

Institut für Tierwissenschaften
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

Untersuchung verschiedener Möglichkeiten zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität
stationär leistungsgeprüfter Schweine

In a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
Zur Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)
der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

Vorgelegt im Januar 2010

von

Meike Friedrichs

aus

Köln

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn
http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Email: diss-online@ulb.uni-bonn.de

Universitäts- und Landesbibliothek Bonn

© Landwirtschaftliche Fakultät – Jahrgang 2010

Zugl.: ITW; Bonn, Univ. Diss., 2010

D 98

Referent: Prof. Dr. K. Schellander

Koreferent: Prof. Dr. B. Petersen

Tag der mündlichen Prüfung: 30.04.2010

Meinen Eltern

Untersuchung verschiedener Möglichkeiten zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität stationär leistungsgeprüfter Schweine

In der vorliegenden Arbeit wurde die Eignung der Magnet Resonanz Tomographie (MRT) sowie der Verfahren der apparativen Klassifizierung und stationären Leistungsprüfung zur Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung bei Schweinen untersucht. Als Referenzmethode wurde die grobgewebliche Zerlegung nach DLG- bzw. Praxis-Schnittführung herangezogen.

Mit Hilfe des MRT-Verfahrens ließ sich die Muskelmasse des Schlachtkörpers bei allen untersuchten Herkünften mit einem niedrigen relativen Schätzfehler zwischen 2,0% und 3,6% vorhersagen. Dieses Verfahren kann daher als Alternative zur aufwändigen Vollzerlegung von Schweineschlachtkörpern akzeptiert werden. Bei der Abschätzung der Teilstückgewichte bzw. der Muskelmasse der Teilstücke ist die MRT-Methode jedoch nur bedingt als Referenzverfahren geeignet, da eine eindeutige, virtuelle Abgrenzung der Teilstücke auf der Basis anatomischer Fixpunkte mit Hilfe der MRT-Bilder nur schwer möglich ist. So ließen sich die Gewichte der Teilstücke Schinken und Schulter mit hoher Genauigkeit abschätzen, während bei den Teilstücken Kotelett und Filet mit relativen Schätzfehlern $>5\%$ nur unbefriedigende Genauigkeiten erreicht wurden. Eine zufriedenstellende Schätzgenauigkeit beim Teilstück Lachs konnte nur durch die manuelle, aufwändige Abgrenzung dieses Teilstückes in den MRT-Bildern erreicht werden.

Die im Rahmen der Stationsprüfung verwendete Formel zur Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte zeigte erhebliche Verzerrungen und z. T. unbefriedigende Schätzgenauigkeiten. Nach einer Neukonstruktion der Schätzgleichungen mit Hilfe eines modifizierten PLS-Verfahrens und linearer, stationär erfasster Schlachtkörpermerkmale, konnten deutlich erkennbare Verbesserungen erreicht werden. Bei Überprüfung der derzeit gültigen Formeln der apparativen AutoFOM-Klassifizierung ergaben sich ebenfalls zum Teil unbefriedigende Schätzgenauigkeiten in der Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte. Diese konnten jedoch ebenfalls nach PLS-Neukonstruktion erheblich verbessert werden. Obwohl es sich bei der unterlegten Stichprobe um stationär und nicht unter Produktionsbedingungen gemästete Schweine handelte, lässt sich daraus ein Bedarf für eine Formelanpassung des Fleischanteils und der Teilstückgewichte ableiten.

Evaluation of different methods to estimate the carcass composition of on-station tested pigs

In the present study the practicability and accuracy of magnetic resonance tomography (MRT), carcass grading methods (AutoFOM, FOM) and on-station methods for the determination of carcass composition of slaughter pigs were analyzed. All carcasses were fully dissected according to the EU-standard methods and methods used in German abattoirs. The results were used as a reference for all other methods.

In a first step the accuracy of the MRT-technique for prediction of lean meat content in the carcass halves was calculated. The results showed very small relative estimation errors between 2.0% and 3.6%. In conclusion, MRT is an adequate alternative for the time- and cost-consuming full dissection of carcasses. For the prediction of retail cuts the MRT is only partially suitable because of problems to define anatomic fix points in the MRT-images. The prediction of ham and shoulder weight is possible with high accuracies, but chops and tenderloin cannot be predicted with sufficient accuracies (relative estimation errors >5%).

In a next step the accuracy of different formulas for prediction of carcass lean content and the weight of retail cuts were calculated. The formula used for the estimation of carcass lean percentage on-station showed large biases and insufficient estimation errors. However, the modified PLS reconstruction of the formula yields significant improvements in accuracy. In the meanwhile, these formulas are used as a standard for the prediction of carcass lean meat content of on-station tested pigs.

Similar to the on-station methods, the accuracy of the currently applied AutoFOM-formulas was also not sufficient, but could be improved by PLS reconstruction. Although the sample used in this study includes only on-station tested pigs, this result indicates, that a revision of the currently implemented AutoFOM formulas used in carcass grading of commercial slaughter pigs could be advised.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	4
2.1	Schlachtkörperzusammensetzung beim Schwein	4
2.1.1	Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung beim Schwein	5
2.2	Methoden zur Bestimmung bzw. Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung	9
2.2.1	Vollzerlegung als Referenzmethode zur Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung	12
2.2.2	Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf der Basis von Teilstückdaten	16
2.2.3	Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf der Basis linearer, an der Schlachtkörperhälfte gemessener Maße	17
2.2.3.1	Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf der Basis von Daten aus der stationären Leistungsprüfung	18
2.2.3.2	Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung im Rahmen der apparativen Klassifizierung	20
2.2.3.2.1	Invasive Verfahren der apparativen Klassifizierung	20
2.2.3.2.2	Non-Invasive Verfahren der apparativen Klassifizierung	21
2.2.4	Schätzung des Schlachtkörperwerts mittels Tomographie	26
3	Material und Methoden	29
3.1	Versuchsdurchführung	29
3.1.1	Anzahl und Herkunft der Tiere	29
3.1.2	Haltung und Fütterung der Tiere	31
3.1.3	Schlachtung und Leistungsprüfung	32
3.1.4	MRT-Untersuchungen und Analyse der Bilder	37
3.1.5	Vollzerlegung als Referenzmethode	43
3.2	Statistische Auswertungen	45
4	Ergebnisse	50
4.1	Beschreibung der Rohdaten	50
4.1.1	Merkmale aus der stationären Leistungsprüfung	50
4.1.2	Merkmale aus der apparativen Klassifizierung	52

4.1.3	Merkmale aus der MRT	55
4.1.4	Merkmale aus der Vollzerlegung	59
4.2	Genauigkeiten in der Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung aus der Zerlegung mit Hilfe des MRT-Verfahrens	62
4.2.1	Wiederholbarkeiten der Klassifizierung der MRT-Bilder	62
4.2.2	Vergleich der Methoden MRT und Zerlegung	63
4.2.2.1	Muskelmasse und Muskelfleischanteil im Schlachtkörper	63
4.2.2.1.1	Verzerrungen	63
4.2.2.1.2	Schätzfehler (RMSEC, B, CV)	66
4.2.2.2	Teilstückgewichte	73
4.2.2.2.1	Verzerrungen	73
4.2.2.2.2	Schätzfehler (R, RMSEC, CV)	77
4.3	Genauigkeiten in der Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung aus der Zerlegung mit Hilfe der Schlachtkörpermerkmale der stationären Leistungsprüfung	82
4.3.1	Genauigkeiten in der Schätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte und des Fleischanteils im Teilstück Bauch	82
4.3.2	Genauigkeiten der Schätzungen der Teilstückgewichte	88
4.4	Genauigkeiten in der Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung aus der Zerlegung mit Hilfe der Ergebnisse der apparativen AutoFOM-Klassifizierung	90
4.4.1	Genauigkeiten in der Schätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte und des Fleischanteils im Teilstück Bauch	91
4.4.2	Genauigkeiten der Schätzungen der AutoFOM-Teilstückgewichte	96
5	Diskussion	101
5.1	Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf Basis von MRT-Daten	101
5.1.1	Schätzung der Teilstückgewichte auf Basis von MRT-Daten	103
5.2	Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf Basis von LP-Daten	105
5.2.1	Schätzung der Teilstückgewichte auf Basis von LP-Daten	108
5.3	Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf Basis von AutoFOM-Daten	109

5.3.1	Schätzung des Muskelfleischanteils im gesamten Schlachtkörper und im Bauch auf Basis von AutoFOM-Daten	111
5.3.2	Schätzung der Teilstückgewichte auf Basis von AutoFOM-Daten	112
5.4	Auswahl der statistischen Verfahren	113
6	Zusammenfassung	116
7	Quellenverzeichnis	121

Abkürzungsverzeichnis

ALZ	Ausschuss für Leistungsprüfung und Zuchtwertschätzung
AutoFOM	Automatisches Fat-O-Meater
B	Bestimmtheitsmaß
BAFF	Bundesanstalt für Fleischforschung
BHZZ	Bundeshybridzuchtprogramm
CT	Computer-Tomographie
CV	Coefficient of Variation
db	siehe BHZZ
DE	Deutsches Edelschwein
DL	Deutsche Landrasse
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
Du	Duroc
etc.	et cetera
e+v	e+v-Technology GmbH, Oranienburg
EU	Europäische Union
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FOM	Fat-O-Meater
g	Gramm
GFS	Genossenschaft zur Förderung der Schweinehaltung eG
ggf.	gegebenenfalls
HaDu	Hampshire×Duroc
HaPi	Hampshire×Piétrain
HU	Hounsfield-Unit
IMF	Intramuskulärer Fettgehalt
kg	Kilogramm
LP	Leistungsprüfung
LPA	Leistungsprüfanstalt
LRS	Landesverband Rheinischer Schweinezüchter
LW	Large White
MFA	Muskelfleischanteil
Min	Minuten

M. long. dorsi	Musculus longissimus dorsi
MR	Magnet-Resonanz
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
MSE	mittlerer quadratischer Fehler (mean square error)
NEZ	Niedersächsische Erzeugergemeinschaft für Zuchtschweine eG
OLS	Ordinary-Least-Square
Pi	Piétrain
PLS	Partial Least Square
PRESS	Predicted Residual Sum of Squares
r	Korrelation
RMP	Root Mean Press
RMSEC	Root Mean Square Error of Calibration
RSD	Residual Standard Deviation)
SFK	SFK-Technology, Dänemark
SK	Schlachtkörper
SNW	Schweineerzeuger Nord-West eG
STW	Stepwise
TZ	Tägliche Zunahme
US	Ultraschall
VIA	Video-Image-Analyse
VIP	Variable Importance for Projection
ZDV	Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion e.V.
ZP	Zweipunkt
z. T.	zum Teil

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Herkunftsmittelwerte für den Fleischanteil der Teilstücke und der Schlachthälfte (%)	8
Tab. 2:	Körperzusammensetzung in Abhängigkeit von Gewicht (ohne Kopf und Füße) und Geschlecht bei Landrasse-Schweinen (HANSSON et al., 1984)	8
Tab. 3:	Handelsklassenschema für Schweinehälften (gilt für Schlachtkörper mit einem Schlachtkörpergewicht von 50-120 kg)	11
Tab. 4:	Unterschiede (mittlere MFA-Abweichung in %) im festgestellten Muskelfleischanteil getrennt nach Zerlegern	16
Tab. 5:	Durchschnittliche Anteile (%) an Muskelfleisch in ausgewählten Teilstücken (DLG-Schnittführung) in Abhängigkeit vom Muskelfleischanteil (%) des Schlachtkörpers (HÖRETH, 1995)	17
Tab. 6:	Genauigkeiten der Schätzung von Teilstücken und Muskelfleischanteilen beschrieben durch die Korrelationen, die Schätzfehler und die relativen Schätzfehler (BRANSCHIED et al., 1997a)	24
Tab. 7:	Genauigkeiten der Schätzung des Muskelfleischanteils von Schweineschlachtkörpern (BRØNDUM et al., 1997)	25
Tab. 8:	Verteilung der Schweine auf die Rassen, Geschlechter und Gewichtsklassen	30
Tab. 9:	Zusammensetzung bzw. Nährstoffgehalt des Prüfungsfutters	31
Tab. 10:	Lage von Markierungsgegenständen auf den Schweineschlachthälften	39
Tab. 11:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Mastleistungskriterien, getrennt nach Rassen (n=292)	50
Tab. 12:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Schlachtkörpermerkmale, getrennt nach Rassen (n=292)	51
Tab. 13:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Speck- und Muskeldicken sowie der Muskelfleischanteile ermittelt mit der Ultraschallreferenzmethode (US-Hellige), dem Zweipunktverfahren, dem FOM- und dem AutoFOM-Gerät, getrennt nach Rassen (n=202)	53

