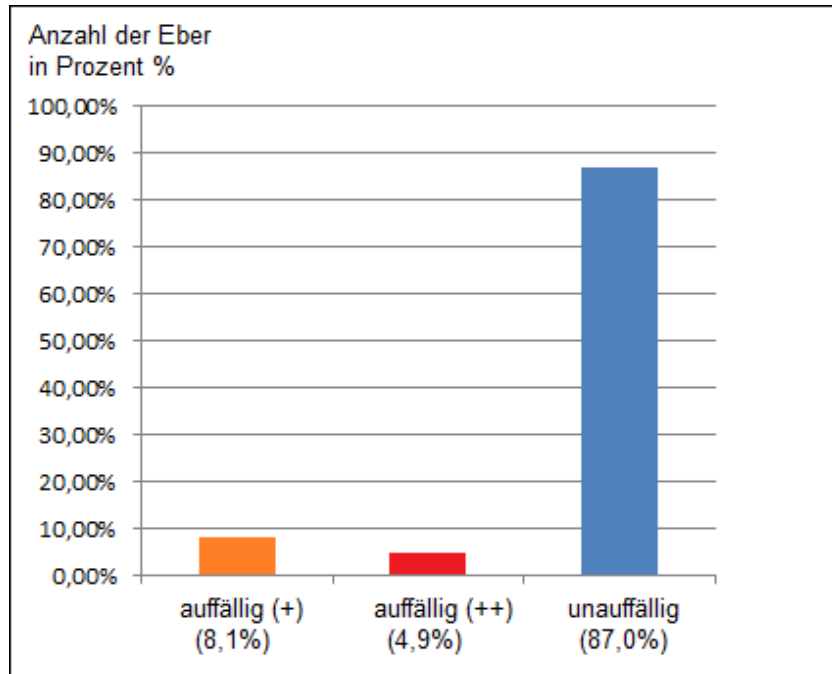


Abb. 13: Geruchssensorische Ergebnisse nach dem Kaltansatz; auffällige (+;++) und unauffällige Proben der Eber (n=123) in Prozent (%)

In der Ausschmelzprobe zeigten noch 10,6 % der Eber Geruchsabweichungen; 4,1 % der Eber wurden mit + und 6,5 % mit ++ beurteilt (Abb. 14).

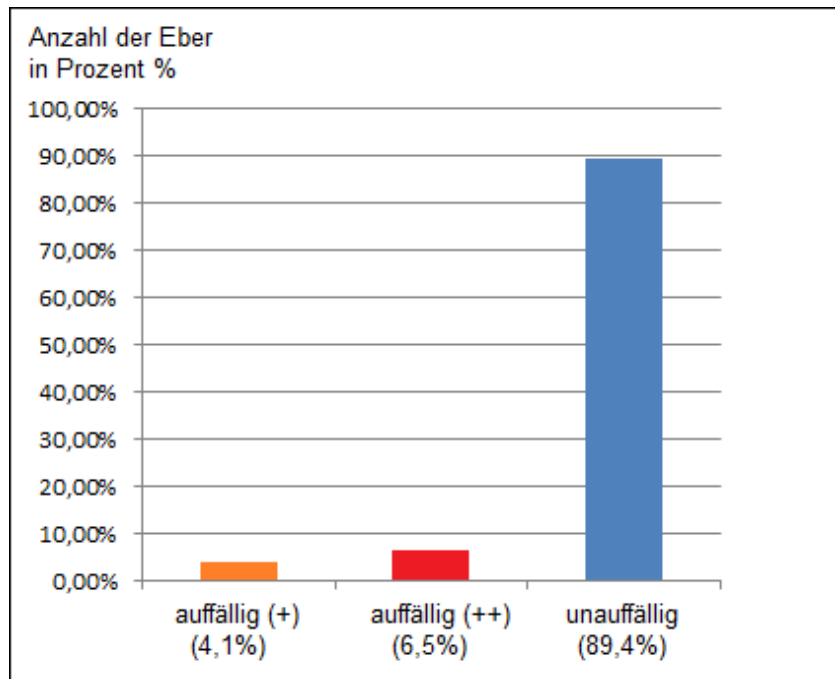


Abb.14: Geruchsauffälligkeiten nach der Ausschmelzprobe; auffällige (+; ++) und unauffällige Proben der Eber (n=123) in Prozent (%)

4.2.2. Androstenongehalt

Der Vatergenotyp zeigte einen signifikanten Einfluss auf den Androstenongehalt. Der Logandro (logarithmierter Androstenongehalt = natürlicher Logarithmus [+3]; Tab. 34) lag zwischen 3,02 (LB_PiDuPiHa) und 4,30 (LB).

Tab.34: Androstenongehalt (Logandro) in Abhängigkeit vom Vatergenotyp (LSM \pm SEE)

Vatergenotyp	Logandro
DuLB	3,22 ^{abc} \pm 0,50
DuSH	4,09 ^{ac} \pm 0,45
LB	4,30 ^a \pm 0,43
LB_PiDuPiHa	3,02 ^{bd} \pm 0,45
Pi	3,09 ^{cd} \pm 0,32
Pilb	4,20 ^a \pm 0,44
Pi_WSDuLB	3,58 ^{abc} \pm 1,09

Logandro (logarithmierter Androstenongehalt; natürlicher Logarithmus [+3]) der verschiedenen Vatergenotypen. Die Vatergenotypen stammten von den Ursprungsrassen: Large Black (LB), Wildschwein (WS), Pietrain (Pi), Duroc (Du), Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Cerdo Iberico (lb) und Hampshire (Ha). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen in einer Spalte signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

In der Mikrowellendiathermie (MWD) geruchsauffällige Eber hatten mit einem Logandro von 3,98 einen signifikant höheren Androstenongehalt als im MWD geruchsnegative Eber mit 3,30 (Tabelle 35).

Tab.35: Androstenongehalt (Logandro) der MWD-Ergebnisse (LSM \pm SEE)

Sensorik	Logandro
MWD unauffällig	3,30 ^b \pm 0,26
MWD auffällig	3,98 ^a \pm 0,33

Logandro (logarithmierter Androstenongehalt; natürlicher Logarithmus [+3]) in Abhängigkeit von den Ergebnissen in der MWD. Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen innerhalb einer Spalte signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Das Schlachtgewicht hatte keine signifikante Auswirkung auf den Androstenongehalt. Tendenziell waren die Androstenongehalte der schwereren Eber höher. Der natürlich logarithmierte Wert des Androstenongehalts [+3] betrug für SGW1 3,38, für SGW2 3,61 und für das SGW3 3,94 (Tabelle 36).

Tab.36: Androstenongehalt (Logandro) der Schlachtgewichtsgruppen (LSM \pm SEE)

	Logandro
SGW 1 (kg)	3,38 \pm 0,32
SGW 2 (kg)	3,61 \pm 0,39
SGW 3 (kg)	3,94 \pm 0,26

Logandro (logarithmierter Androstenongehalt; natürlicher Logarithmus [+3]) der Schlachtgewichtsgruppen1 bis 3 (SGW1, SGW2, SGW3).

Das Schlachtdatum zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den Androstenongehalt.

Die Androstenonkonzentrationen waren nicht bei allen geruchsauffälligen Tieren hoch bzw. bei allen geruchsunauffälligen Schlachtkörpern niedrig. Sechs der in der MWD unauffälligen Eber hatten einen Androstenongehalt von $\geq 10,0$ mg/kg (bis 12 mg/kg), einer der auffälligen Eber nur 0,44 mg/kg (Tabelle 37).

Tab.37: Verteilung der Androstenonkonzentrationen der 123 Eber in Kombination mit den Ergebnissen aus der Mikrowellendiathermie

Anzahl der Eber	Androstenon (mg/kg)	Anzahl MWD unauffällig	Anzahl MWD auffällig	MWD unauffällig (%)	MWD auffällig (%)
30	<1	24	6	80,0	20,0
70	$1 \leq x < 5$	55	15	78,6	21,4
13	$5 \leq x < 10$	10	3	76,9	23,1
10	≥ 10	6	4	60,0	40,0

Androstenonkonzentrationen (mg/kg) der 123 Eber unter 1 mg/kg, zwischen 1 und 5 mg/kg, zwischen 5 und 10 mg/kg und über 10 mg/kg Fett. Die Anzahl der Eber, die davon in der MWD auffällig bzw. unauffällig waren, ist absolut und in Prozent angegeben.

4.2.3. Schlachtkörperzusammensetzung und

Schlachtkörperqualität

Die Vatergenotypen zeigten einen signifikanten Einfluss auf den MFA ges., den MFA Bauch, die Seitenspeckdicke (SSP), das Speckmaß B (SpB), das Fleisch-Fett-Verhältnis (FFV), die Fleischfläche und die Fettfläche. Die Muskelfleischanteile der Eber lagen zwischen 59,89 % bei MFA ges. (DuLB) bzw. 59,17 % bei MFA Bauch (DuLB) und 50,47 bei MFA ges. (LB) bzw. 48,19 MFA Bauch (PiIb). Die Eber zeigten Seitenspeckdicken zwischen 28,89 mm (Pi) und 41,76 mm (PiIb). Die Genotypen zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Länge der Schlachtkörper (Tabelle 38).

Tab.38: Merkmale des Schlachtkörperwertes aus der LPA-Prüfung in Abhängigkeit vom Vatergenotypen (LSM \pm SEE)

	DuLB	DuSH	LB	LB_PiDuPiHa	Pi	PiIb	Pi_WSDuLB
MFA ges. %	59,9 ^a $\pm 1,8$	58,1 ^a $\pm 1,5$	50,5 ^b $\pm 1,4$	57,3 ^a $\pm 1,7$	59,8 ^a $\pm 1,2$	50,6 ^b $\pm 1,5$	56,2 ^{ab} $\pm 3,2$
MFA Bauch %	59,2 ^a $\pm 2,15$	56,3 ^a $\pm 1,86$	48,5 ^b $\pm 1,66$	56,4 ^a $\pm 1,99$	58,7 ^a $\pm 1,43$	48,2 ^b $\pm 1,79$	55,1 ^{ab} $\pm 3,93$
SSP (mm)	30,6 ^e $\pm 3,0$	33,9 ^{ce} $\pm 2,7$	38,7 ^{abc} $\pm 2,5$	30,9 ^e $\pm 2,7$	28,9 ^e $\pm 1,9$	41,8 ^{ad} $\pm 2,6$	30,9 ^{bde} $\pm 5,8$
SpB (mm)	10,9 ^b $\pm 2,7$	12,2 ^b $\pm 2,3$	24,2 ^a $\pm 2,1$	13,1 ^b $\pm 2,5$	11,2 ^b $\pm 1,8$	23,7 ^a $\pm 2,3$	14,8 ^{ab} $\pm 5,1$
FFV	0,34 ^d $\pm 0,07$	0,40 ^d $\pm 0,06$	0,77 ^{ab} $\pm 0,05$	0,44 ^d $\pm 0,06$	0,32 ^d $\pm 0,04$	0,69 ^{ac} $\pm 0,06$	0,45 ^{dc} $\pm 0,12$
Fettfläche (cm ²)	14,83 ^b $\pm 2,80$	19,91 ^b $\pm 2,44$	28,73 ^a $\pm 2,18$	18,80 ^b $\pm 2,57$	16,04 ^b $\pm 1,85$	28,62 ^a $\pm 2,34$	20,52 ^{ab} $\pm 5,12$
Fleischfl. (cm ²)	45,90 ^{bc} $\pm 2,56$	48,39 ^{ac} $\pm 2,36$	38,39 ^d $\pm 2,21$	43,09 ^{bd} $\pm 2,31$	51,12 ^a $\pm 1,61$	41,01 ^{bd} $\pm 2,26$	44,17 ^{acd} $\pm 5,27$
Länge (cm)	982,1 $\pm 14,1$	985,9 $\pm 13,4$	985,9 $\pm 12,2$	980,9 $\pm 12,3$	966,2 $\pm 9,0$	960,6 $\pm 12,1$	1000,3 $\pm 25,8$

MFA ges. (%) =Muskelfleischanteil nach Schleißheimer Formel, MFA Bauch (%) = Muskelfleischanteil Bauch nach Schleißheimer Formel, Seitenspeckdicke (SSP; mm), Speckmaß B (SpB; mm), Fleisch-Fett-Verhältnis (FFV, 1:), Fettfläche über dem M. longissimus dorsi (cm²), Fleischfl.=Fleischfläche gemessen am M. longissimus dorsi (cm²) und Schlachtkörperlänge (Länge; cm) der Vatergenotypen DuLB, DuSH, LB, LB_PiDuPiHa, Pi, PiIb und Pi_WSDuLB. Die Vatergenotypen stammten von den Ursprungsrassen: Large Black (LB), Wildschwein (WS), Pietrain (Pi), Duroc (Du), Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Cerdo Iberico (Ib) und Hampshire (Ha). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen innerhalb einer Zeile signifikante Unterschiede (p<0,05).

Auffälligkeiten in der Mikrowellendiathermie zeigten auf den MFA ges., MFA Bauch, die SSP, SpB, FFV, Fettfläche, Fleischfläche und Länge keinen signifikanten Einfluss (Tabelle 39).

Tab.39: Merkmale des Schlachtkörperwertes in Abhängigkeit vom MWD-Ergebnis (LSM \pm SEE)

	MWD unauffällig	MWD auffällig
MFA ges. (%)	56,3 \pm 1,0	55,8 \pm 1,1
MFA Bauch (%)	55,0 \pm 1,2	54,3 \pm 1,3
SSP (mm)	33,2 \pm 1,5	34,2 \pm 1,9
SpB (mm)	15,3 \pm 1,5	16,15 \pm 1,6
FFV	0,5 \pm 0,04	0,5 \pm 0,04
Fettfläche (cm ²)	20,63 \pm 1,52	21,49 \pm 1,72
Fleischfläche (cm ²)	44,68 \pm 1,29	44,48 \pm 1,71
Länge (cm)	983,2 \pm 6,5	977,4 \pm 9,5

MFA ges. (%) = Muskelfleischanteil nach Schleißeheimer Formel, MFA Bauch (%) = Muskelfleischanteil Bauch nach Schleißeheimer Formel, Seitenspeckdicke (SSP; mm), Speckmaß B (SpB; mm), Fleisch-Fett-Verhältnis (FFV), Fettfläche über dem M. longissimus dorsi (cm²), Fleischfläche gemessen am M. longissimus dorsi (cm²) und Schlachtkörperlänge (Länge; cm) in Abhängigkeit der MWD Ergebnisse.

Das Schlachtgewicht hatte erwartungsgemäß auf den MFA (ges., Bauch), die SSP, SpB, das FFV, die Fleischfläche, Fettfläche und die Länge einen signifikanten Einfluss (Tabelle 40). Eber der Schlachtgewichtsgruppen 1 und 2 zeigten signifikant höhere Gesamtmuskelfleischanteile (56,86 und 56,74 %) und Bauchmuskelfleischanteile als Eber der SGW Gruppe 3 (MFA ges: 54,54 %). Die SSP lag bei SGW1 bei 29,07 mm und signifikant unter der SSP der SGW3 mit 39,09 mm.

Tab.40: Merkmale des Schlachtkörperwertes in Abhängigkeit von den SGW-Gruppen (LSM \pm SEE)

	SGW 1 (kg)	SGW 2 (kg)	SGW 3 (kg)
MFA ges. (%)	56,9 ^a \pm 1,1	56,7 ^a \pm 1,2	54,5 ^b \pm 1,0
MFA Bauch (%)	56,7 ^a \pm 1,3	55,3 ^a \pm 1,4	51,9 ^b \pm 1,2
SSP (mm)	29,1 ^b \pm 1,8	32,9 ^b \pm 2,2	39,1 ^a \pm 1,5
SpB (mm)	13,5 ^b \pm 1,6	14,8 ^b \pm 1,8	18,9 ^a \pm 1,5
FFV	0,46 ^b \pm 0,04	0,47 ^b \pm 0,04	0,54 ^a \pm 0,04
Fettfläche (cm ²)	17,30 ^c \pm 1,67	20,51 ^b \pm 1,88	25,37 ^a \pm 1,53
Fleischfläche (cm ²)	38,59 ^b \pm 1,60	45,94 ^a \pm 2,01	49,21 ^a \pm 1,29
Länge (cm)	948,7 ^c \pm 8,7	974,3 ^b \pm 11,7	1017,9 ^a \pm 6,6

MFA ges (%) = Muskelfleischanteil nach Schleißeheimer Formel, MFA Bauch (%) = Muskelfleischanteil Bauch nach Schleißeheimer Formel, Seitenspeckdicke (SSP; mm), Speckmaß B (SpB; mm), Fleisch-Fett-Verhältnis (FFV), Fettfläche gemessen am M. longissimus dorsi (cm²), Fleischfläche gemessen am M. longissimus dorsi (cm²) und Schlachtkörperlänge (Länge; cm) der Schlachtgewichtsgruppen 1 bis 3 (SGW1, SGW2, SGW3). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen innerhalb einer Zeile signifikante Unterschiede (p<0,05).