Tab. 14:	Mittelwerte und Standardabweichungen der AutoFOM-Teilstückgewichte sowie Muskelfleischanteile in der Schlachtkörperhälfte, getrennt nach Rassen (n=292)	54
Tab. 15:	Mittelwerte und Standardabweichungen von Muskel- und Fettgewicht sowie Muskel- und Fettvolumen aus der Tomographie, getrennt nach Rassen und Untersuchungsmethoden (MRT: n=292, MRT + Zerlegung: n=200)	56
Tab. 16:	Mittelwerte und Standardabweichungen von Muskel- und Fettgewicht in kg der Tomographieteilstücke T1-T5, getrennt nach Rassen und Untersuchungsmethoden (MRT: n=292, MRT + Zerlegung: n=200)	58
Tab. 17:	Mittelwerte und Standardabweichungen aus der Zerlegung der Schlachtkörperhälften nach DLG- Schnitt (n=202)	60
Tab. 18:	Mittelwerte und Standardabweichungen aus der Zerlegung der Schlachtkörperhälften nach Praxisschnitt (n=202)	61
Tab. 19:	Wiederholbarkeiten von Volumenerfassungen unterschiedlicher Gewebe bei der Bildauswertung durch zwei Benutzer (n=30)	63
Tab. 20:	Mittelwerte und Standardabweichungen für die Merkmale Muskelgewicht aus der Zerlegung sowie Muskelvolumen und -gewicht aus der Tomographie (MRT)	64
Tab. 21:	Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers auf Basis der MRT-Merkmale des gesamten Schlachtkörpers aus der Zerlegung (n=199)	67
Tab. 22:	Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers aus der Zerlegung auf Basis von Merkmalen der MRT, dem Schlachtkörpergewicht, der Schlachtkörperlänge und dem $MFA_{AutoFOM}$ (n=199)	68
Tab. 23:	Berücksichtigte Prädiktoren bei der Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers aus der Zerlegung auf Basis der in Tab. 22 beschriebenen Modelle und der Methode „Stepwise“	69
Tab. 24:	Genauigkeiten der Stepwise-Schätzungen des Muskelfleischgewichts der Schlachtkörperhälfte mit Hilfe von Schlachtgewicht und Muskel- und Fettvolumen der MRT-Teilstücke (n=200)	71

Tab. 25:	Berücksichtigte Prädiktoren bei der Schätzung des Muskelfleischgewichts der Schlachtkörperhälfte mit Hilfe von Schlachtgewicht und Muskel- und Fettvolumen aller MRT-Teilstücke T1-T5 mit Hilfe der Regressionsmethode Stepwise (n=200)	72
Tab. 26:	Differenzen (Δ) zwischen den geschätzten MRT-Muskelfleischmassen von Teilstücken und entsprechenden Teilstücken aus der Zerlegung, getrennt nach Herkünften (n=193)	75
Tab. 27:	Genauigkeit der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte aus der Zerlegung auf Basis des Schlachtgewichts und der Muskelfleischvolumina von MRT-Teilstücken	78
Tab. 28:	Genauigkeit der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte aus der Zerlegung auf Basis des Schlachtgewichts und der Muskelfleischvolumina von MRT-Teilstücken (Fortsetzung Tab. 27)	79
Tab. 29:	Berücksichtigte Prädiktoren bei der „Stepwise“-Schätzung der Teilstückgewichte aus Zerlegung auf Basis des Muskelvolumens korrespondierender MRT-Teilstücke und dem Schlachtkörpergewicht, getrennt nach Herkunft	80
Tab. 30:	Berücksichtigte Prädiktoren bei der „Stepwise“-Schätzung der Teilstückgewichte aus der Zerlegung auf Basis des Muskelvolumens von MRT-Teilstücken und dem Schlachtkörpergewicht, getrennt nach Herkunft	81
Tab. 31:	Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ und der „angepassten“ Bonner Formel (n=292)	83
Tab. 32:	Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ und der „angepassten“ Gruber Formel (n=292)	84
Tab. 33:	Stepwise-Regressionsformeln zur Abschätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers, getrennt nach Herkunft	86
Tab. 34:	PLS-Regressionsformeln (einschließlich der VIP's der Prädiktoren) zur Abschätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers, getrennt nach Herkunft	87

Tab. 35:	Genauigkeit (in %) der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte nach DLG-Schnitt auf Basis der LP-Maße	89
Tab. 36:	Genauigkeit der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte nach Praxis-Schnitt auf Basis der LP-Maße	90
Tab. 37:	Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ apparativen Klassifizierungsformeln	92
Tab. 38:	Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Formeln	93
Tab. 39:	Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ AutoFOM-Formeln	94
Tab. 40:	Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers nach DLG-Schnitt auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Formeln	94
Tab. 41:	Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers nach Praxis-Schnitt auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Formeln	95
Tab. 42:	Genauigkeit der Schätzung von Teilstückgewichten auf Basis der „alten“ AutoFOM-Teilstückformeln	96
Tab. 43:	Genauigkeit der Schätzung des Lachs- und Schinkengewichts (DLG-Schnitt) auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Teilstückformeln	98
Tab. 44:	Genauigkeit der Schätzung des Bug- und Teller gewichts, schier (DLG-Schnitt) auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Teilstückformeln	99
Tab. 45:	Genauigkeit der Schätzung des Bauchgewichts (DLG-Schnitt) auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Teilstückformeln	100
Tab. 46:	Genauigkeiten in der Abschätzung des Muskelfleischanteils im gesamten Schlachtkörper und im Teilstück Bauch	107
Tab. 47:	Genauigkeiten in der Abschätzung ausgewählter zerlegter Teilstücke	109

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung beim Schwein	9
Abb. 2:	DLG-Schnittführung nach SCHEPER und SCHOLZ (1985)	13
Abb. 3:	Querschnitt durch einen Schlachtkörper und die Edelstahlwanne mit Ultraschallköpfen des AutoFOM-Geräts	34
Abb. 4:	Beispiel für das Ultraschall-Reflexions-Profil eines Ultraschallkopfes	34
Abb. 5:	Linke Schlachtkörperhälfte eines Schweins im Tunnel des Tomographen	39
Abb. 6:	Darstellung eines MRT-Bildes	40
Abb. 7:	Darstellung der Abgrenzungen der „Tomographie-Teilstücke“	42
Abb. 8:	Darstellung verschiedener Bild-Schnittebenen eines menschlichen Körpers	43
Abb. 9:	Linke Schlachtkörperhälfte eines Schweins, zerlegt in die Teilstücke nach DLG-Schnittführung	44
Abb. 10:	Schematische Darstellung des PLS-Verfahrens (RANDALL, 1995)	47
Abb. 11:	Abhängigkeiten zwischen dem „Muskelfleischanteil aus der Zerlegung“ und „Differenzen (Δ) zwischen den Methoden MRT und Zerlegung in den Merkmalen Muskelmasse bzw. Muskelfleischanteil	65

1 Einleitung

Für die Schweinefleischproduktion und deren Vermarktung ist die Körperzusammensetzung der Schlachtschweine von entscheidender Bedeutung (ECKERT et al., 2001). So erfolgt die Bezahlung der Schlachtschweine derzeit überwiegend auf der Basis von Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers und Schlachtkörpergewicht. Die Schätzung des Muskelfleischanteils ist mit apparativen Klassifizierungsmethoden und Verwendung weniger linearer Muskel- und Speckdickenmaße (FOM) mit ausreichender Genauigkeit möglich. Die Angabe des Muskelfleischanteils reicht jedoch vielen Schlachtunternehmen mit überwiegender Teilstückvermarktung nicht mehr aus, da zusätzliche Informationen über die Teilstückausprägungen und -gewichte benötigt werden (BEUCK, 2000). Die Vorhersage dieser benötigten Teilstückinformationen wird, neben einer genauen Schätzung des Magerfleischanteils des Schlachtkörpers, durch das vollautomatisch arbeitende AutoFOM-Klassifizierungsgerät ermöglicht. Diese Vorteile haben dazu geführt, dass sich besonders im nordwestdeutschen Raum die AutoFOM-Klassifizierung bereits auf vielen Schlachtstätten bewährt hat oder in absehbarer Zeit eingeführt wird. Grundlage der Bezahlung ist bei der AutoFOM-Klassifizierung der tatsächliche Handelswert des Schlachtkörpers unter Berücksichtigung des Marktwertes der Teilstücke Schinken, Schulter, Lachs und Bauch (LOOSER und HENSEL, 2006). Nach BRANSCHIED et al. (1997a) und BRØNDUM et al. (1998) korrelieren die mit AutoFOM geschätzten Fleischanteile enger mit dem wahren Fleischanteil, als die mit der FOM-Sonde ermittelten Werte. Zusätzlich ist der Schätzfehler des AutoFOM-Geräts gegenüber dem FOM-System reduziert.

Die Abkehr von der traditionellen Bezahlung nach Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers hin zur Handelswert-Klassifizierung wirft die Frage nach züchterischen Konsequenzen auf.

Im Rahmen der stationären Leistungsprüfung beim Schwein erfolgt die Schätzung des Muskelfleischanteils in der Schlachtkörperhälfte anhand von Schlachtkörpermaßen, die in eine Regressionsgleichung, die so genannte Bonner Formel, eingehen. Diese Formel wurde 1986 von SCHMITTEN et al. (zitiert in ALZ, 1987) entwickelt und im Rahmen der Anpassung der Schnittführung bei Schweineschlachtkörpern, die mit der 4. Durchführungsverordnung des Vieh- und Fleischgesetzes 1994 festgelegt wurden,

approximativ modifiziert (THOLEN und SCHMITTEN, 1992, zitiert in ALZ, 1992). Wichtige Veränderungen in den Durchführungsbestimmungen der Stationsprüfung, wie die Erhöhung des Schlachtkörpergewichts der Prüftiere von 80 auf 85 kg (1992) und die Prüfung von Börgen anstelle von Sauen bei den Mutterlinien Deutsches Edelschwein und Deutsche Landrasse (1996) sowie züchterisch verbesserte Zuchtschweinepopulationen haben jedoch Zweifel an der Schätzgenauigkeit der Bonner Formel aufkommen lassen. Darüber hinaus könnten die verbesserten apparativen Klassifizierungsgeräte eine kostengünstige Alternative oder Ergänzung der aufwändig zu erfassenden Bonner Formel darstellen, so dass eine Überprüfung moderner apparativer Klassifizierungsgeräte bei der Beurteilung der Schlachtkörperqualität von leistungsgeprüften Zuchtschweinen sinnvoll erscheint.

Die Überprüfung der Schätzgenauigkeit apparativer Klassifizierungsgeräte und die Entwicklung von Regressionsformeln hat die Definition einer Referenzgröße der „wahren“ Schlachtkörperzusammensetzung zur Voraussetzung. Auf Grund seiner höchst möglichen Genauigkeit dient derzeit die Vollzerlegung der Schlachtkörper, mit direkter Bestimmung der verschiedenen Gewebefraktionen Fett, Fleisch, Sehnen und Knochen als offizielle Referenz. Entscheidende Nachteile sind die nur einmal mögliche Durchführung pro Tier sowie die Personal- und Kostenintensität dieses Verfahrens (BAULAIN et al., 1990). Aufgrund dessen ist es nicht möglich, diese Methode in jede Untersuchung mit einzubeziehen. Eine vergleichbar hohe Genauigkeit ist durch die Anwendung der nicht invasiven Magnet-Resonanz-Tomographie erreichbar. Mit Hilfe dieses aus der Humanmedizin stammenden Verfahrens können zweidimensionale Bilder aus jeder beliebigen Schnittebene eines Körpers erzeugt werden, die eine Bestimmung der Muskel- und Fettvolumina von Tieren zulassen. Damit stellt dieses Verfahren ein wertvolles Hilfsmittel dar, mit dem auf nicht invasivem Weg detaillierte anatomisch-morphologische Informationen über die Körperzusammensetzung beispielsweise von Schweinen, erworben werden können (GRIEP, 1991; KALLWEIT et al., 1994). Bei vergleichbarer Genauigkeit und reduziertem Personal, Zeit und Kostenaufwand ist das MRT-Verfahren als alternative Referenzgröße in Betracht zu ziehen.

Ziele der vorliegenden Arbeit sind:

- Eine Überprüfung der Genauigkeit der im Rahmen der stationären Geschwister-/Nachkommenprüfung angewandten Formel zur Schätzung des Fleischanteils und gegebenenfalls die Entwicklung verbesserter Schätzformeln für den Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte.
- Eine Verifikation der apparativen AutoFOM- und FOM-Klassifizierung im Hinblick auf einen potentiellen Einsatz in der Leistungspüfung als Alternative oder Ergänzung der stationären Schlachtkörperbeurteilung,
- Eine Überprüfung der Eignung der Magnet-Resonanz-Tomographie als alternatives Referenzverfahren zur Beurteilung der Genauigkeiten verschiedener Schätzverfahren der Schlachtkörperzusammensetzung.

2 Literaturübersicht

2.1 Schlachtkörperzusammensetzung beim Schwein

Fleisch stellt in der Ernährung des Menschen eine ganz entscheidende Quelle für die Versorgung mit Energie, Eiweiß, Mineralstoffen und Spurenelementen dar (ROGOWSKI, 1974,1982, JUL, 1983a,b, WENK und PRABUCKI, 1989).

Bis in die fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurde die Schweinemast hauptsächlich unter der Prämisse der Erzeugung des extrem begehrten Schweinefettes durchgeführt, welches als Speisefett eingesetzt wurde. Erst als es in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu einem überreichen Angebot an pflanzlichen Speisefetten kam, ging auch die Nachfrage nach Fettschweinen spürbar zurück (VON LENGERKEN et al., 1998). Dies spiegelt sich auch in der Bezahlung wider. Während in den fünfziger Jahren fettes Schweinefleisch (z.B. Rückenspeck und Flomen) genauso gut bezahlt wurde wie Kotelett, Schinken und Schulter, entwickelten sich in den sechziger Jahren die Preise erheblich auseinander, so dass in den siebziger Jahren die fetten Teilstücke nur noch etwa ein Drittel des Preises der mageren Teilstücke erzielten (WEILER und HOFÄCKER, 1997). Dem Wunsch des Verbrauchers nach magerem Fleisch wird und wurde im Rahmen von Schweinezuchtprogrammen entsprochen und so erfolgte die Umzüchtung zum heute vom Markt gewünschten Fleischschwein. Diese Umzüchtung setzt sich auch heute noch weiter fort, da die Konsumenten weiterhin Fleischprodukte mit minimalen Mengen an Auflagefett eindeutig präferieren (PRINGLE und WILLIAMS, 2001). Aufgrund dessen ist auch die gesamte fleischverarbeitende Industrie daran interessiert, Schweine mit möglichst hohen Muskelfleischanteilen einzukaufen und motiviert deshalb Züchter und Produzenten diese Schweine zur Verfügung zu stellen. Nach SCHEPER und SCHOLZ (1985) änderte sich das Fleisch-/Fettflächenverhältnis im Kotelett (*Musculus longissimus dorsi*) in dem Zeitraum von 1958/59 von 1:1,12 auf 1:0,49 im Jahr 1982. Heute liegt das Fleisch-/Fettverhältnis bei marktüblichen, weiblichen Endprodukten [$P_i \times (DE \times DL)$], deren Schlachtkörperwert im Rahmen der Stationsprüfung getestet wird, bei einem Verhältnis von 1:0,26 (ZDS, 2002).

Die Erforschung der Schlachtkörperzusammensetzung dient bis heute vorrangig der Modellierung des Wachstums und der Bewertung von Schweineproduktionssystemen

sowie der Verbesserung der Teilstückzusammensetzung (SCHINCKEL und DeLANGE, 1996, WAGNER et al., 1999). Diese verschiedenen Gebiete der Nutztierwissenschaften stellen folglich sehr unterschiedliche Ansprüche an die Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung. Für wissenschaftliche Zwecke und die Tierzucht stehen Verfahren mit hoher Genauigkeit im Mittelpunkt des Interesses (GISPERT et al., 1999; THOLEN et al., 2003; WALSTRA, 1999/2000).

2.1.1 Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung beim Schwein

Im Rahmen der amtlichen Klassifizierung erfolgt die Ermittlung des Muskelfleischanteils bzw. des Anteiles der wertvollen Teilstücke von Schweineschlachtkörpern und damit der Handelsklasseneinstufung auf Basis der Messdaten von Choirometern (z.B. FOM, AutoFOM). Die Bezahlung des Schlachtkörpers basiert maßgeblich auf diesen Werten. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Schweine den höchsten Preis erzielen, die ein bestimmtes Schlachtgewicht und möglichst hohe Fleischanteile erreichen (BEUCK, 2004; JÄGER, 2005). Aufgrund des stärkeren Fettansatzes mit zunehmendem Lebend- bzw. Schlachtgewichts ist das Schlachtkörpergewicht in den letzten 50 Jahren auf einen durchschnittlichen Wert von 92,5 kg bei einer Ausschachtung von ca. 80 % gesunken (ZDS, 2002). Dieser Wert wird in den Ausführungen von MATTHES und SCHIMKE (2000) als optimales Schlachtgewicht bezeichnet, da mit Schweinen dieser Gewichtsklasse der höchste ökonomische Gewinn erzielt werden kann.

Deshalb ist die Kenntnis über Veränderungen der Körperzusammensetzung von Schweinen in Abhängigkeit verschiedenster Einflussfaktoren von besonderer Bedeutung. Diese Zusammenhänge sollen im Folgenden kurz dargestellt werden.

Während der Aufzucht- und Mastperiode (Reifephase) variiert die Körperzusammensetzung bei Schweinen in erheblichem Maße. Neben der Massezunahme kommt es zu einer Veränderung der Gewebeproportionen (SPEER, 1988; FLACHOWSKY, 1998; NÜRNBERG et al., 1998). Es werden Schwerpunkte im Rahmen der Entwicklung gesetzt und vorübergehend einzelne Gewebe besonders gefördert. Dadurch kommt es auch zu Veränderungen der Körperproportionen. Diese Proportionsänderungen entstehen dadurch, dass relativ zum Wachstum des

Gesamtkörpers einzelne Körperteile eine höhere oder niedrigere Wachstumsgeschwindigkeit aufweisen (HAMMOND, 1932). Nach HAMMOND (1960) hängen die Entwicklungsphasen der Körpergewebe von ihrer Funktion im Körper ab. Als erstes wird bei einer entsprechenden Nährstoffversorgung die Entwicklung des Nervengewebes und des Gehirns abgeschlossen. Im Folgenden wird nacheinander das Wachstum von Knochen, Muskeln und Fett beendet. Dieses Phänomen der unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten innerhalb des Organismus wird nach HUXLEY (1932) als allometrisches Wachstum bezeichnet. Der Ablauf dieser Massenbildung ist beim Mastschwein unter den Bedingungen „normaler“ Fütterung gekennzeichnet durch:

- verstärkten, während der Mast leicht rückläufigen Ansatz an Rohasche (in erster Linie Knochen),
- anfangs ansteigenden, dann weitgehend gleich bleibenden Proteinansatz,
- ansteigenden Fettansatz mit fortschreitender Mast,
- fortlaufend abnehmenden Wassergehalt („physiologische Austrocknung“).

In einer Untersuchung von FEWSON et al. (1990b) wird das relative Wachstum der Teilstücke bezogen auf die Schlachthälfte untersucht. Sie stellen fest, dass im Vergleich zur Schlachthälfte die Teilstücke Schinken und Schulter einen frühreifen Wachstumsverlauf erkennen lassen und leiten ab, dass dies auf eine besondere Bedeutung des Bewegungsapparates in der Jugendentwicklung schließen lässt. Ferner scheint nach ihren Ausführungen ein Zusammenhang zwischen dem Fettanteil der Teilstücke und deren relativem Wachstum zu bestehen. Je höher der Fettanteil eines Teilstücks ist, desto stärker ist ein spätreifer Wachstumsverlauf ausgeprägt und umgekehrt. Es konnten keine Herkunfts- bzw. Rasseunterschiede für den Wachstumsverlauf der einzelnen Teilstücke nachgewiesen werden. Laut HÖRNICKE (1961) kommt aus ökonomischer Sicht dem Proteinansatz, d.h. dem Muskelwachstum die größte Bedeutung zu. Ein verstärkter bzw. ansteigender Fettansatz ist aus zwei Gründen unwirtschaftlich: a) erhöhter Nährstoffverbrauch je kg Zuwachs und b) abfallende Verkaufserlöse durch niedrigere Muskelfleischanteile im Schlachtkörper (BURGSTALLER, 1991).

Ein weiterer Faktor für die Variation der Körperzusammensetzung liegt in der Genetik der Schweine. Je nach Rasse haben die Schweine ein unterschiedliches

Fleischbildungspotential. (KAUFMANN, 2006; GLODEK et al. 2004; MATTHES und SCHIMKE 2000; BRANDT, H. 2000). In Untersuchungen von GLODEK et al. (2004) wurden Schweine der Herkünfte db-Sau×Pi-Eber, db-Sau×Du-Eber, db-Sau×HaDu-Eber und db-Sau×HaPi-Eber miteinander verglichen. Signifikante Rassenunterschiede konnten sowohl bei den Schlachtkörpermaßen als auch bei den Teilstückanteilen festgestellt werden. Der prozentuale Anteil wertvoller Teilstücke war bei den Pi-Nachkommen am höchsten. Er lag 2,0% über dem der Du-Tiere. Bei den einzelnen Teilstücken gab es vor allem im Schinken-, Schulter-, und Bauchanteil signifikante Rassenunterschiede. Den höchsten Schinken-, Kotelett- und Schulteranteil hatten die Pi-Nachkommen. Den höchsten Bauchanteil erreichten die Du-Nachkommen. Dies wird auch in Untersuchungen von FEWSON et al. (1990a) berichtet. Es konnten für die einzelnen Herkünfte Differenzen im Fleischanteil von über 10% ermittelt werden (Tab.1).

Während die Qualität der wertvollen Teilstücke zum überwiegenden Teil durch die Zusammensetzung des gesamten Schlachtkörpers zu erklären ist, besitzt das Teilstück Bauch eine Sonderrolle. Dieses Teilstück weist den niedrigsten Fleischanteil auf, der je nach genetischer Herkunft ein bis sechs Prozentpunkte unter dem des Schlachtkörpers (THOLEN et al., 1998) liegt. Darüber hinaus wurden bei diesem Teilstück vergleichsweise niedrigere Korrelationen zum Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte und zum Muskelfleischanteil der anderen Teilstücke geschätzt (FEWSON et al., 1990b, HULSEGG et al., 1994). Dennoch hat das Teilstück Bauch vorrangig in den Sommermonaten eine besondere wirtschaftliche Bedeutung, welche sich aus den deutlichen Preisunterschieden zwischen „Grill“- und „Verarbeitungsbäuchen“ ergibt. Erlösunterschiede von bis zu 70% können zwischen diesen beiden Qualitätsgruppen festgestellt werden (PFUHL und GLODEK, 1996).