Auf den pH- Wert des Koteletts 1 Stunde und 24 Stunden nach der Schlachtung sowie der Leitfähigkeit des Schinkens und des Koteletts 24 Stunden nach der Schlachtung zeigte der Vatergenotyp keinen signifikanten Einfluss. Der pH-Wert des Schinkens 24 Stunden nach der Schlachtung (pH24S) war signifikant vom Vatergenotyp beeinflusst (Tabelle 41).

Tab.41: Merkmale der Fleischqualität in Abhängigkeit vom Vatergenotypen (LSM \pm SEE)

	DuLB	DuSH	LB	LB_PiDuPiHa	Pi	Pilb	PiWSDuLB
pH1K	6,56 $\pm 0,08$	6,50 $\pm 0,08$	6,51 $\pm 0,07$	6,43 $\pm 0,07$	6,46 $\pm 0,05$	6,46 $\pm 0,07$	6,79 $\pm 0,15$
pH24S	5,47 ^d $\pm 0,05$	5,66 ^b $\pm 0,05$	5,79 ^a $\pm 0,05$	5,70 ^{ab} $\pm 0,05$	5,55 ^{dc} $\pm 0,03$	5,66 ^{bc} $\pm 0,05$	5,66 ^{abd} $\pm 0,11$
pH24K	5,46 $\pm 0,04$	5,55 $\pm 0,04$	5,50 $\pm 0,04$	5,55 $\pm 0,04$	5,48 $\pm 0,03$	5,52 $\pm 0,04$	5,64 $\pm 0,08$
LFS24 (μ S/cm)	4,55 $\pm 0,57$	4,30 $\pm 0,54$	3,94 $\pm 0,50$	4,28 $\pm 0,51$	4,34 $\pm 0,36$	3,80 $\pm 0,50$	3,82 $\pm 1,10$
LFK24 (μ S/cm)	4,26 $\pm 0,55$	2,33 $\pm 0,52$	2,21 $\pm 0,48$	2,69 $\pm 0,48$	3,76 $\pm 0,34$	3,34 $\pm 0,47$	2,82 $\pm 1,02$

pH des Koteletts 1h p.m. (pH1K) und 24 h p.m. (pH24K), pH des Schinkens 24 h p.m. (pH24S), Leitfähigkeit des Schinkens 24 h p.m. (LFS24; μ S/cm), Leitfähigkeit des Koteletts 24 h p.m. der verschiedenen Vatergenotypen DuLB, DuSH, Lb, LB_PiDuPiHa, Pi, PilB, Pi_WSDuLB. Die Vatergenotypen stammten von den Ursprungsrassen: Large Black (LB), Wildschwein (WS), Pietrain (Pi), Duroc (Du), Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Cerdo Iberico (Ib) und Hampshire (Ha). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen innerhalb einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Ergebnisse der MWD und die Gewichtsgruppen zeigten auf keinen der untersuchten Qualitätsparameter (pH1K, pH24S, pH24K, LFS24, LFK24) einen signifikanten Einfluss (Tabelle 42).

Tab.42: Merkmale der Fleischqualität in Abhängigkeit vom MWD-Ergebnis (LSM \pm SEE)

	MWD unauffällig	MWD auffällig
pH1K	6,50 \pm 0,04	6,56 \pm 0,06
pH24S	5,65 \pm 0,03	5,63 \pm 0,04
pH24K	5,53 \pm 0,02	5,52 \pm 0,03
LFS24	3,95 \pm 0,27	4,34 \pm 0,39
LFK24	3,30 \pm 0,25	2,82 \pm 0,38

pH des Koteletts 1h p.m. (pH1K) und 24 h p.m. (pH24K), pH des Schinkens 24 h p.m. (pH24S), Leitfähigkeit des Schinkens 24 h p.m. (LFS24; μ S/cm), Leitfähigkeit des Koteletts 24 h p.m. in Abhängigkeit von den MWD Ergebnissen.

Das Schlachtgewicht zeigte bis auf den pH1K auf die Qualitätsparameter (pH24S, pH24K, LFS24, LFK24) keinen signifikanten Einfluss (Tabelle 43).

Tab.43: Merkmale der Fleischqualität in Abhängigkeit von den SGW-Gruppen (LSM \pm SEE)

	SGW 1 (kg)	SGW 2 (kg)	SGW 3 (kg)
pH1K	6,42 ^b \pm 0,05	6,64 ^a \pm 0,08	6,53 ^a \pm 0,04
pH24S	5,66 \pm 0,03	5,62 \pm 0,04	5,64 \pm 0,03
pH24K	5,53 \pm 0,03	5,53 \pm 0,03	5,53 \pm 0,02
LFS24	4,23 \pm 0,36	3,90 \pm 0,47	4,30 \pm 0,27
LFK24	2,99 \pm 0,34	2,77 \pm 0,47	3,42 \pm 0,26

pH des Koteletts 1h p.m. (pH1K) und 24 h p.m. (pH24K), pH des Schinkens 24 h p.m. (pH24S), Leitfähigkeit des Schinkens 24 h p.m. (LFS24; μ S/cm), Leitfähigkeit des Koteletts 24 h p.m. der Schlachtgewichtsgruppen 1 bis 3 (SGW1, SGW2, SGW3). Unterschiedliche Superskripts kennzeichnen innerhalb einer Zeile signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5. Diskussion

5.1. Versuch1

5.1.1. Tiermaterial

Untersucht wurden, bis auf eine rechte Hälfte, immer linke Schlachtkörperhälften. Diese wurden im Schlachthof in der Medianen entlang der Wirbelsäule geteilt. Eine Abweichung der Hälften zeigten die Eberhälften aus Düsse, bei denen der Kopf, bisweilen mit Atlas und Zehen der vorderen Gliedmaßen abgetrennt waren. Diese „Bearbeitung“ wurde bei der Definition der ROI in den DXA-Scanbildern für die Eber der anderen Herkünfte nachvollzogen und dadurch ausgeglichen. Einem Tier fehlte zusätzlich der zweite Halswirbel, was angesichts der Tieranzahl und der Größe des untersuchten Bereichs zu vernachlässigen ist. Bei den Ebern aus dem Haus Düsse war noch ein Haut-/Gewebeappen des Kopfes am Hals vorhanden, der teilweise in den Teil 4 des DXA-Bildes einging. Dieser wurde bei der Einteilung der ROI – soweit möglich – ausgeschnitten und war deshalb vernachlässigbar.

5.1.2. Körperfett und Magerweichgewebe der Eber unterschiedlicher Herkunft

Die Schlachtkörper waren im relativen und absoluten Magerweichgewebe- und Fettgehalt signifikant von der Herkunft abhängig. Schlachtkörper von Ebern des LVGs zeigten in allen Teilen signifikant höhere absolute und relative Fettgehalte und signifikant niedrigere relative Magerweichgewebegehalte als die Eber der anderen Herkünfte. Im absoluten Magerweichgewebe hatten die Schlachtkörper aus dem LVG bis auf Teil 1, 3 und 3b ebenfalls signifikant geringere Werte als die anderen Herkünfte. Die Schlachtkörperzusammensetzung ist demnach signifikant von der Herkunft der Eber beeinflusst worden, wobei Eber des LVGs durch einen höheren Fettgehalt und niedrigeren Magerweichgewebegehalt von Ebern anderer Herkunft abwichen.

Der Grund für die herkunftsabhängigen signifikanten Unterschiede in der Schlachtkörperzusammensetzung könnte in der unterschiedlichen Genetik liegen, zumal gerade Eber des LVGs genetisch stark von den Ebern anderer Herkunft abweichen und die Genetik erwartungsgemäß Einfluss auf die Schlachtkörperzusammensetzung zeigt (Bereskin & Davey, 1978; Henning & Baulain, 2006). Verschiedene Schweinerassen haben neben einer unterschiedlichen Zuchtleistung und Futterverwertung auch ein unterschiedliches Muskelfleischansatzvermögen (AID-Broschüre; Schweinerassen Sambras, 2001). So hat beispielsweise die Rasse Duroc einen niedrigeren Muskelfleischanteil (56,6 %) als Pietrain (64,8 %). Die Deutsche Landrasse und das Deutsche Edelschwein liegen mit Muskelfleischanteilen von 57,0 % und 57,1% eng beieinander (AID-Broschüre Schweinerassen). Die Genetik könnte somit die zu den anderen Herkünften signifikant andere Körperzusammensetzung der Eber des LVGs erklären, da Eber des LVGs verschiedene Vatergenotypen und andere Muttergenotypen hatten als die Eber der drei anderen Herkünfte. Diese hatten als Vatterrasse allein reinrassige Pietrain, die genetisch bedingt einen sehr hohen Muskelfleischanteil und geringen Fettansatz besitzen, während die Eber des LVGs neben Pietrain auch Duroc als Vatterrasse hatten und diese ein geringeres Muskelfleischansatzvermögen aufweisen. Dazu kommen die genetischen Auswirkungen der unterschiedlichen Muttergenotypen. So waren unter den Muttergenotypen der Eber des LVGs beispielsweise reinrassige Cerdo Iberico, die für ihren hohen Fettansatz (bis 60% !) bekannt sind (Lopez-Bote, 1998).

Einen weiteren Einfluss kann in diesem Versuch das Alter der geschlachteten Eber gehabt haben. Eber des LVGs hatten mit 215 Tagen das höchste Durchschnittsalter der vier untersuchten Herkünfte. Ein im Vergleich zu den anderen Herkünften weiter fortgeschrittener Entwicklungszustand der Eber aus dem LVG könnte Unterschiede in der Körperzusammensetzung begünstigt haben.

Die Fütterung kann ebenfalls die Körperzusammensetzung beeinflussen. Die Eber erhielten bis auf die Tiere des LVGs eine Futterzusammensetzung nach der "Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein" vom 01.07.2004. Da hierdurch die Schweine aus Boxberg, dem Haus Düsse und Grub die gleiche Grundfutterzusammensetzung mit 16% Rohprotein/kg Futter erhielten, ist die Ernährung wahrscheinlich nicht als der Grund für Unterschiede in der Körperzusammensetzung zwischen diesen

Herkünften anzusehen. Dahingegen könnte der im Vergleich zu den anderen Herkünften höhere Fettgehalt und geringere Magerweichgewebeanteil der Eber des LVGs durch die Fütterung begünstigt worden sein, da diese nur 14,9 % Rohprotein erhielten. Generell kann die Fütterung der Tiere einen Einfluss auf die Körperzusammensetzung haben. Es zeigte sich, dass Eber, die ad libitum gefüttert wurden, 5,5% mehr Muskelfleisch ansetzten als die Kastraten, während bei begrenzter Futteraufnahme Eber nur 4,6% mehr Muskelfleisch als Kastraten ansetzten (Walstra, 1974). In Versuchen von Beresekin und Davea (1978) konnte eine direkte Auswirkung der Fütterung auf die Körperzusammensetzung nachgewiesen werden. Schweine (Kastraten und Sauen), die mehr Rohprotein (16 %) im Futter bekamen, hatten einen signifikant höheren Magerweichgewebeanteil und signifikant niedrigeren Fettgehalt als Tiere, die Futter mit weniger Rohprotein (12%) erhielten. Adam *et al.* (2009) zeigten, dass Eber (Gruppenhaltung), die weniger Rohprotein (9% geringere Proteinqualität) in der Fütterung erhielten, sowohl mit 85 kg als auch mit 95 kg einen niedrigeren MFA (LPA-Maße, FOM; %) und ein höheres Speckmaß (FOM) aufwiesen als Tiere, die eine Standardfütterung erhielten.

Der Rohproteingehalt im Futter könnte möglicherweise auch in diesem Versuch die Körperzusammensetzung beeinflusst haben. Eber des LVGs, die ca. 14,9 % Rohprotein/kg Futter erhielten, hatten einen signifikant geringeren Muskelfleischgehalt (%) und signifikant höheren Fettgehalt (%) als Eber der anderen Herkünfte, die 16 % Rohprotein/kg Futter aufnahmen. Allerdings kann aufgrund der Unterschiede in der Genetik und des Alters zwischen den Ebern des LVGs und den Ebern der anderen Herkünfte, des großen Unterschiedes im Fettansatz und des geringen Unterschieds in der Futterproteinmenge (1,1%) nicht davon ausgegangen werden, dass die Fütterung der entscheidende Faktor für die signifikanten Unterschiede in der Körperzusammensetzung war.

Eine Beeinflussung der Körperzusammensetzung könnte auch durch die Haltung erfolgt sein. So ist auffällig, dass die Eber der Herkunft Düsse, die genetisch den Ebern aus Boxberg entsprachen, aber in Einzelhaltung untergebracht waren, als einzige Herkunft in der Gewichtsgruppe 2 in den Teilen 1 und 3b (= Teile mit Interaktion zwischen Herkunft und Gewichtsgruppe) einen signifikant höheren relativen Fettgehalt und signifikant geringeren relativen Magerweichgewebegehalt aufwiesen als in GWGR1. Alle anderen Herkünfte wurden in Gruppen gehalten und

zeigten nicht diese signifikanten Unterschiede in der Körperzusammensetzung zwischen den Gewichtsgruppen. Es ist bekannt, dass Eber in Gruppenhaltung untereinander eine erhöhte Aggressivität besitzen und damit vermehrte Unruhe in einer Gruppe entsteht, wodurch beispielsweise die Wachstumsrate geringer sein kann (EFSA, 2004; Pauly *et al.*, 2009). Hoppenbrock (1995) stellte fest, dass mit zunehmendem Gewicht vermehrtes Aufspringen und erhöhte Unruhe in der Gruppe von Ebern zu beobachten waren. Demnach könnten Eber in Einzelhaltung durch weniger Unruhe eine bessere Futteraufnahme und weniger Bewegung zeigen und zu mehr Fettansatz neigen. Zudem können Haltungseinflüsse wie die Anwesenheit von weiblichen Tieren im gleichen Stall zu einem aktiveren Verhalten und verringerter Futteraufnahme der Jungeber führen (Pauly *et al.*, 2009). Andere Untersuchungen zeigten, dass Eber (Pi x F1-Sau) in den zwei Gewichtsklassen 85 kg und 95 kg bei Einzelhaltung ein höheres FOM-Speckmaß (mm) hatten (14,2 und 15,3 mm) als Eber in Gruppenhaltung (13,0 und 13,3 mm). Eber in der niedrigen GWGR (85 kg) zeigten nach Ergebnissen von Adam *et al.* (2009) im Bauchfleischanteil keine Unterschiede zwischen Einzelhaltung und Gruppenhaltung (53,2 % und 53,1 %), während Eber in der GWGR2 (95 kg) in Einzelhaltung 0,7 % weniger Bauchfleischanteil aufwiesen (Adam *et al.*, 2009). Dies entspricht Feststellungen dieser Studie, da die Grundlage der Genetik und Fütterung der Eber aus Boxberg und Düsse gleich war, jedoch Eber aus Düsse als einzige Herkunft im Magerweichgewebeanteil (%) und Fettanteil (%) in den Teilen mit Interaktion (Teil 1 und 3b) in der GWGR2 signifikant an Fett (%) zu- und im Magerweichgewebe (%) abnahmen.

Schlussfolgernd scheint sich bei schwereren Ebern (GWGR2) eine Gruppenhaltung als vorteilhaft auf die Körperzusammensetzung in Bezug auf einen höheren Muskelfleischanteil auszuwirken. Der Einfluss einer Gruppen- oder Einzelhaltung auf die Körperzusammensetzung müsste aber in weiteren Studien untersucht werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Herkunft signifikanten Einfluss hat und entscheidend auf die Körperzusammensetzung der Eber einwirkt. Die ökonomischen Vorteile der Ebermast, die in der guten Schlachtkörperzusammensetzung liegen, können durch ungünstige Herkunftseinflüsse wie genetische Veranlagung, Fütterungs- und Haltungsart gemindert werden. Setzt man

an diesen Punkten an, kann die Schlachtkörperzusammensetzung der Eber optimiert werden.

5.1.3. Fett- und Magerweichgewebeanteil der Teilregionen

Im Vergleich der einzelnen Teilregionen (1, 2, 3, 4, 3a, 3b) fällt auf, dass bei Ebern unabhängig von der Herkunft Teil 3b (die „Bauchregion“) die höchsten relativen Fettgehalte aufwies. Diese lagen bei 10,4% für Boxberg, 11,9% für Grub, 13,8 % für Düsse und 21,3 % für Eber des LVGs. Die niedrigsten relativen Fettgehalte lagen bei den Herkunft Boxberg, Grub und Düsse mit 5,90%, 6,36% und 7,95% in Teil 3a, der „Kotelettregion“. Bei Ebern des LVGs hatte Teil 2, die „Schinkenregion“ mit 15,99% den geringsten relativen Fettgehalt, gefolgt von Teil 3a mit 16,05%. Den höchsten relativen Magerweichgewebegehalt zeigten Eber der Herkunft Boxberg, Düsse und Grub in Teil 3a, der „Kotelettregion“ (Boxberg: 91,75%, Düsse: 89,88%, Grub: 91,49%, LVG: 81,79%), während bei Ebern des LVGs Teil 2, die „Schinkenregion“ (82,23%), den höchsten relativen Magerweichgewebegehalt aufwies, gefolgt von Teil 3a.