Des Weiteren wird die Körperzusammensetzung durch das Geschlecht der Tiere beeinflusst (BRANDT et al., 2000; WALSTRA, 1980/2000; HANSSON et al., 1984). Diesen Zusammenhang verdeutlicht Tab. 2. In allen Gewichtgruppen weisen die Börgen immer den niedrigsten und die Eber den jeweils höchsten Muskelfleischanteil auf. Mit zunehmendem Gewicht nehmen die Muskelfleischanteile in allen drei Gruppen sukzessive ab. Eine Erhöhung des Schlachtgewichts von 110 auf 130 kg führte bei den untersuchten Kastraten zu einer Reduktion des Muskelfleischanteils um 2,34% auf

49,28% und bei den Sauen zu einer Reduktion des Muskelfleischanteils in Höhe von 1,7% auf 51,5% Fleischanteil. Diese Unterschiede im Muskelbildungsvermögen sind durch die unterschiedlichen Konzentrationen an anabolen Gonadensteroiden erklärbar, die Futteraufnahme, Proteinsynthese und Proteinabbau beeinflussen (NEUPERT et al., 1995).

Tab. 1: Herkunftsmittelwerte für den Fleischanteil der Teilstücke und der Schlachthälfte (%)

Teilstücke	LW	Pi×DL	DL	Pi × (LW×DL)	Pi
Schinken	62,9	70,3	69,2	71,4	75,5
Schulter	57,6	64,0	63,9	64,3	67,4
Kotelett und Kamm	55,9	63,1	63,5	63,8	67,3
Bauch	50,6	56,0	54,5	55,9	61,2
Schlachthälfte	51,4	58,5	58,2	59,2	63,4

Tab. 2: Körperzusammensetzung in Abhängigkeit von Gewicht (ohne Kopf und Füße) und Geschlecht bei Landrasse-Schweinen (HANSSON et al., 1984)

	Gewicht (kg)	Börge	Sauen	Eber
Muskelfleisch (%)	70	57,06	59,25	60,09
	90	52,61	57,23	58,07
	110	51,62	53,20	56,82
	130	49,28	51,50	56,91
Fett (%)	70	31,58	28,76	27,39
	90	36,70	31,83	30,38
	110	38,43	36,42	32,45
	130	40,98	38,59	32,72
Knochen (%)	70	11,36	11,94	12,58
	90	10,70	10,95	11,56
	110	9,95	10,38	10,73
	130	9,74	9,92	10,37

Weitere Faktoren für die Variation der Körperzusammensetzung sind der Gesundheits- und Ernährungszustand der Schweine (CHRISTEN, 2006; KIRCHGESSNER, 2004; BURGSTALLER, 1991), die Rationsgestaltung (MC MEEKAN, 1940 b), der Stoffwechsel und die Umwelt- bzw. Haltungsbedingungen (siehe Abb. 1).

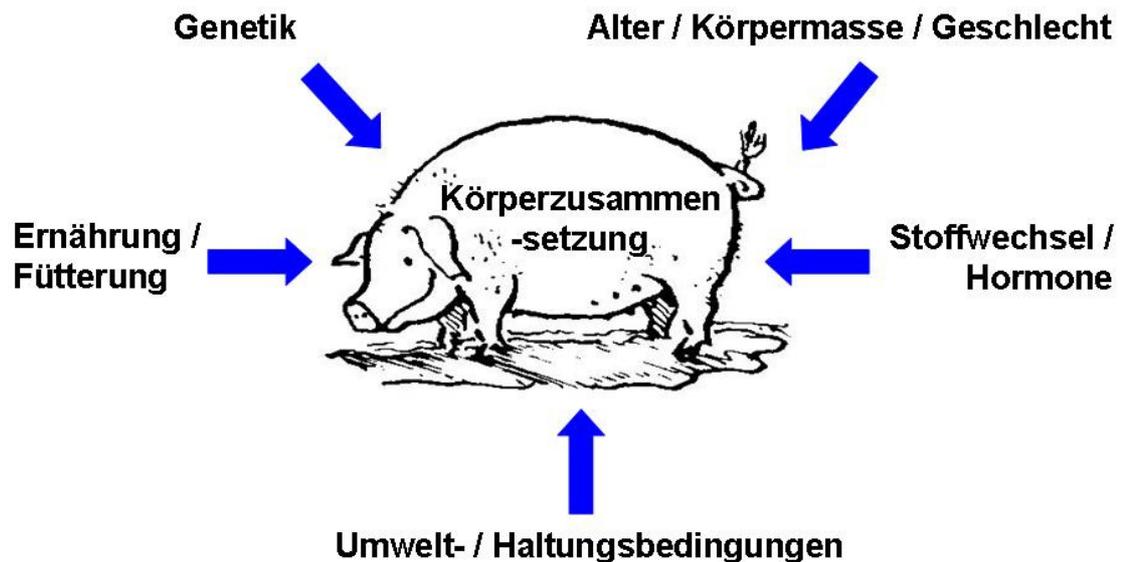


Abb. 1: Einflussfaktoren auf die Körperzusammensetzung beim Schwein

2.2 Methoden zur Bestimmung bzw. Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung

Die Erzeugerpreisbildung für Schweinehälften basierte in Deutschland lange Zeit ausschließlich auf dem Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte. In der Weitervermarktung der Schlachtunternehmen wird der Handelswert jedoch entscheidend durch die Variabilität der Teilstücke bestimmt (SÖNNICHSEN et al., 2001). Daraus resultiert die Zulassung und Installation des vollautomatischen AutoFOM-Klassifizierungsgeräts in vielen deutschen Schlachthöfen, welches neben der Bestimmung des Muskelfleischanteils eine Schätzung der Gewichte der wertbestimmenden Teilstücke durchführt.

Besonders fleischreiche und gleichzeitig relativ fettarme Schlachtkörper werden besonders gut bezahlt (KALLWEIT et al., 1994; BURGSTALLER, 1991). Dem Anteil wertvoller, gut bezahlter Teilstücke, wie Kotelett und Schinken kommt dabei eine besondere wirtschaftliche Bedeutung zu. Der Muskelfleischanteil eignet sich nach DOBROWOLSKI und BRANSCHIED (1997) als Kriterium der Schlachtkörpereinstufung, weil er eine objektive Wertbestimmung zulässt. Muskelfleisch- und Fettanteil stehen bei den Schlachtschweinen in einer strikt gegenläufigen Beziehung zueinander, so dass mit der Bestimmung der wertvollen Komponente (Fleisch) gleichzeitig indirekt auch die Berücksichtigung der ökonomisch belastenden Komponente (Fett) gewährleistet ist.

Deshalb wurden bereits vor etwa 100 Jahren Anfänge in der Schlachtkörperbewertung gemacht. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Schlachtkörpereinstufung vorrangig durch die visuelle Betrachtung und die Einschätzung von Größe und Konformation der einzelnen Körperpartien bestimmt. Diese Methode beruht ausschließlich auf einer subjektiven Betrachtung des Schlachtkörpers. Während sich äußere anatomische Merkmale noch weitgehend subjektiv erfassen lassen, ist dies für die Körperzusammensetzung nur recht ungenau möglich (KALLWEIT et al., 1994). Deshalb wurde damit begonnen, Messungen zu etablieren, die in einem engen Zusammenhang mit dem Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers stehen. Bereits 1963 führte BUTTERFIELD lineare Maße zur Schlachtkörperbeurteilung ein. Diese Maße wurden zur Ermittlung des Muskelfleischanteils in der Schlachtkörperhälfte genutzt.

Seit dem 1. Juli 1967 besteht ein kollektiver Markt für Schweinefleisch in der EU. Die zusammenfassende rechtliche Grundlage für diesen gemeinsamen Markt stellt die EU-Verordnung Nr. 2759/75 dar. Aufgrund der bis dato nicht uniformen Schlachtkörperbewertung in der Staatengemeinschaft wurde im Jahr 1975 damit begonnen, einheitliche Standards für die Klassifizierung von Schweineschlachtkörpern in dem gemeinsamen Handelsraum festzulegen. Ziel dieser Vereinbarungen war und ist, eine bessere Markttransparenz und eine Differenzierung in der Bezahlung, die sich an den Schlachtkörperqualitäten orientiert, zu erreichen. Außerdem sollte eine Gruppierung der Schlachtkörper nach ihrer Verarbeitungseignung möglich werden. Vor der Einführung objektiver Messapparaturen erfolgte die Einstufung der Tiere in Klassen nach dem Lebendgewicht. Die Einführung objektiver Messungen zur Feststellung des Muskelfleischanteils der Schlachtkörperhälfte erfolgte 1984. Seitdem ist es möglich mit

dem halbautomatischen Fat-O-Meater den Fleischanteil zu bestimmen. Im Rahmen der Durchführung eines freiwilligen Anerkennungsverfahrens für Klassifizierungsgeräte, wie z.B. dem FOM-Gerät, konnten drei Geräte auf ihre Messgenauigkeit in Bezug zum Referenzmuskelfleischanteil aus der grobgeweblichen Zerlegung (siehe 2.2.1) überprüft werden. Aus der (den) Messung(en) wird dann anhand einer Regressionsgleichung der Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte abgeleitet. Seit 1991 ist die EU-weite ausschließliche Verwendung zugelassener und geeichter Klassifizierungsgeräte mit einheitlicher Messstelle und Formel vorgeschrieben (BML, 1990).

Mit Hilfe des berechneten Muskelfleischanteils können die Schweine dann in das EUROP-Handelsklassensystem eingeordnet werden (Tab. 3).

Tab. 3: Handelsklassenschema für Schweinehälften (gilt für Schlachtkörper mit einem Schlachtkörpergewicht von 50-120 kg)

Handelsklasse	Anforderungen
E	Muskelfleischanteil 55% und mehr
U	Muskelfleischanteil 50% und mehr, jedoch weniger als 55%
R	Muskelfleischanteil 45% und mehr, jedoch weniger als 50%
O	Muskelfleischanteil 40% und mehr, jedoch weniger als 45%
P	weniger als 40% Muskelfleischanteil
M 1	Schlachtkörper von vollfleischigen Sauen
M 2	Schlachtkörper von anderen Sauen
V	Schlachtkörper von Ebern und Altschneidern

Als Referenzgerät bei der Zulassung von Klassifizierungsgeräten wird seit 1989 der Ultraschallscanner „Hellige SSD 256“ eingesetzt.

1994 wurde das Referenzverfahren Vollzerlegung auf EU-Ebene bestätigt (Verordnung Nr. 3127/94). Aus den Ergebnissen der Vollzerlegung wird in allen EU-Mitgliedsstaaten der Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers in % anhand einer Regressionsgleichung abgeleitet. Diese Größe stellt auch die Basis für die unterschiedlichen Bezahlungssysteme der Produzenten dar (OLSEN, 2001).

Im Jahr 2006 wurde die Verordnung zum gemeinschaftlichen Handelsklassenschema für Schweineschlachtkörper zum letzten Mal abgeändert (Verordnung Nr. 1197/2006).

Hierin ist exakt determiniert, welche Genauigkeiten (RMSEC<2,5%) die unterschiedlichen Klassifizierungsverfahren für ihre Zulassung aufweisen müssen und anhand welcher Parameter sie überprüft werden. Die Messwerte, die der Schätzung zugrunde liegen, sollen gut reproduzierbar sein und es darf zu keinen Verzerrungen der Messergebnisse kommen. Jede neue Klassifizierungsmethode muss anhand eines Zerlegeversuchs verifiziert werden, um die Zulassung als offizielles Klassifizierungsgerät zu erhalten.