Das Schlachtkörperteil, das damit den höchsten relativen Magerweichgewebegehalt aufwies und dadurch das wertvollste Teilstück darstellt, ist demnach bei Ebern aus Boxberg, Düsse und Grub Teil 3a („Kotelettregion“), bei Ebern des LVGs Teil 2 („Schinkenregion“).

Auffällig ist, dass sich die Eber im relativen Magerweichgewebegehalt in der Bauchregion nicht erheblich (max. 1,23 %) von den Teilen 4, der „Schulterregion“, und 2, der „Schinkenregion“, (Boxberg, Düsse, Grub) bzw. Teil 1, der „Hinterfußregion“, Teil 3, der „Bauch- und Kotelettregion“ und Teil 4, der „Schulterregion“ (LVG) unterschieden und alle Herkunft im Bauch nahe an dem relativen Magerweichgewebegehalt des Teiles 5, also des Durchschnittswertes für die Summe aller Teile (1, 2, 3, 4, 3a, 3b) lagen. Bei Vergleich des MFA LPA mit dem MFA LPA des Bauches wird ebenfalls der hohe Magerweichgewebeanteil in der Bauchregion deutlich. Dadurch ist zu erkennen, dass die Eber zwar in der Bauchregion den höchsten relativen Fettgehalt besitzen, jedoch im relativen Magerweichgewebegehalt nicht viel von einigen anderen Regionen, wie der

„Schulterregion“ abweichen. Das bestätigt die gute Schlachtkörperzusammensetzung der Eber, gerade auch im Bauchteil, der auch nach Angaben anderer Autoren bei Ebern im Vergleich zu Kastraten weniger Fett besitzt (Dobrowolski *et al.*, 1995, Bauer, 2010).

5.1.4. Schlachtkörperwert anhand des Muskelfleischanteils

Der im DXA festgestellte Fettgehalt kann nicht vollständig mit Werten aus einer Zerlegung gleichgesetzt werden, obwohl nach den Ergebnissen von Scholz *et al.* (2002) hohe Beziehungen ($r^2=0,821$) bei Schlachtkörperhälften zu Zerlegewerten nachgewiesen werden konnten. Zu dem grobgeweblich ermittelten Fettgehalt der Zerlegung wird subkutanes und intermuskuläres Fett und Speck, die vorwiegend aus Wasser und Lipiden bestehen, sowie ein Teil der Schwarte (Rückenbereich) gewertet, während die DXA-Messung neben intermuskulärem und subkutanem Fett auch intramuskuläres Fett, Fett des Knochenmarks und die Schwarte mit einbezieht, und nur Lipide (Fettsäuren und Triglyzeride) als Fettgewebe gewertet werden (Scholz *et al.*, 2002). Nach Ergebnissen von Scholz *et al.* (2002) fiel der DXA-Fettgehalt dementsprechend um 8,7% niedriger aus als der grobgeweblich festgestellte Wert. Der DXA-Fettgehalt ist demnach nicht völlig mit dem in einer Zerlegung festgestellten Fettgehalt gleichzusetzen. Auch der im DXA gemessene Magerweichgewebeanteil kann nicht direkt mit den Muskelfleischanteilen einer grobgeweblichen Zerlegung verglichen werden, da der DXA-Magerweichgewebeanteil neben Muskelgewebe auch Sehnen, Faszien, Schwarten und nicht-knochenassoziierte Mineralstoffe beinhaltet und damit über dem „wahren Muskelfleischanteil“ liegt (Scholz *et al.*, 2002). Durch die „Schleißheimer Formel für Eber“ auf DXA-Basis (Bernau *et al.*, 2011) konnte aus den DXA-Daten der Muskelfleischanteil nach LPA-Richtlinien geschätzt werden.

Die im DXA gemessenen relativen Magerweichgewebegehalte der untersuchten Eber lagen zwischen 80,0% (LVG) bis maximal 88,7% (Boxberg) und waren signifikant von der Herkunft abhängig. Dies entspricht einem nach der Schleißheimer Formel für Eber (Bernau *et al.*, 2011) berechneten gesamten Muskelfleischanteil des Teils 5 (MFA LPA) von 60,35% für Düsse, 61,23% für

Boxberg, 61,32% für Grub und 56,96% für Eber des LVGs. Ein hoher Schlachtkörperwert, der von zahlreichen Autoren wie Dobrowolski *et al.* (1995), Bracher-Jakob (2000), Pauly *et al.* (2008, 2009), Babol und Squires (1995) und Lundström *et al.* (2009) beschrieben ist, wird im Muskelfleischanteil dieser Untersuchung für Eber der Herkunft Boxberg, Düsse und Grub bestätigt. Der Muskelfleischanteil nach LPA-Methodik der Eber liegt für Boxberg und Grub über, für Düsse bei den Ergebnissen von Dobrowolski *et al.* (1995), die aufgrund Zerlegung gesamter Eberschlachtkörper 60 % MFA feststellten. Nur die Eber des LVGs zeigten niedrigere MFA LPA. Diese ähneln Ergebnissen von Pauly *et al.* (2008), die nach Zerlegegewichten von Schulter, Lende und Schinken 57,3 % MFA bei Ebern analysierten, während Kastraten nur 52,6% MFA aufwiesen. Auch nach Zerlegeergebnissen von Dobrowolski *et al.* (1995), die bei Kastraten einen MFA von 54,7 % nachwiesen, liegen die MFA der LVG-Eber über denen der Kastraten. Eine andere Studie von Müller *et al.* (2010) stellte bei Ebern mittels Sondenmessung einen MFA von 58,4% fest, bei Kastraten 56,6%.

Zusammenfassend zeigten die in dieser Studie untersuchten Eber, bis auf Eber der Herkunft LVG, einen sehr guten Gesamt-Schlachtkörperwert. Die niedrigeren Muskelfleischanteile (nach LPA-Methode) der Eber aus dem LVG lagen aber über bzw. nicht unter den MFA-Werten von Kastraten anderer Studien (s.o.).

Mittels der zweiten Schleißeimer Formel für Eber (Bernau *et al.*, 2011) wurde der Muskelfleischanteil des Bauches berechnet. Dieser war signifikant von der Herkunft abhängig. Der MFA LPA Bauch lag bei den Ebern aus Boxberg bei 61,28%, aus Düsse bei 59,74%, aus Grub bei 60,95% und bei Ebern des LVGs bei 55,62%. Damit weichen Eber des LVGs durch einen signifikant geringeren MFA im Bauch von den anderen Herkünften ab. Die Eber aus Boxberg, Düsse und Grub entsprechen in ihrem MFA des Bauches Ergebnissen von Müller *et al.* (2010), die bei Ebern einen Fleischanteil von 60,4% im Bauch feststellten. Die Eber des LVGs zeigen mit ihrem niedrigen MFA in etwa die von Müller *et al.* (2010) festgestellten MFA „Bauch“ von Kastraten mit 55,7%. Die Eber haben demnach bis auf die Herkunft LVG einen hohen Muskelfleischanteil des Bauches.

5.1.5. Einfluss der Gewichtsgruppe auf die Weichgewebe-Schlachtkörperzusammensetzung

Die Gewichtsgruppe zeigte erwartungsgemäß auf den absoluten Magerweichgewebegehalt und den absoluten Fettgehalt einen signifikanten Einfluss. Eber der GWGR2 (95 kg) hatten in allen Teilen einen signifikant höheren absoluten Fett- und Magerweichgewebegehalt. Der relative Fett- und Magerweichgewebegehalt waren hingegen nicht signifikant von der Gewichtsgruppe abhängig. Nur tendenziell war bei allen Teilen in der GWGR2 eine Zunahme des relativen Fettgehaltes und eine Abnahme des relativen Magerweichgewebegehaltes zu erkennen.

Der gesamte Muskelfleischanteil (MFA LPA; %) der Schlachtkörper wurde in diesem Versuch nicht signifikant von der Gewichtsgruppe beeinflusst. In der GWGR1 lagen MFA LPA -Werte von 59,75 %, in der GWGR2 MFA von 60,18 % vor. Eine Studie von Adam *et al.* (2009) zeigte ebenfalls, dass Eber (Pietrain x F1 Sau; Gruppenhaltung) im Muskelfleischanteil (ermittelt nach LPA Maßen, Bonner Formel 04; % und FOM; %) dem Rückenspeck (mm) und im Speckmaß (FOM) in den Gewichtsgruppen 85 kg und 95 kg relativ konstant blieben. So zeigten Eber nach LPA-Maßen mit durchschnittlich 85 kg einen MFA 60,8 %, Eber mit 95 kg 61,3 % MFA (Adam *et al.* 2009).

Der Muskelfleischanteil des Bauches (MFA LPA Bauch) war ebenfalls nicht signifikant von der Gewichtsgruppe abhängig. In der GWGR1 hatten die Eber einen Mittelwert von 59,81%, in der GWGR2 58,98%. Damit blieben die Muskelfleischanteile des Bauches mit zunehmendem Gewicht weitgehend konstant. Adam *et al.* (2009) stellten keine großen Unterschiede im Bauchfleischanteil (nach Auto-FOM) zwischen zwei Gewichtsgruppen fest.

Die Eber zeigten damit auch im Bauch eine gute Schlachtkörperzusammensetzung, die mit zunehmendem Gewicht nur tendenziell an Muskelanteil abnahm.

Diese Ergebnisse bestätigen die von anderen Autoren (Preinerstorfer *et al.*, 2010) beschriebene gute Schlachtkörperzusammensetzung der Eber auch bei höheren Schlachtkörpergewichten.

Eine signifikante Interaktion zwischen Gewichtsgruppe und Herkunft konnte für das absolute Magerweichgewebe (g) und den MFA LPA (%) festgestellt werden. Für den relativen Magerweich- und Fettgewebegehalt war nur in den Teilen 1 und 3b eine Interaktion vorhanden. Der absolute Fettgehalt und der MFA LPA Bauch zeigten keine Interaktion zwischen Gewicht und Herkunft.

Auffällig war, wie bereits in Punkt 5.1.2. angesprochen, dass die Eber aus Düsse, die genetisch den Ebern aus Boxberg entsprachen, als einzige Herkunft in den Teilen 1 und 3b (=Teile mit Interaktion) eine signifikante Zunahme der relativen Fettgehalte und signifikante Abnahme der relativen Magerweichgewebeanteile in der Gewichtsgruppe 2 zeigten. Der MFA LPA (%) nahm in GWGR2 bei den Ebern aus Düsse ab, während er bei den anderen Herkünften zunahm oder konstant blieb. Die Ursache dafür, dass die Eber aus Düsse in der GWGR2 hohe Zunahmen an Fettgehalt und Abnahmen an Magerweichgewebe zeigten, könnte, wie in Punkt 5.2.1. dargestellt, mit der Haltung zusammenhängen (s.o.).

In den Teilen 1 und 3b zeigten die Eber des LVGs als einzige Herkunft in der Gewichtsgruppe 2 tendenziell niedrigere relative Fettgehalte und tendenziell höhere relative Magerweichgewebegehalte als in der GWGR2. Dadurch unterschieden sie sich von den anderen Herkünften, die in der GWGR2 prozentual an Fett zunahmen bzw. konstant blieben sowie prozentual an Magerweichgewebe abnahmen bzw. konstant waren. Dass die Eber des LVGs in der GWGR2 magerere Schlachtkörper besaßen, könnte damit zusammenhängen, dass sie, anders als die anderen Herkünfte, eine große genetische Vielfalt beinhalteten. Eber, die genetisch bedingt mehr Muskelfleisch ansetzten und schneller wuchsen, nahmen möglicherweise durch die vermehrte Muskelmasse schneller an Gewicht zu. Dies wird dadurch begünstigt, dass Muskelgewebe ($1,05\text{g/cm}^3$) schwerer als Fettgewebe ($0,94\text{g/cm}^3$) ist. Das bedeutet, dass Eber, die genetisch bedingt mehr Muskelfleisch ansetzen mit gleicher Volumenzunahme mehr an Gewicht zunehmen als Ebergenotypen mit geringerem Muskelfleischansatzvermögen. Folglich könnten Eber, die genetisch bedingt mehr Muskelfleischgewebe ansetzten ebenso schneller an Gewicht zugenommen haben und wurden deshalb eher der GWGR2 zugeordnet.

5.1.6. Knochenmineralgehalt und Knochendichte

Insgesamt zeigte die BMD zwischen den Herkünften in allen Teilen signifikante Unterschiede. Der BMC war bis auf Teil 3 und 3a signifikant von der Herkunft beeinflusst. Eber aus Grub zeigten in Teil 5, der Gesamtumrahmung, die signifikant niedrigsten BMC- und BMD-Werte, in den anderen Teilen tendenziell bis signifikant niedrigere BMD- und BMC-Werte als die Eber anderer Herkunft. Eber des LVGs hatten in Teil 5 den signifikant höchsten BMD und in den anderen Teilen signifikant bis tendenziell höhere BMD-Werte als die anderen Herkünfte. Der Unterschied im BMC und BMD zwischen den Ebern unterschiedlicher Herkunft ist möglicherweise durch eine unterschiedliche genetische Abstammung zu erklären, kann aber auch durch das Gewicht und die Fütterung beeinflusst worden sein. Eine unterschiedlich hohe Mineralstoffversorgung der Eber im Futter kann sich auf den BMC und BMD auswirken. So kann im Extremfall ein Calciummangel zu unzureichender Mineralisation des Knochens führen, wodurch sich die Osteoidsäume wegen der mangelnden Calcifizierung verbreitern können und Rachitis (wachsende Tiere) bzw. Osteomalazie (ausgewachsene Tiere) entstehen (Kaune, 2000).

Da die Eber aus Grub, die von allen Herkünften den geringsten BMC und BMD zeigten, im Durchschnittsgewicht über den Ebern aus Boxberg lagen, scheint der Einfluss des Gewichts bei den Ebern aus Grub nicht der Grund für die niedrigen BMD und BMC-Werte darzustellen.

Betrachtet man den BMC und BMD der Eber in Abhängigkeit vom Gewicht, ist zu erkennen, dass sie in der Gewichtsgruppe 2 erwartungsgemäß signifikant über den Werten der Gewichtsgruppe 1 lagen. Die unterschiedlichen Teilregionen wiesen dabei unterschiedlich hohe BMC- und BMD-Werte auf. Entsprechendes zeigten auch Ergebnisse von Mitchell *et al.* (2001a), die zwischen Schweinen (Eber, Börgen, Sauen) einer niedrigeren Gewichtsgruppe (62 kg) geringere BMC und BMD-Werte als in einer höheren Gewichtsgruppe (92 kg) feststellten. Mit zunehmendem Gewicht konnten sie für einzelne Körperregionen unterschiedlich große Zunahmen an BMC und BMD nachweisen und zeigten auch in diesem Versuch festgestellte Unterschiede der BMD und BMC in einzelnen Teilregionen der Schlachtkörper auf. Die Bauchregion, die in diesem Versuch die geringste BMD aufwies, zeigte auch bei Mitchell *et al.* (2001a) die geringste BMD.

Dass Eber in der GWGR 2 höhere BMD- und BMC-Werte hatten, ist dadurch erklärbar, dass mit zunehmendem Gewicht die Knochenmasse und damit die BMC-Masse mit der Menge des Knochens zunimmt und sich der Knochenbau durch metabolische Stoffwechselvorgänge an die Knochenbelastung anpasst. Permanent wirkende mechanische Kräfte bewirken dadurch eine Verstärkung der Knochenwand (Liebich *et al.*, 2005) und damit eine höhere BMD.

Allgemein können Unterschiede im Knochenaufbau durch das Geschlecht, das Körpergewicht, die Fütterung, den Gesundheitszustand, den Hormon- und Vitaminstoffwechsel und genetische Disposition beeinflusst werden (Scholz *et al.*, 2004).