2.2.1 Vollzerlegung als Referenzmethode zur Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung

Die Körperzusammensetzung lässt sich für verschiedene Zielsetzungen unterschiedlich definieren und untersuchen. Diese Definition ist wesentlich vom Arbeits- und Kostenaufwand abhängig, den der Versuchsansteller bereit ist zu erbringen (KEMPSTER et al., 1982). Die exakteste Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung und zur Bestimmung von Wachstumsdifferenzen ist die Vollzerlegung (SWENSEN et al., 1998a,b). Diese wird seit über 100 Jahren zum Zweck der Zuchtwertschätzung im Rahmen der Nachkommenschaftsprüfung vorgenommen (KALLWEIT et al., 1994).

Die Vollzerlegung des Schlachtkörpers kann unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Schnittführungen durchgeführt werden. In Deutschland hat sich die DLG-Schnittführung nach SCHEPER und SCHOLZ (1985) bewährt. Diese stimmt mit Ausnahme der Definition des Teilstücks Bug/Brustspitze hinsichtlich der Schnittführung exakt mit der EU-Referenzmethode nach WALSTRA und MERKUS (1995) überein.

Der DLG-Schnitt (siehe Abb. 2) stellt einen Kompromiss zwischen handelsüblichen Zuschnitten und den Erfordernissen wissenschaftlicher Untersuchungen einschließlich deren Standardisierung dar. Ein besonderer Vorteil der DLG-Schnittführung liegt darin, dass sie sich jederzeit leicht mit betriebs- oder praxisspezifischen Schnittführungen kombinieren lässt und in einem hohen Maß standardisiert ist, so dass jedes Teilstück in seinen anatomischen Gegebenheiten präzise abgegrenzt werden kann (HÖRETH und BRANSCHIED, 1997). Dies ermöglicht einen zweifelsfrei nachvollziehbaren Zuschnitt,

ohne dass die wissenschaftliche Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen verloren geht.

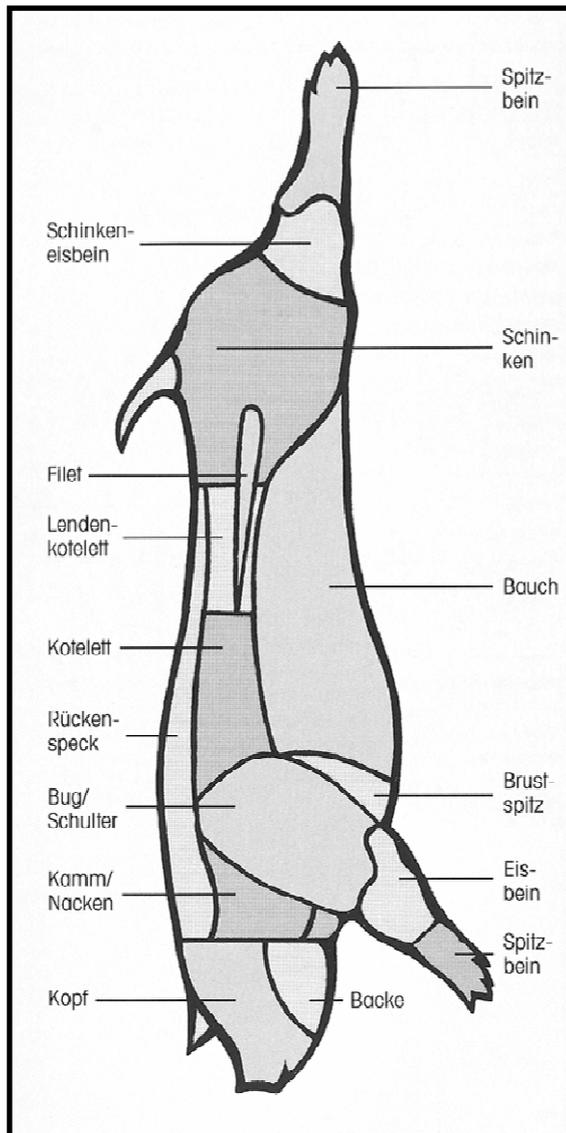


Abb. 2: DLG-Schnittführung nach SCHEPER und SCHOLZ (1985)

Das DLG-Verfahren beruht auf einer Teilung des Schlachtkörpers in Teilstücke und der Bestimmung ihrer grobgeweblichen Zusammensetzung. Zu Beginn der Vollzerlegung wird das Schlachtkörpergewicht der linken Schlachtkörperhälfte ermittelt. Hieran schließt sich die Zerlegung der linken Schlachtkörperhälfte in folgende Teilstücke an: Spitzbein hinten, Eisbein hinten, Schinken, Kotelett, Kamm, Filet, Rückenspeck,

Kammspeck, Brustspitze, Bauch, Wamme, Bug, Eisbein vorne, Spitzbein vorne, Kopf, Backe und Zuwamme. Danach werden die Gewichte aller Teilstücke ermittelt. Im Folgenden werden die Gewichtsanteile (in Prozent des Kaltgewichts) des Muskelgewebes (Skelettmuskulatur), Fettgewebes (Auflagefett, inter- und intramuskuläres Fett), der Knochen, Sehnen und Schwarten ermittelt, soweit diese durch die manuelle Zerlegung mit dem Messer getrennt werden können (VON LENGERKEN et al., 1998). Als Muskelgewebe wird nur die rote, quergestreifte Muskulatur gewertet. Die grobgewebliche Vollzerlegung von Schlachtkörpern ist ein äußerst kosten- und personalintensives Verfahren. Aus diesem Grund werden Hilfsmerkmale gesucht, die in einer engen Beziehung zum Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers und damit auch zu den Teilstückgewichten stehen. Eine zuverlässige Abschätzung der Körperzusammensetzung ist nach Erfassung solcher Hilfsmerkmale mit Hilfe von Regressionsgleichungen möglich (SCHÖN und SCHEPER, 1967; EVANS und KEMPSTER, 1979; EDWARDS et al., 1980; SACK, 1981, 1982a,b,c; SCHÖN und SCHOLZ, 1983; OSTER et al., 1987; SWENSEN et al., 1998a,b; BRANSCHIED et al., 1987a). Eine Möglichkeit der Reduktion von Kosten und Zeitaufwand ist es, die Zerlegung auf die vier großen Teilstücke Bug, Kotelett, Bauch und Schinken zu begrenzen (BAULAIN et al., 2003a). Für die übrigen, kleineren Teilstücke wird dann anhand aller verfügbaren Informationen die gewebliche Zusammensetzung mit Hilfe von Regressionsformeln geschätzt. Mit diesem Verfahren kann bei einer marginalen Reduzierung der Genauigkeit der Zeitaufwand um 50% gesenkt werden (WALSTRA, 2000; OSTER et al., 1987). BRANSCHIED et al. (1990) errechneten an einem Datensatz eines Zerlegeversuchs von 393 Schlachtkörpern die nötigen Schätzformeln zur Berechnung der Muskelfleischgewichte der nicht vollzerlegten Teilstücke. Die über diese Schätzung ermittelten Muskelfleisch- und Teilstückgewichte weisen eine sehr hohe Korrelation zum tatsächlichen Gewicht ($r=0,997$) und einen niedrigen relativen Schätzfehler von $s_{x,y}=0,47\%$ auf. Bezogen auf den Muskelfleischanteil des gesamten Schlachtkörpers bestehen nur unwesentliche Abweichungen in der Schätzgenauigkeit bei kompletter und reduzierter Teilstückzerlegung des Schlachtkörpers.

SWENSEN et al. (1998a) evaluierten verschiedenste Regressionsgleichungen zur Schätzung der Körperzusammensetzung. Mit Hilfe des Muskel- und Fettgewichts aus der Zerlegung können sie den Muskelfleischanteil der gesamten Schlachthälfte mit einem Bestimmtheitsmaß von 90% voraussagen.

In einer Untersuchung von SCHINCKEL et al. (2001) wurden die höchsten Korrelationen zum Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers für die absolute und prozentuale Fettmasse aus der Zerlegung mit $r=-0,95$ gefunden.

Solche Untersuchungen über den Fleisch- und Fettanteil beziehen sich im Regelfall auf die gesamte Schlachtkörperhälfte. Dabei wird häufig unterstellt, dass sich die gewebsmäßige Zusammensetzung der wertbestimmenden Teilstücke proportional zur Schlachthälfte verhält. Ein solches Vorgehen erscheint durchaus gerechtfertigt, da nach umfangreichen Ausschlachtungsuntersuchungen von BERG und BUTTERFIELD (1968, 1976) die Gewichtsanteile einzelner Muskeln bzw. von Muskelgruppen an der gesamten Muskelmasse innerhalb einer Art relativ konstant sind. Dies setzt allerdings ein gleiches Reifestadium und das Fehlen von Muskelhypertrophie voraus (KALLWEIT und AVERDUNK, 1984).

OKSAMA (2002) und BUSK (2002) untersuchten die Genauigkeit des Referenzverfahrens Vollzerlegung. Dabei sollte erforscht werden, welche Faktoren Einfluss auf die Höhe der Zerlegegenauigkeit haben und wie hoch deren Einfluss ggf. ist. Hierzu wurden in vier europäischen Ländern in jeweils zwei Schlachthöfen insgesamt 128 Schlachtkörper (linke und rechte Schlachtkörperhälfte) vollzerlegt. Die Zerlegung wurde jeweils von 8 Schlachtern aus verschiedenen Nationen vorgenommen, wobei immer ein Zweier-Team einen Schlachtkörper zerlegt hat. Die Zusammenstellung der Teams erfolgte an jedem Tag neu. Durch die Versuchsanordnung war eine Variation der „Schweinetypen“ zwischen den einzelnen Ländern bedingt. NISSEN et al. (2006) berechneten anhand dieses Datenmaterials Wiederholbarkeiten für die Zerlegegenauigkeit in Höhe von $\omega=0,87$ mit einer Standardabweichung von $s=1,10$. Zusätzlich wurde ein signifikanter Effekt des Schlachters auf das Zerlegeergebnis festgestellt, wie Tabelle 4 zeigt. Der Zerleger, der den niedrigsten MFA des Teilstücks (Schulter, Bauch oder Lachs) bzw. des Schlachtkörpers (EU-MFA) ermittelt hatte wurde in der Auswertung auf 0 gesetzt (Referenzgröße). Für alle anderen Personen ist die mittlere MFA-Abweichung in % dargestellt.

Im Merkmal EU-MFA sind Unterschiede bis zu 1,96% erkennbar. Noch ausgeprägter sind die Abweichungen bei den einzelnen Teilstücken.

Tab. 4: Unterschiede (mittlere MFA-Abweichung in %) im festgestellten Muskelfleischanteil getrennt nach Zerlegern

	Zerleger-Nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Schulter	3,20 ^{***}	1,81 ^{***}	0	3,09 ^{***}	0,89 ^{**}	2,15 ^{***}	0,55	1,43 ^{***}
Bauch	3,80 ^{***}	4,05 ^{***}	0,80	2,50 ^{***}	0	2,08 ^{***}	0,96 [*]	2,74 ^{***}
Lachs	1,82 ^{***}	1,41 ^{***}	0	0,12	1,06 ^{**}	0,43	0,22	1,68 ^{***}
EU-MFA	1,96 ^{***}	1,90 ^{***}	0	0,86 ^{**}	0,26	1,13 ^{***}	0,91 ^{**}	1,43 ^{***}

* p=0,05

** p=0,01 *** p < 0,001.

2.2.2 Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf der Basis von Teilstückdaten

Für den Wert eines Schlachtkörpers ist nicht nur die gewebliche Zusammensetzung des gesamten Schlachtkörpers, sondern auch die Ausprägung bzw. Fleischigkeit der einzelnen Teilstücke von entscheidender Bedeutung (VON LENGERKEN et al., 1998). Dies zeigten bereits Untersuchungen von EVANS und KEMPSTER (1979) sowie FEWSON et al. (1990b). Sie konnten enge Beziehungen zwischen dem Muskelfleischanteil des gesamten Schlachtkörpers und dem des Schinkens, der Lende und der Schulter in Höhe von $r=0,85-0,93$ nachweisen.