5.2. Versuch 2

5.2.1. Sensorische Untersuchung und Androstenonbestimmung

Da drei der im Kaltansatz geruchsauffälligen Eber nicht mittels Ausschmelzprobe geprüft wurden, werden die Ergebnisse des Kaltansatzes als Maß für die Verwertbarkeit der Schlachtkörper gewertet. Würde man alle Eber dieser Studie, die nach dem Kaltansatz geruchspositiv bewertet wurden, verwerfen müssen, hätte man einen Verlust von 13 % der geschlachteten Eber, nach der Ausschmelzprobe immerhin noch 10,6 %. Dies ist aus wirtschaftlicher Sicht zu bedenken, wenn über eine Ebermast diskutiert wird, und muss gegen die wirtschaftlichen Vorteile einer Ebermast abgewogen werden, die in den entfallenden Kosten für Kastration und kastrationsbedingte Komplikationen (Bonneau, 1998; Fredriksen *et al.*, 2009), besseren Mastleistungen (Hoppenbrock, 1995; Lundström *et al.*, 2009) und magereren Schlachtkörpern (Dobrowolski *et al.*, 1995; Pauly *et al.*, 2008; Lundström *et al.*, 2009) liegen. Allerdings handelt es sich hierbei um eine subjektive Einschätzung von Ebergeruch, was bedeutet, dass eine mögliche Erwartungshaltung auf Ebergeruch Einfluss gezeigt haben könnte. Zudem ist die Definition der VO EG 854/2004 Anhang I, Abschnitt 2 Kapitel V von „ausgeprägtem Geschlechtsgeruch“ nicht genauer definiert, was bedeutet, dass nicht alle im Kaltansatz geruchsauffälligen Eber bei geeigneter Verarbeitungsmethode vollständig verworfen werden müssten. Andererseits könnte, da es sich bei der Einschätzung von Ebergeruch um eine subjektive Wahrnehmung handelt und ein

„ausgeprägter Geschlechtsgeruch“ nicht objektiv eindeutig festgelegt ist, theoretisch auch der Fall eintreten, dass Eber mit „wirklich“ ausgeprägtem Ebergeruch nicht, wie vorgeschrieben, ausgesondert werden.

Eine andere Studie von Fischer und Weiler (1995), in der drei weibliche androstenonsensible Prüferinnen urteilten, bewertete in einer „Kochprobe“ mit im Glas erhitztem Muskelfleisch Eber unter 80 kg sogar zu 48,7 % und über 80 kg zu 61,4 % als erheblich bis stark nach Androstenon riechend. Der Gesamtgeruch von erhitzten Kammfettproben wurde in dieser Studie mit 76,4 % (<80 kg) und 78,4% (>80 kg) als erheblich bis stark eingestuft. Allerdings ist anzumerken, dass bei dieser Beurteilung auch 25 % (<80 kg) und 23,3% (> 80 kg) der Kastraten mit erheblichem bis starkem Ebergeruch beurteilt wurden, was von den Autoren dadurch begründet wurde, dass ungewürztes, erhitztes Schweinefett immer Geruchsempfindungen auslöse, die vorwiegend als unangenehm empfunden würden (Fischer & Weiler, 1995). In der hier vorgelegten Untersuchung trat eine ähnlich fragliche Einschätzung auf, bei der möglicherweise die Erwartung auf Ebergeruch eine Rolle spielte. Neben den untersuchten 123 Eberschlachtkörpern wurde versehentlich auch der Schlachtkörper eines Kastraten in die sensorische Untersuchung gegeben und in der Mikrowellendiathermie als auffällig beurteilt. Diese Tatsache zeigt, wie subjektiv die Beurteilung des Ebergeruchs ist.

Eine andere Untersuchung von Müller *et al.* (2010) zeigte in der sensorischen Prüfung von auf 50 °C Kerntemperatur erhitzten Fettproben (Nackenfett) und einer Beurteilung mit 1 (kein Geruch), 2 (leichter Geruch) oder 3 (starker Geruch) eine Gesamtbeurteilung der Eber mit 1,85 und der Kastraten mit 1,15. Bei den im Schlachthof durchgeführten Kochproben waren alle geprüften Eber als geruchsunauffällig beurteilt worden.

Eine andere Studie gibt an, nur 2-4 % der Eberschlachtkörper seien geruchsauffällig (Götz *et al.*, 2009), während wiederum andere Autoren von 10-75 % geruchsbelasteter Eber sprechen (Preinerstorfer *et al.*, 2010).

Bei Studien mit sensorischen Untersuchungen gibt es also große Differenzen in der Einschätzung der Häufigkeit des Ebergeruchs, was wahrscheinlich größtenteils auf die subjektive Wahrnehmung von verschiedenen Prüfpersonen zurückzuführen ist, aber auch durch verschiedene Vorgehensweisen bei Prüfverfahren begünstigt wird. Dies wiederum macht es eigentlich unmöglich objektiv zu beurteilen, welcher Anteil der Eber wirklich geruchsauffällig ist. Damit eine Grundbasis für möglichst objektive

Aussagen über den Anteil von Ebern mit Ebergeruch besteht, wäre es sinnvoll, dass die Prüfungen an den verschiedenen Schlachthöfen und Laboren alle nach dem gleichen Verfahren erfolgen würden, beispielsweise nach den detaillierten Angaben der AVV LmH, um in diesem Punkt eine gleiche Ausgangslage zu schaffen. Dies ist auch für die Androstenonmessung wünschenswert, da unterschiedliche Studien andere Gewebe zur Androstenonkonzentrationsbestimmung heranziehen, wodurch eigentlich kein Vergleich der Studienergebnisse gegeben ist. So zeigten Coker *et al.* (2009) gravierende Unterschiede der Androstenonwerte je nach untersuchtem Gewebe. Gleiche Tiere in sechs untersuchten Gewichtsgruppen zeigten im Fettgewebe einen höheren Androstenongehalt als im Magergewebe.

Zudem erscheinen neben einer verbindlichen Vereinheitlichung der Vorgehensweise für sensorische Analysen die Schulungen für das Prüfpersonal sinnvoll, und als beste Lösung wäre die elektronische Nase anzustreben, durch die erst eine objektive Beurteilung des Ebergeruchs erfolgen kann. Studien, die sich mit der Entwicklung und Brauchbarkeit elektronischer Nasen befassen, wie Veestergard *et al.* (2006) oder Haugen (2006) bzw. Haugen *et al.* (2012), stellten signifikante Korrelationen zwischen den Signalen einer „elektronischen Nase“ und den Androstenon- und Skatolkonzentrationen fest. Sie sehen darin zukünftig eine Option Eber mit Geruch am Schlachtband auszusortieren, wobei es aber nach Einschätzung der Autoren bis dahin noch einer Weiterentwicklung der Geräte bedürfe (Haugen, 2006; Vestergaard *et al.*, 2006). Zudem müssten für den Erfolg einer elektronischen Nase alle Komponenten des Ebergeruchs festgestellt werden (Haugen, 2010).

Weitere Untersuchungen, durch welche Stoffe der Ebergeruch verursacht wird, erscheinen nach den Ergebnissen dieser Studie nötig, da zwar im Mikrowellendiathermieverfahren auffällige Eber einen signifikant höheren Androstenongehalt zeigten als die geruchsun auffälligen und damit ein Zusammenhang zwischen Ebergeruch und Androstenongehalt bestätigt wird, einige Eber aber trotz hoher Androstenonwerte (bis 11,5 mg/kg) im Mikrowellendiathermieverfahren geruchsun auffällig waren. Andere Eber wiederum zeigten trotz niedriger Androstenongehalte einen auffälligen Ebergeruch. So war zwar ein signifikant höherer Androstenongehalt bei MWD-auffälligen Ebern nachweisbar, aber 60 % der Eber mit einer Androstenonkonzentration von über 10

mg/kg waren in der MWD sensorisch unauffällig und 20% der Eber mit einem Androstenongehalt von unter 1 mg/kg Fett zeigten trotz der geringen Androstenonkonzentration Geruchsabweichungen. Adam (2009) kam zu einem ähnlichen Ergebnis. In seiner Untersuchung stellte er ebenfalls fest, dass zwar mit steigendem Androstenongehalt die Häufigkeit geruchsbelasteter Schlachtkörper zunahm, aber von Testpersonen auch bis zu 26 % der Proben mit geringen Androstenonkonzentrationen als unangenehm bis sehr unangenehm beurteilt wurden. Andere Studien zeigten zudem nur geringe Korrelationen zwischen der Androstenonkonzentration und dem Ebergeruch. So ermittelten Nold *et al.* (1997) zwischen dem sensorischen Urteil trainierter Tester und der chemisch ermittelten Androstenonkonzentration eine Korrelation von nur $r=0,15$, während Lundström *et al.* (1988) immerhin eine Korrelation von $r=0,53$ zwischen Androstenon und Ebergeschmack im Fett zeigten.

Ein Zusammenhang zwischen Androstenongehalt und Ebergeruch ist nach Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung und denen von Adam *et al.* (2009) gegeben, jedoch ist die Höhe der Androstenonkonzentration alleine kein zuverlässiger Wert, um das Auftreten von Ebergeruch zu bestimmen. Da mit höheren Androstenonkonzentrationen auch die Wahrscheinlichkeit von Ebergeruch zunimmt, erscheint es möglich, dass Androstenon in Kombination mit anderen Substanzen zu Geruchsabweichungen führt. Eine Untersuchung von Müller *et al.* (2010) zeigte, dass Fett von Ebern dann als stark unangenehm beurteilt wurde, wenn hohe Androstenonkonzentrationen in Kombination mit hohen Skatol- und Indolgehalten auftraten. Dies erscheint eine mögliche Kombination an Geruchsstoffen zu sein, die jedoch nicht erklärt, warum Eber mit niedrigen Androstenonkonzentrationen ebenfalls Geruchsabweichungen zeigen können. Pauly *et al.* (2010) vermuteten, dass bisher noch unbekannte Komponenten zum Auftreten des Ebergeruchs beitragen.

Welche Stoffkombinationen den Ebergeruch letztendlich auslösen können, muss in weiteren Studien untersucht werden, da sonst die Umsetzung einer elektronischen Nase durch das Erkennen einer Stoffkonzentrationsgrenze nicht möglich erscheint. Das alleinige Erkennen eines Androstenongrenzwertes ist nach Ergebnissen dieser Studie nicht ausreichend um Ebergeruch auszuschließen, denn durch eine reine Beurteilung der Androstenonkonzentration können sowohl falschpositive als auch falschnegative Ergebnisse von Ebergeruch entstehen.

Das Schlachtdatum zeigte auf die Höhe der Androstenonkonzentration keinen signifikanten Einfluss. Somit war keine Beeinflussung des Androstenonwertes durch jahreszeitliche Haltungsunterschiede, wie Temperatur, Licht und Lüftung gegeben. Dies entspricht nicht den Ergebnissen, die Pauly *et al.* (2009) erhielten. Im Offenfrontstall gehaltene Eber (Schweizer Landrasse, Schweizer Edelschwein) zeigten - im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung - saisonal signifikante Unterschiede in der Androstenonkonzentration. Tiere, die im März und April geschlachtet wurden, hatten in Rückenfettproben signifikant ($p < 0,05$) höhere Androstenonwerte als Eber, die im Mai oder Oktober geschlachtet wurden. Wahrscheinlich können die Unterschiede zu den Ergebnissen von Pauly *et al.* (2009) in Bezug auf den saisonalen Einfluss durch Unterschiede in der Aufstallungsart erklärt werden. Denn während bei Pauly alle 1094 Eber in Offenfrontställen gehalten wurden und damit direkt jahreszeitliche Einflüsse wahrnahmen, wurden in der vorliegenden Studie über die Hälfte (80 Tiere) der 123 Eber in konventionellen Mastställen gehalten. 31 Tiere waren im Außenklimastall/Mehrzweckstall und lediglich 13 Tiere in Auslaufhütten, also mit direkter Wahrnehmung der saisonalen Veränderungen untergebracht.

5.2.2. Abhängigkeit des Androstenons vom Schlachtgewicht

Das Schlachtgewicht zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den Androstenongehalt. Niedrigere Schlachtgewichte wiesen aber einen tendenziell geringeren Androstenongehalt (mg/kg) als die höheren auf. Die Eber der Gewichtsgruppe 1 hatten den geringsten Androstenongehalt, Eber der Gewichtsgruppe 2 einen höheren Androstenongehalt als GWGR1, und Gewichtsgruppe 3 den höchsten. Dieses Ergebnis bekräftigt ähnliche Ergebnisse anderer Autoren wie Weiler *et al.* (1995), die feststellten, dass in einer höheren Gewichtsgruppe (115 kg) der Anteil der Eber mit über $0,5 \mu\text{g}$ Androstenon/g Fett signifikant über dem Anteil der niedrigeren Gewichtsgruppe (95 kg) lag. Aldal *et al.* (2005) fanden bei durchschnittlich 62 kg Lebendgewicht mit $0,81 \mu\text{g}$ Androstenon /g Fett signifikant höhere Androstenonwerte als bei Ebern mit einem niedrigeren Gewicht (52-58 kg; $0,20\text{-}0,23 \mu\text{g/g}$ Fett). Untersuchungen der

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen aus Düsse zeigten sowohl bei Gruppen- als auch bei Einzelhaltung in der höheren Gewichtsgruppe (95 kg) höhere Androstenonwerte als bei geringerem Gewicht (85 kg). So lagen bei 85 kg 40,6% der Eber (Gruppenhaltung) über einem Wert von 0,5 µg/kg Androstenon, bei 95 kg 57,8 % (Adam *et al.*, 2009).

Da die Eber nach Ergebnissen dieser und anderer Studien (s.o.) mit zunehmenden Schlachtgewichten höhere Androstenonwerte aufweisen, wäre ein geringeres Schlachtgewicht, wie es beispielsweise bei der Ebermast in Großbritannien und Irland gehandhabt wird, wo die Schweine mit maximal 100 kg Lebendgewicht geschlachtet werden (Preinerstorfer 2010), eine vielversprechende Option, um die Anzahl der Schlachtkörper mit Ebergeruch zu reduzieren.

Allerdings muss hierbei beachtet werden, dass nach Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung wie auch der Untersuchung von Adam (2009) der Ebergeruch nicht allein durch die Höhe des Androstenongehalts definiert werden kann.

5.2.3. Abhängigkeit des Androstenons von der Genetik

Die Vatergenotypen zeigten einen signifikanten Einfluss auf den Androstenongehalt der Eber. LB_PiDuPiHa und Pi zeigten die niedrigsten Androstenongehalte (Logandro $3,02 \pm 0,45$ und $3,09 \pm 0,32$) gefolgt von DuLB ($3,22 \pm 0,50$) und Pi_WSDuLB ($3,58 \pm 1,09$). Die höchsten logarithmierten Androstenonkonzentrationen hatten DuSH ($4,09 \pm 0,45$), Pilb ($4,20 \pm 0,44$) und LB ($4,30 \pm 0,43$). Der genetische Einfluss auf den Androstenongehalt, der auch von Tholen und Frieden (2010b) mit einer hohen Heritabilität ($h^2 = 0,5$) beschrieben ist, wird bestätigt und bekräftigt die Möglichkeit durch Einsatz speziell selektierter Genotypen den Ebergeruch zu reduzieren.

Andere Studien, wie Frieden *et al.* (2011), schätzten ebenfalls eine Verringerung des Ebergeruchs durch Zucht als vielversprechend ein und meinten, es sei möglich innerhalb von 8-10 Jahren den Anteil der Eber, der über 1000 ng Androstenon/g aufweist, von 20% auf 5 % zu senken. Da Eber aus Pi-Vaterrasse-Anpaarungen in der vorliegenden Untersuchung sowohl zu den Genotypen mit den geringsten Androstenonwerten als auch zu den Genotypen mit den höchsten

Muskelfleischanteilen gehörten, erscheinen sie für die Ebermast von den hier untersuchten Genotypen als besonders geeignet.

5.2.4. Schlachtkörpermerkmale und Fleischqualität

Die Eber haben, unabhängig vom Auftreten des Ebergeruchs in der MWD, gemessen an den pH-Werten und der Leitfähigkeit eine sehr gute Fleischqualität. Sie zeigten im MFA gesamt und Bauch eine signifikante Abhängigkeit vom Vatergenotyp. So hatten Eber der Vatergenetik Pi ($59,79 \pm 1,18$), DuLB ($59,89 \pm 1,77$) und DuSH ($58,13 \pm 1,52$) die höchsten Gesamt-Muskelfleischanteile, Pilb ($50,57 \pm 1,47$) und LB ($50,47 \pm 1,36$) die geringsten. Pi, DuLB und DuSH zeigten damit hohe MFA, die auch von anderen Studien wie Dobrowolski *et al.* (1995) mit 60 % MFA (Zerlegung), Pauly *et al.* (2008) mit 57,3 % (Schulter, Lende und Schinken) oder Müller *et al.* (2010) mit 58,4 % (MFA Sonde), festgestellt wurden. Damit wären dem Schlachtkörperwert angemessene Preise für als tauglich befundenes Eberfleisch gerechtfertigt. Die große Diskrepanz zwischen der Bezahlung von Kastraten mit durchschnittlich 1,63 €/kg Schlachtgewicht bei Handelsklasse E, und der Bezahlung der Eber ohne eine Handelsklasseneinteilung mit durchschnittlich 0,73 €/kg Schlachtgewicht, (Bayerisches Wochenblatt, 22.07.2011), ist nach Kriterien des Schlachtkörperwertes und der Fleischqualität (pH-Wert, Leitfähigkeit) nicht gerechtfertigt. Eine Einteilung in Handelsklassen und eine dementsprechende Bezahlung scheint für die Etablierung einer Ebermast unerlässlich. Nach Einschätzung von Müller *et al.* (2010) ist für Eber, wenn nach der SEURO-Referenzmaske bezahlt wird, ein Schlachterlös zu erwarten, der dem der Sauen entspricht.