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die durchschnittlichen Muskelfleischanteile in % in ausgewählten Teilstücken in Abhängigkeit vom Muskelfleischanteil in % des gesamten Schlachtkörpers dargestellt. Hieraus ist deutlich ersichtlich, dass Schlachtkörper mit hohen Muskelfleischanteilen immer auch die fleischigeren Teilstücke beinhalten. SCHÖN und SCHOLZ (1983) berechneten ebenfalls enge Beziehungen zwischen den Fleischanteilen aller Teilstücke untereinander, die in einem Bereich von $r=0,79-0,86$ lagen. Diese engen Zusammenhänge zeigen auch die Untersuchungen von HÖRETH (1995).

Tab. 5: Durchschnittliche Anteile (%) an Muskelfleisch in ausgewählten Teilstücken (DLG-Schnittführung) in Abhängigkeit vom Muskelfleischanteil (%) des Schlachtkörpers (HÖRETH, 1995)

Teilstücke	MFA	MFA	MFA	MFA
	> 60%	55 bis ≤ 60%	50 bis ≤ 55%	< 50%
Schinken	74,9	70,9	66,4	62,3
Bug	68,4	64,6	60,7	57,0
Kotelett*	77,6	74,6	71,7	68,4
Kamm*	74,7	71,1	68,0	65,4
Bauch	57,2	51,4	45,1	39,7

MFA Muskelfleischanteil
* ohne subkutanes Fett

Anhand der Ergebnisse von OSTER et al. (1987) kann deutlich gezeigt werden, dass man mit Hilfe der abgespeckten Teilstücke aus der (Forchheimer) Teilstückzerlegung den Muskelfleischanteil in der Schlachtkörperhälfte mit einer sehr hohen Genauigkeit schätzen kann ($B=90,5\%$). Bei der Forchheimer Methode wird eine Teilstückzerlegung der linken Schlachtkörperhälfte vorgenommen. Diese wird in folgende Teile zerlegt: Kopf, Kamm/Kotelett, Filet, Schinken, Backe, Bug, Bauch, Zuwamme, Eis- mit Spitzbein und Schwanz. Im Anschluss wird der Anteil der abgespeckten Teilstücke Schinken, Schulter sowie Kotelett und Kamm an der Schlachthälfte ermittelt. Bei diesen Teilstücken wird ebenfalls der Anteil des Auflagefettes bestimmt.

Auch DOBROWOLSKI et al. (1990) zeigt in seinen Untersuchungen, dass fast 100% der gesamten Varianz der Muskelmenge sich durch die grobgeweblichen Zerlegung der Teilstücke Schinken, Kotelett, Schulter und Bauch erklären lässt.

2.2.3 Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf der Basis linearer, an der Schlachtkörperhälfte gemessener Maße

Der Einsatz eines oder mehrerer Schlachtkörpermerkmale in Regressionsgleichungen kann also einen großen Teil der Varianz der abhängigen Variablen (z. B. Muskelfleischanteil) erklären. Dies hat dazu geführt, dass bis heute sehr viele

Schätzfunktionen für den Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers und die Teilstückanteile in der Literatur veröffentlicht worden sind (SCHÖN und PEDERSEN, 1977, SACK et al., 1981, SEIDLER und BARTNIK, 1985, BRANSCHIED et al., 1987b). Im Folgenden werden die verschiedenen Methoden der Schlachtkörperqualitätsbeurteilung dargestellt.

2.2.3.1 Methoden zur Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf der Basis von Daten aus der stationären Leistungsprüfung

In Deutschland stellt laut Tierzuchtgesetz (Tierzuchtgesetz i. d. F. vom 21.12.2006, § 2 und 7) die stationäre Leistungsprüfung ein Verfahren zur Ermittlung der Leistungen von Tieren einschließlich der Qualität ihrer Erzeugnisse im Rahmen der Feststellung des Zuchtwerts dar. Bei der Prüfung von Schweinen auf Station wird eine Vielzahl von (linearen) Schlachtkörperdaten erhoben. Im Einzelnen gehören dazu: Schlachtgewicht (warm, kalt), Schlachtkörperlänge, Rückenspeckdicken (Widerrist, Rückenmitte, Lende), Rückenmuskelfläche (gemessen am Kotelettanschnitt zwischen dem 13./14. Brustwirbelkörper), Fettfläche (Fläche über dem Kotelettanschnitt) (ALZ, 1997). Mit Hilfe der ermittelten Speckdicken sowie der Fett- und Fleischfläche am Kotelettanschnitt werden anhand von Regressionsgleichungen der Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers (Bonner Formel) und der Fleischanteil im Teilstück Bauch („Gruber Formel“) berechnet. Die Auswahl der Messstellen für die Leistungsprüfung basiert auf der Kenntnis zahlreicher Zerlegeversuche. So untersuchten BRANSCHIED et al. (1987a) die Beziehungen zwischen den einzelnen Schlachtkörpermaßen und dem Muskelgewebeanteil der Schlachthälfte. Bei der Verwendung von „Bruttomaßen“ (lineare Maße, die Speck- und Muskeldicken umfassen), wie z.B. Rücken- oder Taillenbreite, weicht die Korrelation zum wahren Fleischanteil der Hälfte nicht signifikant von null ab. Längenmaße des Schlachtkörpers haben in dieser Untersuchung die Aussagefähigkeit für die Fleischanteilsschätzung in der Hälfte ganz verloren. Die Fettmaße (Rückenspeckmaße) zeigen dagegen enge, hoch signifikante Beziehungen zum Muskelfleischanteil in der Schlachthälfte. In den Untersuchungen von BRANSCHIED et al. (1987a) waren diese Beziehungen sogar straffer als für die entsprechenden Muskelmaße. Die engsten Beziehungen zum Muskelfleischanteil in der

Hälfte wurden in dieser Untersuchung für Quotienten aus je einem Speck- und Muskelmaß gefunden. Die verschiedenen vorgestellten Schätzfunktionen für den Muskelfleischanteil erreichen Bestimmtheitsmaße von bis zu 85% (BRANSCHIED et al., 1987a und 1987b).

Ein heute weit verbreitetes und etabliertes Hilfsmerkmal zur Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung stellt der Querschnitt des Musculus longissimus dorsi im Brustwirbelbereich dar. Um an genau dieser Anschnittstelle ein zusätzliches Maß für die Verfettung zu erhalten, wird zusätzlich eine über der Musculus longissimus-Fläche liegende Fettfläche konstruiert (KALLWEIT et al., 1988). Aus diesen beiden Flächen errechnet sich dann das in der Leistungsprüfung genutzte Merkmal Fleisch:Fett-Verhältnis. Um die Flächengrößen zu ermitteln, müssen die Fleisch- und die Fettfläche planimetriert werden. Vor 10 Jahren stellte das Planimetrieren dieser Fläche noch einen erheblichen Arbeitsaufwand dar. Heute ist man allerdings in der Lage ein Digitalfoto des Kotelettanschnittes an der Anschnittstelle 13./14. Rippe aufzunehmen. Dieses kann dann mit Hilfe eines PC-Programmes, nach genau definierter Abgrenzung der Fleisch- und Fettfläche, die Flächen in cm^2 automatisch ermitteln (JÜNGST et al., 2002). Nachteilig an der Einbeziehung des Fleisch-Fett-Verhältnisses ist der Anschnitt des Schlachtkörpers im Bereich des Koteletts, der eine deutliche Wertminderung desselben zur Folge hat. Daher eignet sich das Fleisch:Fett-Verhältnis als kommerzielles Klassifizierungskriterium nicht (KEMPSTER et al., 1982). SWENSEN et al. (1998b) evaluierten Regressionsgleichungen zur Schätzung des Muskelfleischanteils in der Schlachtkörperhälfte, in die als Prädiktoren die Rückenspeckdicken und die Kotelettfläche in Höhe des 10. Brustwirbels sowie das Schlachtkörpergewicht (warm) eingingen. Die Formel erreicht ein Bestimmtheitsmaß von 83%. Ähnliche Bestimmtheitsmaße und Prädiktoren wurden auch in Studien von FAHEY et al. (1977), GRISDALE et al., (1984) und ORCUTT et al. (1990) gefunden. Auch SCHINCKEL et al. (2001) konnten hochsignifikante Korrelationen zwischen dem Muskelfleischanteil in % und den Rückenspeckdicken in Höhe der 10. bzw. der letzten Rippe in Höhe von $r=0,61$ bis $-0,88$ finden. Anhand einer Regressionsanalyse konnten Schätzgleichungen für den Fleischanteil in kg ermittelt werden, die ein Bestimmtheitsmaß von 87% erreichten. In die Gleichung gehen das Schlachtkörpergewicht, die Kotelettfläche an der 10. Rippe und die Fettdicke an der 10. Rippe mit ein. Auch hier werden die Rückenspeckdicken wieder seitlich der Spaltlinie des Schlachtkörpers erhoben, da diese

engere Beziehungen zum Muskelfleischanteil in der Hälfte aufweisen als die Speckdicken an der Spaltlinie (BRANSCHIED et al., 1987a; OSTER et al., 1987; SCHULTE, 1977).

2.2.3.2 Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung im Rahmen der apparativen Klassifizierung

2.2.3.2.1 Invasive Verfahren der apparativen Klassifizierung

Nach SACK (1982) werden zur Klassifizierung von Schlachtkörpern unter anderem das KSA (Kød-Spaek-Automatic), FOM (Fat-O-Meater), HGP (Hennessy Grading Probe) und SKG (Schlachtkörper-Klassifizierungs-Gerät) angewandt. Bei den hier aufgeführten Instrumenten zur Erfassung der Körperzusammensetzung handelt es sich ausschließlich um invasive Einstichsonden, das heißt die Geräte müssen zur Messung in das Fleisch des Schlachtkörpers eingestochen werden (KALLWEIT und AVERDUNK, 1984). In Deutschland wird hauptsächlich mit dem FOM-Gerät gearbeitet. Hierbei handelt es sich um eine optoelektronische Einstichsonde (\varnothing 6 mm), die mit Hilfe einer Diode Licht konstanter Wellenlänge emittiert und die Stärke des vom durchstochenen Gewebe reflektierten Lichts erfasst (BRANSCHIED und VON LENGERKEN, 1998). Da Fett das emittierte Licht stärker reflektiert als das Muskelgewebe, ergeben sich im Reflexionsspektrum mehr oder weniger ausgeprägte Peaks, die den Gewebeübergängen entsprechen. Anhand dieser Gewebeübergänge kann man elektronisch die Muskel- und Fettdicken bestimmen. Diese Maße werden dann in entsprechende Schätzformeln eingesetzt und zur Schätzung von Gewebeanteilen genutzt. Bei dem FOM-Gerät handelt es sich um ein halbautomatisches Choirometer (choiros_{griech.}=Schwein). Zur Messung wird manuell eine Sonde auf Höhe der 2./3. letzten Rippe und 7 cm seitlich der Mittellinie in die Schlachthälfte eingestochen. Die Erfassung und Protokollierung der Messwerte erfolgt vollautomatisch (LOOSER und HENSEL, 2006). Das Klassifizierungsergebnis (Muskelfleischanteil) wird dann automatisch auf Basis der zurzeit geltenden Schätzformel berechnet:

Geschätzter Muskelfleischanteil (%) =

$$54,139 - 0,71062 \times \text{Speckdicke} + 0,21842 \times \text{Fleischdicke} \text{ (BLW, 1999).}$$

Die Regressionsformel wird nur für Schlachtkörper in einem Gewichtsbereich von 50 bis 120 kg verwendet. Nach BRANSCHIED und VON LENGERKEN. (1998) korrelieren die unter Praxisbedingungen mit dem FOM-Gerät gemessenen Muskelfleischanteile mit denen aus der Vollzerlegung in Höhe von $r=0,88$. KÜCHENMEISTER et al. (1990) stellten Ergebnisse mehrerer Untersuchungen zu den optoelektronischen Einstichsonden zusammen. Für das FOM-Gerät fanden sie Beziehungen in Höhe von $r=0,81$ bis $0,93$ zum Referenzmuskelfleischanteil aus der Zerlegung. Auch die Auswirkungen der Abweichungen von der vorgesehenen Messstelle wurden untersucht. HÖRETH (1995) konnte nachweisen, dass eine Verschiebung des Einstichs um eine Rippe nach vorn oder hinten nur geringe Auswirkungen auf die Schätzung des Muskelfleischanteils hat. Während die caudale Verlagerung des Einstichs (in Schwanzrichtung) eine Überschätzung des Muskelfleischanteils um $0,2\%$ bedingt, führt die craniale Verlagerung (in Richtung Kopf) des Einstichs um eine Rippe zu einer Unterschätzung des Muskelfleischanteils um $0,6\%$. Seitliche Abweichungen zu dem vorgeschriebenen Einstichpunkt von bis zu 2 cm führten in dieser Untersuchung zu Fehleinschätzungen des wahren Muskelfleischanteils von maximal $0,5$ Prozentpunkten.