Eine Einteilung der Eberschlachtkörper in Handelsklassen könnte beispielsweise in Anlehnung an die Handelsklassen der Kastraten erfolgen mit Zusatzbezeichnungen für Preisabzüge bei Ebern mit Geruchsabweichungen. Diese Schlachtkörper mit Geruchsabweichungen könnten dann gegebenenfalls anders weiterverarbeitet oder verworfen werden. Es ist allerdings ein möglichst objektives Verfahren, wie die elektronische Nase, zur Feststellung des Ebergeruchs notwendig, da durch eine

subjektive Einschätzung, wie in Punkt 5.2.1. genauer besprochen, kein sicheres Urteil über das Auftreten von Ebergeruch zu fällen ist.

5.2.5. Schlachtkörpermerkmale und Fleischqualität in Abhängigkeit von den sensorischen Ergebnissen

Zu keinem der untersuchten Schlachtkörpermerkmale (MFA ges.; MFA Bauch; SSP; SpB; Fettfläche; Fleischfläche; FFV; Länge) oder der Fleischqualität (pH24KD; pHK1; pH24S1; LFS24; LFK24) ist eine signifikante Abhängigkeit zu dem in der Sensorik (MWD) festgestellten Ebergeruch vorhanden. Das heißt, auch geruchsbelastete Schlachtkörper zeigten eine sehr gute Schlachtkörperzusammensetzung und Fleischqualität, wenn allein die objektiv messbaren Parameter betrachtet werden. Wenn das geruchsbelastete Fleisch also weiterverarbeitet werden sollte, wird ein bis auf den Geruch hochwertiger Schlachtkörper verarbeitet. Es wäre demnach sinnvoll und wünschenswert, wenn geruchsbelastetes Fleisch, das - wie in dieser Studie gezeigt - bis auf den Geruch eine hervorragende Fleischqualität aufweist, weiterverarbeitet werden könnte. Einige Autoren (Walstra, 1974; Dehnhard *et al.*, 1995) beschreiben Verarbeitungsmethoden, die das geruchsbelastete Fleisch verzehrsfähig machen sollen, oder es könnte in der Tierfutterherstellung Verwendung finden. Eine weitere Option wäre nur das magere Fleisch des Schlachtkörpers weiterzuverarbeiten und das androstenon- und skatolreiche Fettgewebe zu verwerfen. So zeigten sich, wie bereits in Punkt 2.7.1. (Ebergeruch und seine Akzeptanz in Produkten) erwähnt, als Minutensteaks gebratene magere Fleischstücke in der Bewertung durch 145 Probanden, von denen 53% weiblich waren, keine signifikanten Unterschiede zwischen Ebern, Kastraten oder Sauen (Trautmann *et al.*, 2011). Das zeigt die Möglichkeit, magere Schlachtkörperteile der Eber zu verwerten.

Nach dem EU-Recht muss derzeit nur das Fleisch, das „ausgeprägten Geschlechtsgeruch“ besitzt, verworfen werden (VO 854/2004, Anhang1 Abschnitt 2 Kapitel V). Fleisch mit geringeren Geruchsabweichungen, das bis auf den Geruch von der festgestellten hervorragenden Qualität ist, vollständig zu verwerfen,

erscheint, abgesehen davon, dass es gesetzlich nicht vorgeschrieben ist, ökonomisch und ethisch gesehen nicht sinnvoll.

Durch die Bemühungen den Ebergeruch durch mögliche niedrigere Mastendgewichte, Zucht und Fütterung zu reduzieren wird zudem das Auftreten von stark geruchsbelastetem Fleisch zukünftig höchstwahrscheinlich deutlich verringert werden können und die Verwertbarkeit der Schlachtkörper steigen, wodurch der hervorragenden Eberfleischqualität zunehmend Bedeutung zukommen wird.

5.2.6. Schlachtkörpermerkmale und Fleischqualität in Abhängigkeit von dem Gewicht

Betrachtet man die Schlachtkörperlänge, zeigten die Eber der GWGR 3 (1018 mm) signifikant längere Schlachtkörper als die Eber der GWGR2 (974 mm) und der GWGR1 (949 mm). Dies ist dadurch erklärbar, dass Tiere, die schneller wachsen, sowohl an Gewicht als auch an Körperlänge zunehmen und deshalb in GWGR3 eingeordnet wurden. Die Länge der Schlachtkörper ähnelt in GWGR3 Ergebnissen von Müller *et al.* (2010), die für Eber mit Schlachtgewichten um 94 kg eine Länge von 103,1 cm, für Kastraten eine Länge von 100,0 cm feststellten.

Der signifikant höhere Muskelfleischgehalt des gesamten Schlachtkörpers und des Bauches und die signifikant geringere Seitenspeckdicke und Speckmaß B bei Ebern mit einem Schlachtgewicht der GWGR1 und 2 (unter 85 kg bis 90 kg) im Vergleich zu GWGR3 (über 90 kg) zeigen die sehr gute Schlachtkörperzusammensetzung in der niedrigeren Gewichtsgruppe. Dies macht deutlich, dass bei der Möglichkeit den Ebergeruch durch niedrigere Schlachtgewichte zu reduzieren ein hoher Schlachtkörperwert für die Eber mit geringeren Schlachtgewichten zu erwarten wäre. Der gute Schlachtkörperwert der Eber mit geringeren Gewichten spricht neben der Reduzierung der Androstenonkonzentrationen für eine Schlachtung der Eber mit geringeren Lebendgewichten.

5.2.7. Schlussfolgerung

Betrachtet man die Ergebnisse von Versuch 1 und 2, kann davon ausgegangen werden, dass im Falle einer Ebermast hervorragende Schlachtkörperwerte zu erwarten sind. Zudem ist - bis auf den gelegentlich auftretenden Ebergeruch - (in diesem Versuch 13% im Kaltansatz) – eine sehr gute Fleischqualität gegeben. Allerdings muss, wie in Versuch 1 gezeigt, bei einer Ebermast auf die Haltungsbedingungen, die Fütterung und die Genetik geachtet werden, durch die der Schlachtkörperwert optimiert werden kann. Eber aus der Vatergenetik Pietrain erscheinen von den untersuchten Genotypen dabei für eine Ebermast besonders geeignet, da sie zu Schlachtebern mit den besten Schlachtkörperwerten und geringsten Androstenonkonzentrationen gehörten.

Daneben hat sich in Versuch 2 gezeigt, dass der Ebergeruch nicht allein durch die Höhe des Androstenonwertes zu definieren ist, der Androstenonwert aber bei MWD-geruchsauffälligen Tieren signifikant höher war. Der Androstenonwert wiederum war signifikant von der Vatergenetik abhängig und zeigte tendenziell geringere Werte bei niedrigerem Schlachtgewicht. Hieraus bestätigt sich die Möglichkeit den Ebergeruch durch gezielte Zucht und Senkung des Schlachtgewichts zu reduzieren.

Da zudem durch die Art der Fleischzubereitung bzw. durch die Verarbeitung magerer Teilstücke und durch die Art der Haltung und Fütterung der Ebergeruch zusätzlich verringert werden kann und - wie in dieser Studie nachgewiesen - ein hoher Schlachtkörperwert mit guter Fleischqualität vorliegt, stellt die Ebermast eine gute Alternative zur betäubungslosen Ferkelkastration dar und erfüllt die zukünftigen EU-Vorgaben.

6. Zusammenfassung

Da in der EU die betäubungslose chirurgische Kastration männlicher Ferkel, die vorwiegend der Verhinderung von Ebergeruch dient, verboten werden soll, wird die Ebermast als mögliche Alternative zur Kastration diskutiert. In dieser Studie wurden deshalb in 2 Versuchen Eberschlachtkörper untersucht, um Informationen über die Schlachtkörperzusammensetzung, die Fleischqualität und das Auftreten von Ebergeruch zu erhalten.

In einem ersten Versuch wurden 83 Schlachtkörperhälften mit Gewichten zwischen 69,8 bis 115,8 kg von vier verschiedenen Herkünften mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (Gerät: GE Lunar DPX-IQ) analysiert. Hierzu wurde der gescannte Schlachtkörper visuell in 5 Teilregionen unterteilt und deren Zusammensetzung aus Magerweichgewebe, Fettgewebe und Knochenmineralgehalt, sowie aus Muskelfleischanteil (aus DXA-Daten berechnet) in Abhängigkeit von der Herkunft und dem Gewicht untersucht. Dazu waren die Schweine in zwei Gewichtsgruppen eingeteilt (GWGR1: ≤ 90 kg, GWGR2: > 90 kg).

In einem zweiten Versuch wurden 123 Eberschlachtkörper verschiedener Genotypen aus 7 unterschiedlichen Vatergenotypen mittels Zerlegedaten (MFA ges., MFA Bauch, SSP, SpB, FFV, Fettfläche, Fleischfläche, Länge) und Fleischqualitätsmerkmalen (pH-Wert des Koteletts 1 und 24 h p.m., pH-Wert des Schinkens 24 h p.m., Leitfähigkeit des Koteletts und Schinkens 24 h p.m.) untersucht. Den Schlachtkörpern wurde aus dem hinteren Backenbereich eine Gewebeprobe von ca. 15 cm Durchmesser entnommen, die Fettgewebe, Muskelgewebe und Anteile der Speicheldrüse beinhaltete. An diesen Proben wurde der Androstenongehalt im Fett festgestellt und eine sensorische Untersuchung mit Mikrowellendiathermie, Kaltansatz und Ausschmelzprobe durchgeführt. Die Parameter der Schlachtkörperzusammensetzung, der Fleischqualität und Ergebnisse der Androstenonuntersuchung wurden in Abhängigkeit vom Schlachtgewicht, den Vatergenotypen und den Ergebnissen aus der sensorischen Untersuchung (MWD) analysiert. Die Eber waren dafür in drei Schlachtgewichtsgruppen eingeteilt (SGW1: ≤ 85 kg, SGW2: > 85 kg und ≤ 90 kg, SGW3: > 90 kg).

In beiden Versuchen zeigten die Eber einen hohen Schlachtkörperwert mit hohen Muskelfleischanteilen, wobei in Versuch 1 die Eber der Herkunft LVG durch einen

schlechteren Schlachtkörperwert als die Eber anderer Herkunft auffielen. Dieser kann durch Fütterungseinflüsse und genetische Veranlagung erklärbar sein. Insgesamt zeigte die Herkunft in Versuch 1 einen signifikanten Einfluss auf die Schlachtkörperzusammensetzung, was die Bedeutung der Genetik, Fütterung und Haltung für eine gute Schlachtkörperzusammensetzung verdeutlicht. Die Bauchregion war das Teilgebiet mit dem höchsten relativen Fettgehalt, der je nach Herkunft zwischen 10,4% (Boxberg) und 21,3% (LVG) lag. Die „Kotelettregion“, Teil 3a, war bis auf Eber des LVGs das Teil mit dem höchsten relativen Magerweichgewebegehalt (Boxberg: 91,75%, Düsse: 89,88%, Grub: 91,49%, LVG: 81,79%), während bei Ebern des LVGs Teil 2, die „Schinkenregion“ (82,23%), den höchsten Magerweichgewebegehalt hatte. Die GWGR zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den Schlachtkörperwert.

Bei der sensorischen Untersuchung in Versuch 2 waren 22,8% der Eber in der MWD geruchsauffällig, diese wurden einem Kaltansatz unterzogen. Im Kaltansatz waren noch 13 % der 123 Eber auffällig, in der Ausschmelzprobe noch 10,6%.

Der Androstenongehalt war signifikant von der Vatergenetik abhängig. Eber der Vatergenetik LB_PiDuPiHa und Pi zeigten die niedrigsten Androstenongehalte (Logandro $3,02 \pm 0,45$ und $3,09 \pm 0,32$). Da Eber aus Pi-Vatergenetik auch zu den Ebern mit den höchsten MFA gehörten, erscheinen sie von den untersuchten Vatergenotypen für die Ebermast besonders geeignet. Der Androstenongehalt der MWD-auffälligen Eber war signifikant höher als bei den geruchsun auffälligen Tieren, jedoch traten hohe Androstenongehalte auch bei geruchsun auffälligen Tieren auf, wie auch Ebergeruch bei Tieren mit geringen Androstenonkonzentrationen festgestellt werden konnte. Dies zeigt, dass der Androstenonwert alleine keine Aussage über das Auftreten von Ebergeruch zulässt, aber ein Zusammenhang von Ebergeruch und Androstenongehalt gegeben ist.

Die Eber zeigten auch in Versuch 2 einen guten Schlachtkörperwert und gute Fleischqualität. Der Schlachtkörperwert war dabei signifikant von der Vatergenetik abhängig, wobei Eber, die väterlicherseits von DuLB und Pi abstammten, die höchsten MFA aufwiesen (59,9% bzw. 59,8%).

In Versuch 2 war eine signifikante Abhängigkeit des Schlachtkörperwertes (MFA ges., MFA Bauch) vom Schlachtgewicht zu beobachten, indem Eber mit geringeren Schlachtgewichten einen signifikant höheren MFA aufwiesen (MFA ges.: SGW 1

56,86%, SGW2: 56,76%, SGW3: 54,54%). Dies würde einer Reduzierung der Androstenonkonzentration durch geringere Schlachtgewichte entgegenkommen. Ergebnisse der MWD zeigten weder auf den Schlachtkörperwert noch auf die Fleischqualität eine signifikante Auswirkung, was bedeutet, dass auch geruchsbelastete Schlachtkörper eine gute Schlachtkörperzusammensetzung aufweisen.

Da die Eber in beiden Versuchen eine gute Schlachtkörperzusammensetzung zeigten, eine gute Fleischqualität aufwiesen und der Ebergeruch durch Maßnahmen bei der Fleischverarbeitung, durch Verwendung von magerem Fleisch, durch Schlachtgewichtsreduktion, durch züchterische Selektion und durch Haltung/Fütterung reduziert werden kann, erscheint die Ebermast als eine gute Alternative zu der betäubungslosen Ferkelkastration.

7. Summary

In the “European Declaration on alternatives to surgical castration of pigs”, the EU decided that the surgical castration of male piglets without any anaesthesia will be banned in the future. Therefore, it is necessary to look for alternatives to surgical castration of male piglets, which is currently the most commonly used method to prevent boar taint. An alternative would be to raise entire male pigs. The aim of this study was to get information about the body composition, the meat quality and the incidence of boar taint in entire male pig carcasses.

In a first trial, 83 half boar-carcasses from four origins were scanned by dual-energy X-ray absorptiometry (GE Lunar DPX-IQ). The carcasses weighed between 69,8 and 115,8 kg. The scanned carcasses were visually divided into 5 regions and the composition of soft lean tissue, fat tissue, bone mineral content and muscle content (calculated from DXA data; %) depending on weight and origin were analyzed. Therefore the pigs were divided into two weight groups (GWGR1: ≤ 90 kg, GWGR2: > 90 kg).

In a second trial, 123 half boar-carcasses from 7 different sire genotypes were analyzed based on dissection results (MFA ges. = lean percentage carcass, MFA Bauch = lean percentage belly, SSP = side fat depth, SpB = fat depth position B, FFV = fat-to-meat-ratio, fat area, meat area) and meat quality parameters (pH of the loin eye 1 and 24 h p.m. and pH of the ham 24 h p.m.). In addition, a tissue sample of the jaw region with fat, muscle and salivary gland was taken. In this tissue sample, the androstenone concentration was measured and a sensory test with microwave diathermy (MWD), cold measurement and melt probation was arranged. The parameters of the carcass composition, meat quality and the measured androstenone concentrations were determined in proportion to the weight, the sire genotypes and the results of the sensory tests. For this purpose, the carcasses were divided into three slaughter weight groups (SGW1: ≤ 85 kg, SGW2: > 85 kg und ≤ 90 kg, SGW3: > 90 kg).

In the two trials, the boars had a high carcass quality with high meat percentage. The origin showed a significant effect on carcass quality. The boars with LVG origin had a lower carcass quality than the others. Different feeding patterns and genetic predisposition are possible reasons for these differences in the carcass

composition. Thus, the importance of genetic predisposition, feeding and husbandry factors was shown.

The „belly region” was the part with the highest relative fat content (%), which was between 10,4% and 21,3%. Except for LVG boars, the „loin eye region”, (DXA part 3a) was the part with the highest relative lean content (Boxberg: 91,75%, Düsse: 89,88%, Grub: 91,49%, LVG: 81,79). LVG boars had the highest lean content (82,2%) in their “ham region”. The carcass composition depended not significantly on the GWGR.