Die Einstichsonden haben allerdings nicht nur den Nachteil, dass ein Bedienerinfluss auf das Klassifizierungsergebnis möglich ist. Zusätzlich wird der Einstich in den Schlachtkörper als abstoßend empfunden, auch wenn von diesem keine hygienischen Risiken ausgehen (LEISTNER und DRESEL, 1988).

2.2.3.2.2 Non-Invasive Verfahren der apparativen Klassifizierung

Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung, die ohne Eingriff in den Tierkörper einsetzbar sind, weisen entscheidende Vorteile gegenüber invasiven Methoden auf. Zum einen ist ein Einsatz dieser Methoden sowohl am lebenden Tier als auch am Schlachtkörper möglich und zum anderen sind diese Methoden in hygienischer Hinsicht positiv einzuschätzen, obwohl auch invasive Methoden praktisch keine Risiken in sich bergen (LEISTNER und DRESEL, 1988). Nachteile der nicht invasiven Geräte liegen in dem höheren apparativen Aufwand und den höheren Kosten, da fast alle nicht invasiven Methoden ihren Ursprung in der biomedizinischen Forschung haben

(AUGUSTINI et al., 1993). Somit sind viele dieser Geräte nicht primär an die Bedürfnisse der Tier- und Schlachtkörperbewertung angepasst. Eine Ausnahme stellt das AutoFOM-Gerät dar, welches im Folgenden noch separat vorgestellt wird. Die Bemühungen der Tierzuchtwissenschaft in diesem Bereich lassen sich bis in den Anfang der fünfziger Jahre zurückverfolgen (BUSK, 1988).

Ultraschallwellen sind hochfrequente Schallwellen von mehr als 20KHz, die für das menschliche Gehör nicht mehr wahrnehmbar sind (AUGUSTINI et al., 1993). Die Nutzung der Ultraschalltechnik beruht auf den physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Impuls-Echo-Technik. Kennzeichnende Größen sind die Schallgeschwindigkeit, die Abschwächung der Schallwellen, die Schallfrequenz sowie die Reflexion, Beugung und Brechung der Schallwellen. Aufgrund der schnell fortschreitenden Technik gibt es heute unterschiedliche Arten von Ultraschall-Scannern auf dem Markt. Mit Hilfe von A-Scannern können lediglich lineare Maße erhoben werden, während es mit Hilfe von B- oder Real-Time-Scannern möglich ist, Querschnittsbilder zu erzeugen, um daran Flächenmaße zu gewinnen. Um ein Ultraschallbild zu erzeugen, werden Schallwellen über einen Transmitter stoßweise pulsierend in das Gewebe geleitet. An jeder Grenzfläche wird ein kleiner Teil reflektiert, während sich der größte Teil in der für das Medium charakteristischen Geschwindigkeit weiter fortpflanzt. Die Schallwellen benötigen unterschiedlich lang, bis sie wieder zum Ausgangspunkt zurückkehren. Aus dieser Zeit lässt sich die Distanz vom Transmitter zur reflektierenden Fleisch-/Fettgrenze berechnen (BRANSCHEID und VON LENGERKEN, 1998).

Die Wiederholbarkeit linearer Ultraschallmessungen beträgt $\omega=0,99$ und die Bestimmtheitsmaße für die Messungen von Fett- und Fleischdicken betragen $B=0,92$ und $0,79$ (DOBROWOLSKI et al., 1993). Nach BRANSCHEID et al. (1989) weisen die Ultraschallmaße für die Fett- und Muskeldicke an der Stelle 2./3. letzte Rippe, welche in eine Schätzformel implementiert sind, Korrelationen von $r=0,88$ zum Muskelfleischanteil in der Schlachtkörperhälfte auf. MUSSMANN (1995) entwickelte anhand von Ultraschallmaßen eine Regressionsgleichung zur Schätzung des Muskelfleischanteils nach Bonner Formel (Referenzgröße). Die Formel weist ein Bestimmtheitsmaß von 91% und einen MSE (Mean Square Error) von 1,54% auf.

Als Referenzgerät bei der Zulassung neuer Klassifizierungsgeräte wird heute der Realtime-Scanner Hellige SSD-256 mit 3,5-MHz-Punktionsschallkopf verwendet

(DOBROWOLSKI et al., 1993). Damit wird die Eignung der Ultraschall-Geräte für exakte Schlachtkörpermessungen bestätigt (BRANSCHIED et al., 1990).

Das FOM ist ein System mit dem sich die Genauigkeit und Objektivität der Klassifizierung gegenüber früheren Methoden (visuell, linear) signifikant verbessert hat. Dennoch ist es ein manuelles System, auf das die Qualität des Bedieners einen Einfluss hat (HÖRETH, 1995).

Im Gegensatz zu anderen Choirometern arbeitet das Klassifizierungsgerät AutoFOM vollautomatisch (HÖRETH und ROTH, 1999). Daher erreicht dieses Klassifizierungsgerät unter Praxisbedingungen die gleiche Genauigkeit wie unter wissenschaftlichen Versuchsbedingungen (BRANSCHIED et al., 1999a). Messgrundlage stellt die Ultraschall-Technik dar (A-Scan-Verfahren). Die Schweine werden im laufenden Schlachtprozess nach dem Brühen, aus der Kratzmaschine kommend, auf dem Rücken durch einen u-förmigen Edelstahlbügel (transducer array) gezogen. Die hier angebrachten 16 Ultraschallköpfe erfassen nach dem Auslösen des Startsignals bis zu 3200 Einzelmessungen innerhalb eines vorbestimmten Messbereichs, was umgerechnet etwa 200 Querschnitts- oder 16 Längsschnittbildern des Schlachtkörpers entspricht .

Diese Vielzahl der Messungen macht die entscheidende Innovation des Klassifizierungsgerätes aus (PIEPER, 2005). Das Eigengewicht der nach dem Brühen noch nassen und weichen Schlachtkörper sorgt für einen ausreichenden Kontakt zum AutoFOM-Gerät während des Messvorgangs.

Die für das AutoFOM berechnete Schätzformel ermittelt den Muskelfleischanteil mit weitaus höherer Genauigkeit (RSD=1,58%) als die herkömmlichen Choirometer (RSD=1,87%) (HÖRETH und ROTH, 1999).

Im Laufe der Jahre bekam der Fleischanteil der Schlachtkörperhälfte im Einkauf der Schlachtindustrie eine immer größere wirtschaftliche Bedeutung. So kam es auch von dieser Seite zu der Forderung nach einem neuen Klassifizierungssystem, das die Personalkosten und den Bedienerinfluss verringert (JÄGER, 2005). Gleichzeitig wurde die Verteilung der Muskelfleischanteile im gesamten Schlachtkörper, also in den einzelnen Teilstücken immer wichtiger (BEUCK, 1999). Mit Hilfe des AutoFOM (automatisches Fat-O-Meater) ist es möglich die Komponenten des Handelswertes (Teilstückanteile, Gewebeanteile und Teilstückgewichte) bedienerunabhängig zu schätzen. BRANSCHIED et al. (1997b) entwickelten an einer Stichprobe von 148

Schweinen Schätzgleichungen für den Muskelfleischanteil und die Teilstückanteile bzw. -gewichte für das AutoFOM-Gerät. Die Tiere verteilten sich auf 4 Schlachtgewichtsgruppen (75-115 kg) und drei Genotypen (BHZP, Westhybrid und Piétrain×DL). Es wurden Kastraten und Sauen untersucht. Das Vermessen der Schlachtkörper erfolgte mit dem AutoFOM-Gerät sowie dem Ultraschallscanner SSD-256 Hellige. Im Anschluss wurden die Tiere einer grobgeweblichen Zerlegung unterzogen. Die Schätzung der Teilstückgewichte korreliert in einem Bereich von 0,95-0,98 mit den Referenzwerten aus der Zerlegung (BRANSCHEID et al., 1997a) (Tab. 6). Lediglich die Korrelation für den Muskelfleischanteil im Bauch fällt mit 0,88 etwas ab. Das AutoFOM-Gerät kommt also mit seinen Messergebnissen dem tatsächlichen Wert des Schlachtkörpers am nächsten (BRANSCHEID et al., 1997a).

Tab. 6: Genauigkeiten der Schätzung von Teilstücken und Muskelfleischanteilen beschrieben durch die Korrelationen, die Schätzfehler und die relativen Schätzfehler (BRANSCHEID et al., 1997a)

		Korrelation	Schätzfehler	relativer Schätzfehler ³ , %
Schinken ¹	(kg)	0,96	0,38	3,19
Schinken, schier ²	(kg)	0,96	0,31	3,49
Kotelett, 5./6. Rippe ²	(kg)	0,97	0,19	3,39
Lachs, 5./6. Rippe ²	(kg)	0,95	0,15	4,44
Teller ²	(kg)	0,97	0,16	3,01
Teller, schier ²	(kg)	0,95	0,15	3,57
Bauch inkl. Wamme ²	(kg)	0,96	0,29	3,92
MFA Bauch	(%)	0,88	2,70	5,22

MFA Muskelfleischanteil

¹ DLG-Schnitt

² Praxisschnitt,

³ Schätzfehler in % des jeweiligen Mittelwerts des Merkmals

In einer Untersuchung von BRØNDUM et al. (1998) wurden die Messungen des AutoFOM-Geräts mit den Messungen aus der Vollzerlegung nach EU-Referenzmethode, dem Zweipunkt-Verfahren, dem FOM-Gerät und dem Ultraschall-Scanner Hellige verglichen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 7 dargestellt.

Tab.7: Genauigkeiten der Schätzung des Muskelfleischanteils von Schweineschlachtkörpern (BRØNDUM et al., 1998)

	RSD (%)	B
AutoFOM	1,58	0,85
Zweipunkt-Verfahren	2,44	0,62
FOM	2,01	0,74
Ultraschall-Scanner SSD-256	1,84	0,77

Der Vergleich der vier Verfahren zeigt, dass die AutoFOM-Messungen den niedrigsten Schätzfehler in Höhe von RSD=1,58% und das höchste Bestimmtheitsmaß in Höhe von B=0,85 aufweisen. Die Autoren führen den Genauigkeitsvorteil des AutoFOM-Systems auf die Vielzahl der Messstellen dieses Gerätes zurück. Des Weiteren wurden auch die Schätzgenauigkeiten der Teilstückgewichte des AutoFOM- und des FOM-Systems berechnet. Das AutoFOM erreicht im Vergleich die niedrigsten Schätzfehler in Höhe von 0,15 kg für die Teilstücke Kotelett und Schulter sowie 0,31 kg für das Schinkengewicht. Die Schätzfehler bei Berechnung mit den FOM-Daten liegen bei 0,18 kg für das Kotelett-, 0,20 kg für das Schulter- und 0,46 kg für das Schinkengewicht.