In the second trial, the sensory test after MWD showed that 22,8% of the boars had off taint. The tissue samples with “boar taint” were taken into „cold measurement”. There were 13% with off taint. After the melt probation, 10,6% of the 123 reviewed boars showed still boar taint.

The androstenone concentration depended significantly on the sire genotype. Boars of the sire genotype LB_PiDuPiHa and Pi showed the lowest androstenone concentrations (Logandro $3,02 \pm 0,45$ und $3,09 \pm 0,32$). As boars of the Pi genotype also had high meat percentages, it seems that out of the genotypes analyzed, the sire genotype Pi is particularly suitable for fattening entire male pigs.

“Taint positive” boars after MWD had a significantly higher androstenone concentration than those without off taint. But there were also boars without boar taint and high androstenone concentrations and others with boar taint and low androstenone concentrations.

This means that there is a connection between boar taint and androstenone, but that the androstenone concentration alone cannot define boar taint.

In trial 2, carcass yield and meat quality of the boars was good. The sire genotype had a significant effect on the carcass quality. Boars of the sire genotype DuLB and Pi had the highest meat percentages (59,9% and 59,8%).

In trial 2, the carcass quality (MFA ges., MFA Bauch) depended significantly on the carcass weight. Boars with lower weights had significantly higher lean percentages than the ones with higher weights (MFA ges.: SGW 1 56,86%, SGW2: 56,76%, SGW3: 54,54%). This would support the fattening of boars with lower weights to reduce the androstenone concentration.

MWD-results had no significant influence on the carcass yield or the meat quality which shows that even carcasses with boar taint have a good carcass composition.

Since in both trials, the boars had a good carcass composition and good meat quality and since the incidence of boar taint will be reduced in the future by using lean meat, lower carcass weights, genetic selection and feeding and husbandry factors, the fattening of boars represents a good alternative to the surgical castration of piglets without anaesthesia.

8. Literaturverzeichnis

- Adam, F. (2009) Ebermast oder Schmerzlinderung, in: Herausforderungen für Schweinehalter; LfL- Jahrestagung am 28. Oktober 2009 in Mamming, *Tagungsband*, Schriftenreihe ISSN 1611-4159
http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_37263.pdf
Stand: 13.08.2011
- Adam, F., Langenhorst, C.S. & Büttfering, L. (2009) Düsser Ergebnisse zur Ebermast, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, vom 26.10.2009
<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/management/ebermast-duesse.htm>
Stand: 13.07.2011.
- AID-Broschüre Schweinerassen, 3275/1997 – *Begleitheft zur Diasserie 7163*, herausgegeben vom Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V.
Online Version: Informationszentrum für Genetische Ressourcen (IGR) – ZADI
<http://www.aid.de/landwirtschaft/tierspecial/schweinerassen/>
Stand: 27.06.2011
<http://www.aid.de/landwirtschaft/tierspecial/schweinerassen/pietrain.html>
Stand: 23.06.2011
<http://www.aid.de/landwirtschaft/tierspecial/schweinerassen/deutschelandrasse.html>
Stand: 21.06.2011
<http://www.aid.de/landwirtschaft/tierspecial/schweinerassen/deutschesedel Schwein.html>
Stand: 21.06.2011
<http://www.aid.de/landwirtschaft/tierspecial/schweinerassen/duroc.html>
Stand: 21.06.2011
- Aldal, I., Andresen, Ø., Egeli, A.K., Haugen, J.-E., Grødum, A., Fjetland, O. & Eikaas, J.L.H. (2005) Levels of androstenone and skatole and the occurrence of boar taint in fat from young boars. *Livestock Production Science*, **95**, 121-129.
- Andersson, H., Wallgren, M., Rydhmer, L., Lundström, K., Andersson, K. & Forsberg, M. (1998) Photoperiodic effects on pubertal maturation of spermatogenesis, pituitary responsiveness to exogenous GnRH, and expression of boar taint in crossbred boars. *Animal Reproduction Science*, **54**, 121-137.
- Andresen, Ø. (2006) Boar taint related compounds: Androstenone/skatole/other substances. *Acta Veterinaria Scandinavica*, **48 (Suppl I)**, : 55.
- Andrew, S.M., Erdman, R.A. & Waldo, D.R. (1995) Prediction of Body Composition of Dairy Cows at Three Physiological Stages from Deuterium Oxide and Urea Dilution1. *Journal of Dairy Science*, **78**, 1083-1095.

- Animalia Norway (2008), Current situation and practicality of different castration practices, in *PIGCAS D3.3 (2008) Report on the evaluation of research and other information*, S.13-23
[http://w3.rennes.inra.fr/pigcas/Public reports/D3 3 Final report evaluation.pdf](http://w3.rennes.inra.fr/pigcas/Public%20reports/D3%203%20Final%20report%20evaluation.pdf)
Stand: 08.08.2011
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV LmH) in der Neufassung vom 9. Nov. 2009, unter Berücksichtigung der AVV Lebensmittelhygiene vom 12.09.2007, Anlage 4: Methoden zur Untersuchung von Fleisch, Nr.6 „Feststellung von Geruchs- und Geschmacksabweichungen im Sinne der Verordnung (EG) Nr.854/2004. Zuletzt geändert am durch die Verwaltungsvorschrift vom 30.03.2011 (BANz 2011 S.1287)
http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_09112009_329225270006.htm
Stand: 04.07.2011
- Anlage zur Rechnung des Tiergesundheitsdienstes Bayern e.V., vom 09.03.2011, an die Tierärztliche Fakultät, Lehr- und Versuchsgut, St. Hubertusstr.12, 85764 Oberschleißheim
- Arrayet, J. L., Oberbauer, A. M., Famula, T. R., Garnett, I., Oltjen, J. W., Imhoof, J., Kehrl, M.E. & Graham, Jr and T. W. (2002) Growth of Holstein calves from birth to 90 days: the influence of dietary zinc and BLAD status. *Journal of Animal Science*, **80**, 545-552.
- Babol, J. & Squires, E.J. (1995) Quality of meat from entire male pigs. *Food Research International*, **28**, 201-212.
- Babol, J., Squires, E.J. & Bonneau, M. (1996) Factors regulating the concentrations of 16-androstene steroids in submaxillary salivary glands of pigs. *Journal of Animal Science*, **74**, 413-419.
- Babol, J., Squires, E.J. & Lundström, K. (1999) Relationship between metabolism of androstenone and skatole in intact male pigs. *Journal of Animal Science*, **77**, 84-92.
- Babol, J., Zamaratskaia, G., Juneja, R.K. & Lundström, K. (2004) The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Hampshire and Duroc. *Meat Science*, **67**, 351-358.
- Barter, J. & Forbes, G.B. (1963) Correlation of potassium-40 data with anthropometric measurements. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **110**, 264-270.
- Bauer, A. (2010) Schlachtkörper - wie sind Jungeber zu bewerten? Max Rubner-Institut, Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch, Kulmbach.
Expertenworkshop: Verzicht auf Ferkelkastration – Stand und Perspektiven,

- Statements Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 11.November 2010, Berlin
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/Ferkelkastration-Bauer.pdf?__blob=publicationFile
Stand 02.08.2011
- Baulain, U. (1997) Magnetic resonance imaging for the in vivo determination of body composition in animal science. *Computers and Electronics in Agriculture*, **17**, 189-203.
- Baulain, U. & Henning, M. (2001) Untersuchungen zur Schlachtkörper- und Fleischqualität mit Hilfe von MR-Spektroskopie. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf*, **44**, 181-192.
- Baumgartner, J. (2008) Die Kastration männlicher Ferkel - Methoden und Bewertung, *Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein*
http://www.raumberg-gumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=2689&Itemid=53
Stand 7.12.2011
- Bayerisches Wochenblatt, Märkte und Preise, 22.7.2011, **29**, 83-89.
- Bell, R.C., Lanou, A.J., Frongillo Jr, E.A., Levitsky, D.A. & Campbell, T.C. (1994) Accuracy and reliability of total body electrical conductivity (TOBEC) for determining body composition of rats in experimental studies. *Physiology & Behavior*, **56**, 767-773.
- Bellinger, L.L. & Williams, F.E. (1993) Validation study of a total body electrical conductive (TOBEC) instrument that measures fat-free body mass. *Physiology & Behavior*, **53**, 1189-1194.
- Bereskin, B. & Davey, R.J. (1978) Genetic, Sex and Diet Effects on Pig Carcass Traits. *Journal of Animal Science*, **46**, 1581-1591.
- Bernau, M., Kremer, P., Lauterbach, E., Tholen, E. & Scholz, A.M. (2011) Untersuchungen zur Schlachtkörperzusammensetzung von Eberschlachthälften aus drei Leistungsprüfanstalten mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie und Magnet-Resonanz-Tomographie, *Tagungsband der Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V. und der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaften e.V., 06.und 07 September 2011 Freising-Weihenstephan*.
- Bonneau, M. (1998) Use of entire males for pig meat in the European Union. *Meat Science*, **49**, 257-272.
- Bonneau, M. (2006) Factors affecting the level of androstenone. *Acta Veterinaria Scandinavica*, **48**, S.7.
- Borell, E., Baumgartner, J., Giersing, M., Jaegglin, N., Prunier, A., Tuytens, F. & Edwards, S.A. (2008) Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives, in: *PIGCAS D3.3 (2008)*, 22-44.

- Bracher-Jakob, A. (2000) Jungebermast in Forschung und Praxis: Literaturstudie und Standortbestimmung,
http://www.dbalp.admin.ch/de/publikationen/docs/pub_BracherJakobA_2002_19048.pdf
Stand: 08.08.2011
- Branscheid, W. (1995) Die Ebermast - Zielsetzung und Durchführung des Versuchs, in : Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Braun, U. & Müller, S. (2006) Was ist Schweinefleischqualität? (erfasste Merkmale und ihre Bedeutung), Freistaat Thüringen,
<http://www.tll.de/ainfo/pdf/pigq0906.pdf>
Stand:10.11.2011
- Brenoe, U.T. & Kolstad, K. (2000) Body composition and development measured repeatedly by computer tomography during growth in two types of turkeys. *Poultry Science*, **79**, 546-552.
- Brodie, D., Moscrip, V. & Hutcheon, R. (1998) Body Composition Measurement: A Review of Hydrodensitometry, Anthropometry, and Impedance Methods. *Nutrition*, **14**, 296-310.
- Bundestierärztekammer e.V., Bundesverband der beamteten Tierärzte e.V., Bundesverband der Praktizierenden Tierärzte e.V. (2011) Stellungnahme: Die Narkose muss in tierärztlicher Hand bleiben, *Deutsches Tierärzteblatt*, Februar 2011, S.198
- Bundesverband der Systemgastronomie e.V. (2010),
Expertenworkshop: Verzicht auf Ferkelkastration – Stand und Perspektiven, Statements Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbr____ (BMELV), 11.November 2010, Berlin
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/Ferkelkastration-StatementHolsboer.pdf?__blob=publicationFile
Stand: 09.08.2011
- Bünger, L., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Conington, J., Mclean, K.A., Moore, K., Glasbey, C.A. & Simm, G. (2011) Use of X-Ray Computed Tomography (CT) in: UK Sheep Production and Breeding. CT-Scannings Techniques and Applications (Karuppasamy, S. ed.) pp. 329-348, INTECH Open access Publisher 19
- Burren, C. & Jäggin, N. (2008) Beurteilung der Inhalationsanästhesie zur Schmerzausschaltung bei der chirurgischen Kastration von Ferkeln, Ergänzende Feldversuche; Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Zollikhofen, in Zusammenhang mit dem *Projekt ProSchwein*
http://www.shl.bfh.ch/fileadmin/docs/Forschung/KompetenzenTeams/NutztierUmweltInteraktion/ProSchwein/Synthesebericht/Bericht_Ergaenzende_Feldv

ersuche_2008.pdf
Stand: 09.08.2011

- Busk, H., Olsen, E.V. & Brøndum, J. (1999) Determination of lean meat in pig carcasses with the Autofom classification system. *Meat Science*, **52**, 307-314.
- Chen, G. (2007) Physiological and Biochemical Factors Responsible for Boar Taint. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, ISBN 978-91-85913-09-1
- Chilliard, Y., Cissé, M., Lefaivre, R. & Rémond, B. (1991) Body Composition of Dairy Cows According to Lactation Stage, Somatotropin Treatment, and Concentrate Supplementation. *Journal of Dairy Science*, **74**, 3103-3116.
- Claus, R., Weiler, U. & Herzog, A. (1994) Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar--A review with experimental data. *Meat Science*, **38**, 289-305
- Claus, R., Lösel, D., Lacorn, M., Mentschel, J. & Schenkel, H. (2003) Effects of butyrate on apoptosis in the pig colon and its consequences for skatole formation and tissue accumulation. *Journal of Animal Science*, **81**, 239-248.
- Coker, M.D., West, R.L., Brendemuhl, J.H., Johnson, D.D. & Stelzlenti, A.M. (2009) Effects of live weight and processing on the sensory traits, androstenedione concentration and 5-alpha-androst-16-en-3-one (androstenone) concentration. *Meat Science*, **82**, 399-404.
- Conway, J.M., Norris, K.H., Bodwell, B.S. & Bodwell, C.E. (1984) A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *American Journal of Clinical Nutrition*, **40**, 1123-1130.
- Dehnhard, M., Claus, R., Herbert, E. & Hillenbrand, M. (1995) Skatol- und Androstenonkonzentrationen in Fleischerzeugnissen aus Eberschlachtkörpern, in : Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Desmoulin, B., Bonneau, M., Frouin, A. & Bidard, J.P. (1982) Consumer testing of pork and processed meat from boars: The influence of fat androstenone level. *Livestock Production Science*, **9**, 707-715.
- DGA Deutsche Gesellschaft für Akkreditierung mbH Anlage zur Akkreditierungs-urkunde DGA-PL-2963.00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005;
Gültigkeitsdauer: 2009-11-23 bis 2013-01-30,
<http://www.dap.de/anl/PL296300.pdf>
Stand: 7.08.2011
- Deutsches Tierschutzgesetz (TierSchG), §5, Ausfertigungsdatum: 24.07.1972
"Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006

- (BGBl. I S. 1206,1313), das zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 9. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1934) geändert worden ist"
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tierschg/gesamt.pdf>
Stand: 09.08.2011
- Dobrowolski, A., Höreth, R. & Branscheid, W. (1995) Der Schlachtkörperwert von Ebern und Börgen und Probleme der Klassifizierung, in : Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Doran, E., Whittington, F.M., Wood, J.D. & McGivan, J.D. (2004) Characterisation of androstenone metabolism in pig liver microsomes. *Chemico-Biological Interactions*, **147**, 141-149.
- Ebert, U., Frey, H.H. & Schulz, R. (2007) Pharmakologie des zentralen Nervensystems (ZNS), in: Frey, H.H. Löscher, W. (eds), *Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin*. Enke Verlag, Sonderausgabe der 2. Auflage, Stuttgart.
- EFSA Journal (2004), 91, 1-18, Welfare aspects of the castration of piglets; Scientific report of the scientific panel for animal health and welfare on a request from the commission related to welfare aspects of the castration of piglets;1-100
http://www.efsa.europa.eu/fr/scdocs/doc/report_ahaw03_ej91_pigcast_v2_en1,0.pdf
Stand: 08.08.2011
- Ellis, K.J., Bell, S.J., Chertow, G.M., Chumlea, W.C., Knox, T.A., Kotler, D.P., Lukaski, H.C. & Schoeller, D.A. (1999) Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH technology assessment conference. *Nutrition*, **15**, 874-880.
- Europäische Erklärung über Alternativen zur chirurgischen Kastration bei Schweinen, 2010
http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/docs/castration_pigs_declaration_de.pdf
Stand: 10.01.2012
- Fischer, K. & Weiler, U. (1995) Aspekte der sensorischen Qualität von Eberfleisch, in: Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Fleischhygiene-Verordnung (FIHV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 29.Juni 2001 (BGBl. I S. 1366)
<http://www.vmf.uni-leipzig.de/ik/wfleischhygiene/flhv.pdf>
Stand: 10.08.2011

- Forrest, J.C. (1994): Klassifizierung von Schlachtkörpern und Teilstücken mit dem TOBEC-Gerät. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* **145**: 49-58.
- Fredriksen, B., Nafstad, O., Lium, B., Marka, C., Dahl, E. & Choinski, J. (2006) Artificial light programmes in entire male pig production - effects on androstenone, skatole and animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, **48**, P 3.
- Fredriksen, B., Lium, B.M., Marka, C.H., Mosveen, B. & Nafstad, O. (2008) Entire male pigs in farrow-to-finish pens--Effects on animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, **110**, 258-268.
- Fredriksen, B., Font i Furnols, M., Lundström, K., Migdal, W., Prunier, A., Tuytens, F.A.M. & Bonneau, M. (2009) Practice on castration of piglets in Europe. *animal*, **3**, 1480-1487.
- Fredriksen, B., Johnsen, A.M.S. & Skuterud, E. (2011) Consumer attitudes towards castration of piglets and alternatives to surgical castration. *Research in Veterinary Science*, **90**, 352-357.
- Frieden, L., Looft, C. & Tholen, E. (2011) Breeding for reduced boar taint. *Lohmann Information*, **46**, 21-27.
- Friedman, M.H., Farber, T.M. & Tanner, J.T. (1973) Instrumental neutron activation analysis for bromine in pig tissues. *Analytica Chimica Acta*, **67**, 277-282.
- Gasteiner, J. (2008) Chirurgische Ferkelkastration - eine neuartige Methode der Schmerzreduktion. *Abschlussbericht 100252*, 1-18.
https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/2f8d43e9d2de8c35450b97d861d8cbbd/Ferkelkastration_Abschl.Ber.pdf
Stand: 09.08.2011
- Geßl, R. & Rudolph, G. (2009) Marktforschungs- und Durchführbarkeitsstudie für Fleisch und Fleischprodukte aus Bio-Ebermast (Schweinefleisch von unkastrierten Tieren), *Projektendbericht* des Forschungsinstituts für biologischen Landbau,
<http://orgprints.org/17991/1/gessl-rudolph-2009-fibloesterreich.pdf>
Stand: 19.11.2011
- Giersing, M., Ladewig, J. & Forkman, B. (2006) Animal welfare aspects of preventing boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica*, **48**, 3.
- Götz, K.-U., Littmann, E., Wittmann, W. & Dodenhoff, J. (2009) Impfung gegen Ebergeruch oder züchterische Maßnahmen; in Herausforderungen für Schweinehalter, LfL- Jahrestagung am 28. Oktober 2009 in Mamming, *Tagungsband*, Schriftenreihe ISSN 1611-4159
http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_37263.pdf
Stand: 13.08.2011
- Gutzwiller, A. (2003) Kastration von ferkeln unter Lokalanästhesie. *Agrarforschung*,

10, 10-13.

- Hagmüller, W. (2006) Chirurgische Ferkelkastration - gibt es Alternativen?, *Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein*, 16. November 2006
http://www.raumberg-gumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=160&Itemid=100014&lang=de
Stand: 26.10.2011
- Hampe, J., Nüske, S., Scholz, A.M. & Förster, M. (2005) Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). *Archiv Tierzucht, Dummerstorf*, **48**, 428-444.
- Hansen, L.L. & Larsen, A.E. (1994) Effect of antibiotic feed additives on the level of skatole in fat of male pigs. *Livestock Production Science*, **39**, 269-274.
- Hansen, L.L., Mejer, H., Thamsborg, S.M., Byrne, D.V., Roepstorff, A., Karlsson, A.H. & Hansen-Møller, J. (2006) Influence of chicory roots (*Cichorium intybus* L) on boar taint in entire male and female pigs. *Animal Science*, **82**, 1-11.
- Haugen, J. (2006) The use of chemical sensor array technology, the electronic nose, for detection of boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica*, **48**, 15.
- Haugen, J.-E. (2010) Methods to detect boar taint, *EC Workshop on pig welfare-castration of piglets*, 2. Juni 2010, Brüssel;
http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/seminars/docs/20100602_8%20John-Erik%20Haugen.pdf; Stand: 30.07.2011.
- Haugen, J.-E., Brunius, C., Zamaratskaia, G. (2012) Review of analytical methods to measure boar taint compounds in porcine adipose tissue: The need for harmonised methods. *Meat Science* **90**, 9–19.
- Henning, M. & Baulain, U. (2006) Physiologische Grundlagen, Wachstum, Schlachtkörperzusammensetzung sowie Fleisch- und Fettqualität. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 296*, 4-22.
- Henning, W. (2006) EU-Hygiene-Paket; Chemisches Untersuchungsinstitut Bergisches Land ,
<http://www.dortmund.ihk24.de/linkableblob/1048308/.2./data/Lebensmittelhygienerecht-data.pdf;jsessionid=89470BF1BF8E20A21752D6F7B23C8593.repl2>
Stand: 10.08.2011.
- Higbie, A.D., Bidner, T. D., Matthews, J.O., Southern, L.L., Page, T.G., Persica, M.A., Sanders, B., Monlezun, C.J. (2002) Prediction of swine carcass composition by total body electrical conductivity (TOBEC). *Journal of Animal Science*, **80**, 113-122
- Hofer, M. (2010) Physikalische und technische Grundlagen, in: *Hofer, M. (ed) CT-Kursbuch- ein Arbeitsbuch für den Einstieg in die Computertomographie.*

- Didamed Verlag GmbH, 7. Auflage, Düsseldorf.
- Hoffschulte, H. (2007) Beziehung zwischen mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bestimmter Körperzusammensetzung und der Fruchtbarkeit von Jungsauen. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät.*
- Honikel, K. O. (2004) Vom Fleisch zum Produkt, Reifen-Erhitzen-Zerkleinern-Salzen. *Fleischwirtschaft 2004*, 84, Nr. 5, 228-234
- Hoppenbrock, K.H. (1995) Mastleistung von Ebern, in : Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Huber-Eicher, B. & Spring, P. (2008) Attitudes of Swiss consumers towards meat from entire or immunocastrated boars: A representative survey. *Veterinary Science*, **85**, 625-627.
- Hügel, T. (2010) Überprüfung der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Impfung gegen Ebergeruch im Feldversuch: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Impfung gegen Ebergeruch. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät.*
- Jackson, S.A. & Thomas, R.M. (2009a) Einführung in die physikalischen Grundlagen der Computertomographie, in: Jackson, S.A., Thomas (eds), R.M., *CT, MRT, Ultraschall*, Urban und Fischer Verlag der Elsevier GmbH, 1. Auflage, München.
- Jackson, S.A. & Thomas, R.M. (2009b) Einführung in die physikalischen Grundlagen des Ultraschalls, in: Jackson, S.A., Thomas, R.M. (eds), *CT, MRT, Ultraschall*, Urban und Fischer Verlag der Elsevier GmbH, 1. Auflage, München.
- Johnson, L.A., Rath, D., Vazquez, J.M., Maxwell, W.M.C. & Dobrinsky, J.R. (2005) Preselection of sex of offspring in swine for production: current status of the process and its application. *Theriogenology*, **63**, 615-624.
- Jonsson, P. & Pedersen, W. (1974) Genetics of sex odour in boars. *Livestock Production Science*, **1**, 53-66.
- Kamphues, J., Kienzle, E., Simon, O., Coenen, M., Pallauf, J. & Zentek, J. (2004) Futtermitteluntersuchung, in: Kamphues, J., Kienzle, E., Simon, O., Coenen, M., Pallauf, J., Zentek, J. (eds), *Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung*, Verlag M. & H. Shapper GmbH & Co. KG, 10. überarbeitete Auflage, Alfeld. .
- Kanaley (1996) Body composition and in vivo neutron activation. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, **127**, 414-415.
- Kaune, R. (2000) Knochenstoffwechsel, in: Engelhardt , W.v. & Breves , G. (ed),

- Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag, 1. Auflage, Stuttgart.
- Kietzmann, M., Scherkl, R. & Schulz, R. (2007) Pharmakologie der Entzündung und der Allergie, in: Frey, H. H., Löscher, W. (eds), *Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin*. Enke- Verlag, Sonderausgabe der 2. Auflage, Stuttgart.
- Kirton, A.H., Pearson, A.M., Nelson, R.H., Anderson, E.C. & Schuch, R.L. (1961) Use of naturally occurring potassium-40 to determine the carcass composition of live sheep. *Journal of Animal Science* **20**, 635-639.
- Kluge, K. (2010) , Ausstieg aus der Kastration – Hintergründe, Initiativen, Alternativen; *Expertenworkshop: Verzicht auf Ferkelkastration – Stand und Perspektiven*, Statements Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 11. November 2010, Berlin http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/Ferkelkastration-StatementKluge.pdf?__blob=publicationFile
Stand: 09.08.2011
- Kohler, I., Moens, Y., Busato, A., Blum, J. & Schatzmann, U. (1998) Inhalation anaesthesia for the castration of piglets: CO₂ compared to halothane. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, **45**, 625-633.
- Kolstad, K. (2001) Fat deposition and distribution measured by computer tomography in three genetic groups of pigs. *Livestock Production Science*, **67**, 281-292.
- Koolmann, J. & Röhm, K.-H. (2003a) Immunsystem , in: Koolmann J., Röhm K.-H. (eds), *Taschenatlas der Biochemie*. Thieme Verlag, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart.
- Koolmann, J. & Röhm, K.-H. (2003b) Peptide und Proteine , in: Koolmann J., Röhm K.-H. (eds), *Taschenatlas der Biochemie*. Thieme Verlag, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart.
- Kupper, T., Pauly, C., Burren, C., Hofer, A., Spring, P. (2009), alternative Methoden zur konventionellen Ferkelkastration ohne Schmerzausschaltung. *Projekt ProSchwein Schlussbericht 2008*.
http://www.shl.bfh.ch/fileadmin/docs/Forschung/KompetenzenTeams/NutztierUmweltInteraktion/ProSchwein/Synthesebericht/Schlussbericht_ProSchwein_2008_20090710.pdf
Stand: 09.08.2011
- Lambe, N.R., Young, M.J., McLean, K.A., Conington, J. & Simm, G. (2003) Prediction of total body tissue weights in Scottish Blackface ewes using computed tomography scanning. *Animal science*, **76**, 191-197.
- Laskey, M.A. (1996) Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Nutrition*, **12**, 45-51.

- Lautenschlaeger, R. (2011) Carcass grading using CT. 64th Reciprocal Meat Conference 21 June 2011, Manhattan, Kansas; Max Rubner-Institut, Department of Safety and Quality of Meat, International Competence Center on Meat Quality,
<http://www.meatscience.org/Search.aspx?searchtext=Lautenschlaeger&folderid=0&searchfor=all&orderby=id&orderdirection=ascending>
Stand: 22.01.2012
- Leeb, C., Gößler, C., Czech, B., Baumgärtner, J. (2008) Experiences with intravenous general anaesthesia for surgical castration of pigs, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria und University of Veterinary Medicine, Vienna, Austria,
http://www.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2008Vilnius/Papers/published/14_Leeb.pdf
Stand: 20.01.2012
- Liebich, H.G., Forstenpointer, G. & König, H.E. (2005) Einführung und allgemeine Anatomie, in: König, H. E. und Liebich, H. G. (eds), *Anatomie der Haussäugetiere*. Schattauer GmbH, 3. Auflage, Stuttgart.
- Littmann, E., Götz, K.U., Dodenhoff, J. (2006) Schweinezucht und Schweineproduktion. *Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft* 7, ISSN 1611-4159
- Lochmüller, E.-M., Weusten, A., Wolf, E., Cindik, E., Renner-Müller, I., Eikmeier, T. & Eckstein, F. (1999) Geschlechtsspezifische Analyse der Knochenmasse normaler und Wachstumshormon-tragender Mäuse mittels Zweiennergie-Röntgen-Absorptiometrie (DXA). *Annals of Anatatomy*, **181**, 191-198.
- Lopez-Bote, C.J. (1998) Sustained utilization of the Iberian pig breed. *Meat Science*, **48**, Supl. 1, 17-27.
- Lösel, D. (2006) Versuche zur Verbesserung der sensorischen Fleischqualität beim Schwein durch die nutritive Hemmung der Skatolbildung. *Dissertation, Universität Hohenheim*.
- Lösel, D., Küchenmeister, U., Hartung, M., Nürnberg, G., Bellmann, O. & Albrecht, E. (2007) Non-invasive determination of body composition in pigs using a Norland XR-26 bone densitometer. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf*, **50**, 487-500.
- Lukaski, H.C., Mendez, J., Buskirk, E.R. & Cohn, S.H. (1981) A comparison of methods of assessment of body composition including neutron activation analysis of total body nitrogen. *Metabolism*, **30**, 777-782.
- Lukaski, H.C. & Johnson, P.E. (1985) A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D2O and infrared absorption of biological fluids. *American Journal of Clinical Nutrition*, **41**, 363-370.
- Lukaski, H.C., Marchello, M.J., Hall, C.B., Schafer, D.M. & Siders, W.A. (1999) Soft tissue composition of pigs measured with dual x-ray absorptiometry:

- comparison with chemical analyses and effects of carcass thicknesses. *Nutrition*, **15**, 697-703.
- Lukaski, H.C. (2009) Evaluation of body composition: why and how? *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, **2**, 1-10.
- Lunar *DXA™* Informationsheft, 2006, © General healthcare, BMD-iDb-05.06-DE-EU, 1-12
- Lunde, K., Skuterud, E., Egelanddal, B., Font i Furnols, M., Nute, G.R., Bejerholm, C., Nilsen, A., Stenstrøm, Y.H. & Hersleth, M. (2010) The importance of the recruitment method for androstenone sensitivity with respect to accurate sensory evaluation of androstenone tainted meat. *Food Quality and Preference*, **21**, 648-654.
- Lundström, K., Malmfors, B., Malmfors, G., Stern, S., Petersson, H., Mortensen, A.B. & Sørensen, S.E. (1988) Skatole, androstenone and taint in boars fed two different diets. *Livestock Production Science*, **18**, 55-67.
- Lundström, K., Zamaratskaia, G., Matthews, K., Haugen, J., E. & Squires, E.J. (2008) Pigmeat quality implications of surgical castration and its alternatives, in: *Projekt PIGCAS (2008)*, 45-87.
- Lundström, K., Matthews, K.R. & Haugen, J.-E. (2009) Pig meat quality from entire males. *Animal*, **3**, 1497-1507.
- Marchello, M.J., Berg, P.T., Swantek, P.M. & Tilton, J.E. (1999) Predicting live and carcass lean using bioelectrical impedance technology in pigs. *Livestock Production Science*, **58**, 151-157.
- Meinecke, B. (2000) Reproduktion beim Säugetier, in: Engelhardt, W.v. & Breves, G. (eds), *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart.
- Mette, A. (2008) Untersuchungen zur Isofluran-Narkose beim Schwein. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät*.
- Mirosh, L.W.; Becker, W.A.; Spencer, J.V.; Verstrate J.A. (1981) Prediction of Abdominal Fat in Broiler Chickens Using Wing Web and Humeral Feather Tract Measurements. *Poultry Science*, **60**, 509-512
- Mitchell, A.D., Conway, J.M. & Potts, W.J. (1996) Body composition analysis of pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. *Journal of Animal Science*, **74**, 2663-2671.
- Mitchell, A.D., Rosebrough, R.W. & Conway, J.M. (1997a) Body composition analysis of chickens by Dual Energie X-Ray Absorptiometry. *Poultry Science*, **76**, 1746-1752.
- Mitchell, A.D., Solomon, M.B. & Rumsey, T.S. (1997b) Composition analysis of beef rib sections by dual-energy X-ray absorptiometry. *Meat Science*, **47**, 115-124.

- Mitchell, A.D., Scholz, A.M. & Conway, J.M. (1998a) Body composition analysis of small pigs by dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of Animal Science*, **76**, 2392-2398.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M., Pursel, V.G. & Evock-Clover, C.M. (1998b) Composition analysis of pork carcasses by dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of Animal Science*, **76**, 2104-2114.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M. & Pursel, V.G. (2000) Dual-Energy X-ray Absorptiometry Measurements of the Body Composition of Pigs of 90- to 130-Kilograms Body Weight. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **904**, 85-93.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M. & Pursel, V.G. (2001a) Total body and regional measurements of bone mineral content and bone mineral density in pigs by dual energy X-ray absorptiometry. *Journal of Animal Science*, **79**, 2594-2604.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M., Wang, P.C. & Song, H. (2001b) Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. *Journal of Animal Science*, **79**, 1800-1813.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M. & Pursel, V. (2002) Prediction of the in vivo Body Composition of Pigs Based on Cross-Sectional Region Analysis of Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) Scans. *Archiv Tierzucht Dummerstorf*, **45**, 535-545.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M. & Pursel, V.G. (2003) Prediction of pork carcass composition based on cross-sectional region analysis of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans. *Meat Science*, **63**, 265-271.
- Mitchell, A.D., Scholz, A.M. & Solomon, M.B. (2005) Estimation of body composition of pigs by a near-infrared interactance probe technique. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf*, **48**, 580-591.
- Mitra, S., Wolff, J.E. & Garrett, R. (1998) Calibration of a prototype in vivo total body composition analyser using 14 MeV neutron activation and the associated particle technique. *Applied Radiation and Isotopes*, **49**, 537-539.
- Mohrmann, M., Roehe, R., Susenbeth, A., Baulain, U., Knap, P.W., Looft, H., Plastow, G.S. & Kalm, E. (2006) Association between body composition of growing pigs determined by magnetic resonance imaging, deuterium dilution technique, and chemical analysis. *Meat Science*, **72**, 518-531.
- Mörlein, D. (2007) Zerstörungsfreie Bestimmung des intramuskulären Fettgehaltes (IMF) im Kotelett von Schweinen mittels Ultraschall. *Züchtungskunde*, **79**, 81-91.
- Mühlbauer, I. (2009) Untersuchungen zur Belastung bei der Kastration von Saugferkeln unter CO₂-Narkose. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät*.

- Müller, S., Otto, M., Reimann, G. & Weiler, U. (2010) Eber auf Herz und Nieren geprüft. *DLZ-Primus Schwein*, **12**, 40-45.
- Myhre, L.G. & Kessler, W.V. (1966) Body density and potassium 40 measurements of body composition as related to age. *Journal of Applied Physiology*, **21**, 1251-1255.
- Nold, R.A., Romans, J.R., Costello, W.J., Henson, J.A. & Libal, G.W. (1997) Sensory characteristics and carcass traits of boars, barrows, and gilts fed high- or adequate- protein diets and and slaughtered at 100 or 110 kilograms. *Journal of Animal Science*, **75**, 2641-2651.
- Oskam, I.C., Ropstad, E., Andersen Berg, K., Fredriksen, B., Larsen, S., Dahl, E. & Andresen, Ø. (2008) Testicular germ cell development in relation to 5[alpha]-Androstene levels in pubertal entire male pigs. *Theriogenology*, **69**, 967-976.
- Oskam, I.C., Lervik, S., Tajet, H., Dahl, E., Ropstad, E. & Andresen, Ø. (2010) Differences in testosterone, androstene, and skatole levels in plasma and fat between pubertal purebred Duroc and Landrace boars in response to human chorionic gonadotrophin stimulation. *Theriogenology*, **74**, 1088-1098.
- Paulke, T. (2009) Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung: Stand Ferkelkastration Ebermast. <http://www.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/paulke09.pdf>, Stand 12.04.2011.
- Pauly, C., Spring, P., O'Doherty, J.V., Ampuero Kragten, S. & Bee, G. (2008) Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standart and a raw potato starch-enriched diet. *Animal Science*, **2**, 1707-1715.
- Pauly, C., Kupper, T. & Spring, P. (2009) Jungebermast - eine Möglichkeit in der Schweiz? *Agrarforschung*, **16**, 22-27.
- Pauly, C., Spring-Staehli, P., O'Doherty, J.V., Kragten, S.A., Dubois, S., Messadène, J. & Bee, G. (2010) The effects of method of castration, rearing condition and diet on sensory quality of pork assessed by a trained panel. *Meat Science*, **86**, 498-504.
- Pietrobelli, A., Formica, C., Wang, Z.M. & Heymsfield, S.B. (1996) Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: Review of physical concepts. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, **271**, E941-E951.
- Pietrobelli, A., Wang, Z., Formica, C. & Heymsfield, S.B. (1998) Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *American Journal of Physiology- Endokrinology and Metabolism* **274**, E808-E816.
- Portejoie, S., Dourmad, J.Y., Martinez, J. & Lebreton, Y. (2004) Effect of lowering

- dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science*, **91**, 45-55.
- Preinerstorfer, A., Leithold, A., Huber, G., Krimberger, B. & Mösenbacher-Molterer, I. (2010) Erfahrungen zur Ebermast, 47-54. *Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein*,
http://www.raumberg-gumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=3809&Itemid=100014&lang=de
Stand: 29.07.2011
- Relandeau, C. (1999) Aktuelle Fütterungskonzepte zur Verminderung der Stickstoffausscheidung beim Schwein. *Lohmann Information*, Oktober-Dezember 1999, **4**, 1-6.
- Richtlinie 91/630/ EWG des Rates vom 19. November 1991 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen,
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0630:DE:HTML>
Stand: 09.08.2011
- Richtlinie 2001/93 EG der Kommission vom 9. November 2001 zur Änderung der Richtlinie 91/630/EWG über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0093:DE:HTML>
Stand: 09.08.2011
- Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007,
www.zds-bonn.de/services/files/dokumente/rlnkp07.pdf
Stand: 8.12.2011
- Rubiano, F., Nunez, C. & Heymsfield, S.B. (2000) A Comparison of Body Composition Techniques. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **904**, 335-338.
- Ruge, A. (2006) Evaluierung der Genauigkeit eines Norland XR26 DXA-Systems im Vergleich zu einem GE Lunar DPX-IQ unter Verwendung eines modifizierten Variable Composition Phantoms. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät*.
- Rusche, B. (2010) Ausstieg aus der Kastration- Hintergründe, Initiativen, Alternativen aus der Sicht des Deutschen Tierschutzbundes; *Expertenworkshop: Verzicht auf Ferkelkastration – Stand und Perspektiven*, Statements Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 11.November 2010, Berlin
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/Ferkelkastration-StatementRusche.pdf?__blob=publicationFile
Stand: 09.08.2011.

- Sambras, H.H. (2001) Schweine, in: Sambras, H.H. *Farbatlas Nutztierassen*, Eugen Ulmer GmbH & Co., 6. Auflage, Stuttgart.
- Schiele, D.M. (2010) Untersuchungen über den Einsatz von topischer Kryobehandlung und Lokalanästhesie bei der Kastration männlicher Saugferkel. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät*.
- Scholz, A.M. (2002) In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. *Habilitationsschrift, Ludwig-Maximilians-Universität München : Aus dem Institut für Tierzucht der Tierärztlichen Fakultät*.
- Scholz, A.M., Soffner, P., Littmann, E., Peschke, W. & Förster, M. (2002) Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30-39 kg) anhand der EU- Referenzzzerlegung. *Züchtungskunde*, **74**, 376-391.
- Scholz, A.M., Heller, P., Waldmann, K.H., Wolf, P., Kamphues, J. & Förster, M. (2004) Eignung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Erfassung der Knochenmineralisierung von Ebern. *Züchtungskunde*, **76**, 94-107.
- Scholz, A.M. & Förster, M. (2006) Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Körperzusammensetzung von Schweinen in vivo. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf*, **49**, 462-476.
- Scholz, A.M., Mitchell, A.D., Förster, M. & Pursel, V.G. (2007) Two-site evaluation of the relationship between *in vivo* and carcass dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in pigs. *Livestock Science*, **110**, 1-11.
- Scholz, A.M. & Baulain, U. (2009) Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Nutztier. *Züchtungskunde*, **81**, 86-96.
- Schreiner, P.J., Pitäniemi, J., Pekkanen, J. & Salomaa, V.V. (1995) Reliability of near-infrared interactance body fat assessment relative to standard anthropometric techniques. *Journal of Clinical Epidemiology*, **48**, 1361-1367.
- Schulz, C. (2007) Auswirkung einer Isofluran- Inhalationsnarkose auf den Kastrationsstress und die postoperativen Kastrationsschmerzen von Ferkeln. *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät*.
- Schwedt, G. (2007a) Grundlagen, in: Schwedt, G. (ed), *Taschenatlas der Analytik*. Wiley-VCH-Verlag, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Weinheim.
- Schwedt, G. (2007b) Spezielle Anwendungsgebiete und Methoden, in: Schwedt, G. (ed), *Taschenatlas der Analytik*. Wiley-VCH-Verlag, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Weinheim.
- Secor, S.M. & Nagy, T.R. (2003) Non-invasive measure of body composition of snakes using dual-energy X-ray absorptiometry. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **136**, 379-389.

- Seibt, W. (2003a) Atomphysik, in : Seibt, W. (ed), *Physik für Mediziner* Thieme-Verlag, 5., unveränderte Auflage, Stuttgart.
- Seibt, W. (2003b) Wellen, in : Seibt, W. (ed), *Physik für Mediziner* Thieme-Verlag, 5., unveränderte Auflage, Stuttgart.
- Siemens, A.L., Lipsey, R.J., Martin, W.M., Siemens, M.G. & Hedrick, H.B. (1991) Composition of pork carcasses by potassium-40 liquid scintillation detection: estimation and validation. *Journal of Animal Science*, **69**, 47-53.
- Sinclair, P.A., Hancock, S., Gilmore, W.J. & Squires, E.J. (2005) Metabolism of the 16-androstene steroids in primary cultured porcine hepatocytes. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, **96**, 79-87.
- Speakman, J.R., Booles, D. & Butterwick, R. (2001) Validation of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. *International Journal of Obesity*, **25**, 439-447.
- Stamatelatos, I.E. & Yasumura, S. (1995) Prompt-gamma neutron activation facility for measuring body nitrogen in vivo in small animals. *Applied Radiation and Isotopes*, **46**, 269-272.
- Stenger, J. & Bielajew, C. (1995) Comparison of TOBEC-derived total body fat with fat pad weights. *Physiology & Behavior*, **57**, 319-323.
- Stiebing, A. (2010) Verarbeitung von Eberfleisch- Was eignet sich für Wurst und Schinken?
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/Ferkelkastration-Stiebing.pdf?__blob=publicationFile
Stand 13.08.2011.
- Strack, K. E. (2000) Schweineproduktion, in: Weiß, J., Pabst, W., Strack, K. E., Granz S. (eds), *Tierproduktion*, Parey Buchverlag, 12. neubearbeitete Auflage, Berlin.
- Stryer, L. (1990) Die Erforschung von Proteinen, in: Strer, L. (ed), *Biochemie*. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Übersetzung beruht auf der 3. amerikanischen Auflage, Heidelberg. .
- Suster, D., Leury, B.J., Ostrowska, E., Butler, K.L., Kerton, D.J., Wark, J.D. & Dunshea, F.R. (2003) Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA), weight and P2 back fat to predict whole body and carcass composition in pigs within and across experiments. *Livestock Production Science*, **84**, 231-242.
- Szabo, C., Babinszky, L., Verstegen, M.W.A., Vangen, O., Jansman, A.J.M. & Kanis, E. (1999) The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: a review. *Livestock Production Science*, **60**, 1-11.

- Taylor, A.A., Weary, D.M., Lessard, M. & Braithwaite, L. (2001) Behavioural responses of piglets to castration: the effect of piglet age. *Applied Animal Behaviour Science*, **73**, 35-43.
- Tholen, E. & Frieden, L. (2010a) Herausforderung Jungebermast - Was kann die Züchtung beitragen? *SUISAG-Züchtertagung* vom Mittwoch 10.Nov. 2010, <http://www.suisag.ch>
Stand: 2.10.2011
- Tholen, E. & Frieden, L. (2010b) Züchterische Möglichkeiten zur Reduktion von "Ebergeruch"; Bonn 11.3.2010, http://www.uni-kassel.de/agrar/alm/documents/Frieden_Vortrag3.pdf
Stand: 13.11.2011
- Tierschutzgesetz Schweiz (TSchG) vom 16. Dezember 2005 (Stand am 1. Januar 2011), ,5. Abschnitt Artikel 16
<http://www.admin.ch/ch/d/sr/4/455.de.pdf>
Stand: 09.08.2011
- Tierschutzverordnung Schweiz (TschVO) vom 13. April 2008 (Stand am 1. April 2011), 2. Abschnitt, Artikel 15
<http://www.admin.ch/ch/d/sr/4/455.1.de.pdf>
Stand: 09.08.2011
- Trautmann, J., Meier-Dinkel, L., Tholen, E., Frieden, L., Knorr, C., Wicke, M. & Mörlein, D. (2011) Konsumentenstudie zur sensorischen Wahrnehmung von Eberfleisch in Abhängigkeit von der Kennzeichnung, zitiert mit ausdrücklicher Erlaubnis von Frau Trautmann
Tagungsband der Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V. und der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaften e.V., 06.und 07 September 2011 Freising-Weihenstephan.
- Vanderschueren, D., Boonen, S., Ederveen, A.G.H., de Coster, R., Van Herck, E., Moermans, K., Vandenput, L., Verstuyf, A. & Bouillon, R. (2000) Skeletal effects of estrogen deficiency as induced by an aromatase inhibitor in an aged male rat model. *Bone*, **27**, 611-617.
- Verband der Fleischwirtschaft e. V. (2010),
Expertenworkshop: Verzicht auf Ferkelkastration – Stand und Perspektiven, Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 11.November 2010, Berlin
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/FerkelkastrationStatementHarstick.pdf;jsessionid=65899FEAF088FAFD6CA683377BA3D6EE.2_cid181?__blob=publicationFile
Stand: 10.08.2011
- Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004, Anh. III Abschn. I Kap.IV
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:139:0055:0205:DE:PDF>

Stand: 30.07.2011

Verordnung (EG) Nr. 854/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004, Anhang I, Abschnitt 2 Kapitel V
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:139:0206:0320:DE:PDF>

Stand: 30.07.2011

Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper- Handelsklassenverordnung – SchwHKIV), zuletzt geändert am 26 September 2011 durch Bundesgesetzblatt Jahrgang 2011 Teil I Nr. 49, S. 1914, Art. 2 vom 29. September 2011
http://www.vetion.de/gesetze/Gesetzestexte_pdf/HdlKISchwVO.pdf
Stand: 7.08.2011

Vestergaard, J., S., Haugen, J., E. & Byrne, D., V. (2006) Application of an electronic nose for measurements of boar taint in entire male pigs. *Meat Science*, **74**, 564-577.

Vetiddata, <http://www.vetiddata.de>, Stand 4.05.2011

Walstra, P. (1974) Fattening of young boars: Quantification of negative and positive aspects. *Livestock Production Science*, **1**, 187-196.

Weiler, U., Dehnhard, M., Herbert, E. & Claus, R. (1995) Einfluss von Geschlecht, Genotyp und Mastendgewicht auf die Androstenon- und Skatolkonzentrationen im Fett von Mastschweinen, in: Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.

Weishaupt, D., Köchli, V.D. & Marincek, B. (2009a) Relaxation, in: Weishaupt, D., Köchli, V.D., Marincek, B. (eds), *Wie funktioniert MRI?* Springer Medizin Verlag, 6.Auflage, Heidelberg.

Weishaupt, D., Köchli, V.D. & Marincek, B. (2009b) Spins und das MR-Phänomen, in: Weishaupt, D., Köchli, V.D., Marincek, B. (eds), *Wie funktioniert MRI?* Springer Medizin Verlag, 6.Auflage, Heidelberg.

Wood, J.D., Enser, M., Whittington, F.M., Moncrieff, C.B. & Kempster, A.J. (1989) Backfat composition in pigs: Differences between fat thickness groups and sexes. *Livestock Production Science*, **22**, 351-362.

Wysocki, C.J., Dorries, K.M. & Beauchamp, G.K. (1989) Ability to perceive androstenone can be acquired by ostensibly anosmic people. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **86**, pp. 7976-7978.

Zamaratskaia, G., Babol, J., Andersson, H. & Lundström, K. (2004) Plasma skatole

and androstenone levels in entire male pigs and relationship between boar taint compounds, sex steroids and thyroxine at various ages. *Livestock Production Science*, **87**, 91-98.

Zamaratskaia, G. & Squires, E.J. (2009) Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*, **3**, 1508-1521.

Zemel, B.S., Riley, E.M. & Stallings, V.A. (1997) Evaluation of methodology for nutritional assessment in children: Anthropometry, body composition, and energy expenditure. *Annual Review of Nutrition*, **17**, 211-235.

Zollinger, B.L., Farrow, R.L., Lawrence, T.E. & Latman, N.S. (2010) Prediction of beef carcass salable yield and trimmable fat using bioelectrical impedance analysis. *Meat Science*, **84**, 449-454.

Zöls, S. (2006) Möglichkeiten der Schmerzreduzierung bei der Kastration männlicher Saugferkel *Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät*.

9. Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater PD Dr. Armin M. Scholz, der immer für meine Fragen und Probleme Zeit hatte und mich mit großem Engagement betreute.

Weiter möchte ich mich bei den Mitarbeitern des LVGs bedanken, die mich tatkräftig unterstützt haben. Besonders möchte ich hier Dr. Maren Bernau erwähnen, die mit mir die Schlachtkörperhälften scannte und mir mit Rat und Tat sowie guter Laune zur Seite stand. Danke, liebe Maren!

Weiterer Dank gilt Frau Dr. Prisca Kremer, die immer ein offenes Ohr für meine Fragen hatte und mich fachkundig beriet.

Zudem danke ich Richard Bätz, der mir bei allen „Word-Fragen“ half und in dessen netter Gesellschaft selbst langweilige Schreibarbeiten mit Schokolade versüßt wurden.

Bei Christa Gurgui und den anderen Mitarbeitern des LVGs möchte ich mich zudem für die überaus freundliche Arbeitsatmosphäre bedanken.

Ganz, ganz herzlich möchte ich mich bei meinen lieben Eltern, Jutta und Werner Lauterbach, bedanken, die mich in jeder erdenklichen Weise unterstützt haben und mir jeder Zeit Halt und seelische Unterstützung geben. Ihr seid immer für mich da! Vielen lieben Dank!

Bei meinem Bruder Benjamin Lauterbach möchte ich mich für seine positive Ausstrahlung, Aufmunterungen und Hilfe in Computerfragen bedanken.

Großer Dank gilt auch meinem Freund Dragan Vukoje, der mich bei der gesamten Doktorarbeit tatkräftig unterstützte, mir in Computerfragen half und mir immer zur Seite stand. Danke!