Die zusätzlichen Informationen über die Teilstücke des Schlachtkörpers lassen sich für die Sortierung der Schlachtkörper und den eventuellen Einsatz von Robotertechnik in der Schlachtkette nutzen (BRANSCHIED et al., 1997a; BRØNDUM, 1996). Deshalb ist das AutoFOM-Gerät besonders für den Schlachtbetrieb interessant. Anhand seiner Messungen lassen sich die vorhandenen Mengen für den Teilstückverkauf wesentlich besser kalkulieren und die Schlachtkörper können exakter sortiert werden. Ebenso ist es möglich der Zerlegung im Schlachtbetrieb genau die Qualitäten zuzuführen, die gerade benötigt werden (BEUCK, 1999). Die Bezahlung der Schlachtkörper erfolgt bei AutoFOM-Klassifizierung nach Handelswert. Das bedeutet, dass die Teilstücke entsprechend ihrer Wertigkeit im Verkauf mit Punkten/kg bewertet werden. Deshalb erhält man für das Teilstück Lachs die höchste Grundpunktzahl. Die Gesamtpunktzahl je Schlachtkörper erhält man, indem man die Punktzahlen der einzelnen Teiltücke aufsummiert. Nur solche Teilstücke erreichen die Optimalpunktzahl, die sich in den vom Markt gewünschten Ober- bzw. Untergrenzen bewegen. Zu leichte, zu schwere

oder zu fette Teilstücke werden ggf. mit Punktabzügen belegt. Diese Grenzen legen die Schlachthöfe individuell fest und dokumentieren sie in der Preismaske (BEUCK, 2000).

2.2.4 Schätzung des Schlachtkörperwerts mittels Tomographie

Grundsätzlich kann man zwei differierende Tomographie-Verfahren unterscheiden, die heute in der Tierzuchtforschung genutzt werden.

Die Röntgen-Computer-Tomographie ist eine bildgebende Technik, die bereits seit Beginn der achtziger Jahre in der Tierzucht in Norwegen genutzt wird (BAULAIN et al., 2003b). Das zu untersuchende Objekt befindet sich im Mittelpunkt eines großen Rades, auf dem eine Röntgenquelle und dieser gegenüber spezielle Detektoren angebracht sind, die die Absorption der Röntgenstrahlen durch das Objekt messen. Während einer Aufnahme rotiert das gesamte System 360° um das Objekt, wobei bis zu 360 Projektionen erzeugt werden können. Aus diesen Messwerten werden dann Querschnittsbilder rekonstruiert. Das Prinzip der Röntgen-Computer-Tomographie ist nicht die Schichtdarstellung sondern die Darstellung von Volumen. Grundsätzlich entsprechen die elektronisch gespeicherten Querschnitte allerdings üblichen röntgenologischen Aufnahmen. SEHESTED und VANGEN (1989) sehen die Vorteile dieser Technik in der Leistungsfähigkeit und der nicht auftretenden Wertminderung des Schlachtkörpers. KALLWEIT et al. (1994) sehen hingegen Probleme in der öffentlichen Akzeptanz der Röntgen-Computer-Tomographie, da eine Verwendung von Röntgenstrahlen die Lebensmittel für den menschlichen Verzehr ungeeignet werden lässt.

ROMVÁRI et al. (2003) und DOBROWOLSKI et al. (2003) errechnen mit der Computer-Tomographie Bestimmtheitsmaße (B) für die Schätzung der Muskelmengen von Schweineschlachtkörpern von 0,97-0,99. SEHESTED und VANGEN (1989) tomographierten 128 Schweine mit der CT-Methode und konnten anhand von 6 Querschnittsbildern den Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,96 und einem Schätzfehler von 1,02% schätzen.

Wie andere in der Tierzucht und der Tierzuchtforschung eingesetzte bildgebende Verfahren handelt es sich auch bei der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) um eine für die Diagnose im Bereich der Humanmedizin entwickelte Technik (FOSTER und

FOWLER, 1988). Ihre Anfänge liegen in den frühen siebziger Jahren und werden seit Mitte der achtziger Jahre als Routineverfahren in der Medizin eingesetzt (STILLER, 2004). Mit Hilfe der MRT können Schnittbilder aus den verschiedensten Ebenen des Körpers mit guten Kontrasten zwischen den einzelnen Gewebearten angefertigt werden (LISSNER und SEIDERER, 1990). Basis für die Magnet-Resonanz- oder auch Kernspintomographie genannte Messung sind die magnetischen Eigenschaften von Atomkernen mit ungerader Protonenzahl (BAULAIN et al., 1990).

Mit Hilfe der Tomographie können vor allem die weichen, wasser- oder fetthaltigen Strukturen des Körpers (Muskel- und Fettgewebe) dargestellt werden (BAULAIN, 1996/1997). Die Körperzusammensetzung lebender Schweine kann mit einer Genauigkeit von $B > 0,90$ bestimmt werden (BAULAIN, 1996). BAULAIN et al. (1997) fanden Korrelationen von 0,95-0,99 zwischen dem anhand der Tomographie ermittelten Muskelvolumen und dem anhand der Vollzerlegung ermittelten Muskelgewicht des Teilstücks Bauch. In der gleichen Untersuchung wurden Korrelationen von 0,87-0,96 zwischen dem Fettvolumen und dem Fettgewicht berechnet. Die Beziehungen zwischen dem Fleischanteil aus der Tomographie (Volumen-%) und dem Fleischanteil aus der Zerlegung (Gewebe-%) sind dagegen je nach Schweinerasse mit 0,72-0,94 nicht so eng (BAULAIN et al., 1998). KALLWEIT et al. (1994) berichten, dass die Gewebemengen und -anteile mit einem Bestimmtheitsmaß von $B = 0,48-0,93$ geschätzt werden können. BAULAIN und HENNING (2001) berechneten noch höhere Schätzgenauigkeiten für Messungen am Schlachtkörper. Zu diesem Zweck wurde die Schlachtkörperzusammensetzung von 117 Schlachtschweinen mittels MRT geschätzt bzw. mittels Vollzerlegung bestimmt. Die sehr engen Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen zeigen, dass die MRT als Referenzmethode eingesetzt werden kann. COLLEWET et al. (2003) bearbeiten MR-Bilder anhand von erstellten Grauwert-Histogrammen, in denen Grenzwerte für die Abgrenzung von Muskel und Fett festgelegt werden. Mit dieser Methode können die Muskelmenge und der -anteil mit Bestimmtheitsmaßen von $> 96\%$ geschätzt werden.

Ein Vorteil der Magnet-Resonanz- gegenüber der Röntgen-Computer-Tomographie liegt darin, dass dieses Verfahren keine bekannten Nebenwirkungen aufgrund von Strahlung hat und damit beliebig oft an demselben Individuum einsetzbar ist (STILLER, 2004).

Ausführlichere Beschreibungen der Magnet-Resonanz-Tomographie befinden sich unter anderem bei FOSTER (1984), LISSNER und SEIDERER (1990), RAMM et al. (1986) und STILLER (2004).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsdurchführung

Ziel der Untersuchungen war es, die im Rahmen der stationären Leistungsprüfung eingesetzte Bonner Formel hinsichtlich ihrer Schätzgenauigkeit zu überprüfen. Parallel dazu sollte die züchterische Nutzbarkeit von Ergebnissen aus der amtlichen Schlachtkörperklassifizierung (AutoFOM, FOM) geprüft werden. Des Weiteren wurde untersucht, ob das Tomographieren (MRT) von Schlachtkörpern eine vergleichbar hohe Genauigkeit bei der Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung wie die anerkannte Referenzmethode der Vollzerlegung erreicht und diese gegebenenfalls ersetzen kann. Zu diesem Zweck wurden Zuchtschweine und Mastendprodukte vollzerlegt sowie nach den ALZ-Richtlinien und mit einem Ultraschallgerät vermessen, tomographiert und mit den oben genannten Geräten klassifiziert.

3.1.1 Anzahl und Herkunft der Tiere

Die Untersuchung umfasst 292 in der Leistungsprüfanstalt Haus Düsse der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen nach den Richtlinien der Geschwister-/Nachkommenprüfung gemästete Schweine (ALZ, 1997) der Vaterlinie Piétrain, der Mutterlinien Deutsches Edelschwein (DE) und Deutsche Landrasse (DL) sowie Mastendprodukte vom Typ Westhybrid (Piétrain×Westhybrid) und BHZP (db.65×db.Sau). Tabelle 8 zeigt die Verteilung der Schlachtkörper getrennt nach Herkunft, Geschlecht und Gewichtsklassen. Bei der Rasse Piétrain wurden ausschließlich Sauen und bei den Mutterlinien DE/DL nur Börgen geprüft. Die Gruppen der Kreuzungstiere bestehen jeweils zur Hälfte aus weiblichen Tieren und männlichen Kastraten. Das warme Schlachtkörpergewicht der Tiere variiert in einem stratifizierten Bereich von 75-115 kg (eingeschränkt für Vater- und Mutterlinien). Ziel dieses Versuchsaufbaus war es, eine möglichst große Variabilität des Tiermaterials hinsichtlich Genetik, Mastendgewicht und damit auch der wertbestimmenden Merkmale Muskelfleischanteil und Teilstückgewichte zu erreichen.

Der gesamte Versuch unterteilt sich in zwei zeitlich getrennte Abschnitte (Tab. 8). In dem ersten Versuchsteil vom 02.07.2001 bis 03.12.2001 wurden insgesamt 202

Schweine untersucht. Nach der Schlachtung erfolgte die Klassifizierungen mit dem AutoFOM- und dem FOM-Gerät sowie dem Ultraschallscanner „Hellige“. Im Anschluss wurden alle Schlachthälften nach ALZ-Richtlinie vermessen, tomographiert und dann vollzerlegt.

In dem zweiten Versuchsabschnitt von 27.02.2002 bis 28.05.2002 wurden weitere 90 Tiere der Rassen Piétrain, Deutsche Landrasse und Deutsches Edelschwein untersucht. Diese Tiere sollten den Stichprobenumfang in den bis dato nur gering besetzten Rasse- und Gewichtsklassen erhöhen. An den Schlachtkörpern wurden die gleichen Untersuchungen wie bei den Tieren der ersten Versuchsgruppe vorgenommen. Lediglich die Vollzerlegung entfiel. Als Referenzgröße dienen hier die MRT-Messungen.

Tab. 8: Verteilung der Schweine auf die Rassen, Geschlechter und Gewichtsklassen

Schlachtgewichtsklassen, kg	Piétrain		Deutsches Edelschwein		Deutsche Landrasse		Piétrain× Westhybrid		db.65× db.Sau	
	Borg	Sau	Borg	Sau	Borg	Sau	Borg	Sau	Borg	Sau
1. Versuchsabschnitt: 202 Schweine										
75 bis < 85	-	10	-	-	-	-	10	10	9	9
85 bis < 95	-	9	10	-	10	-	9	9	10	9
95 bis < 105	-	-	8	-	8	-	9	9	9	9
105 bis ≤ 115	-	-	-	-	-	-	9	9	9	9
2. Versuchsabschnitt: 90 Schweine										
75 bis < 85	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-
85 bis < 95	-	27	9	-	10	-	-	-	-	-
95 bis < 105	-	-	9	-	8	-	-	-	-	-
105 bis ≤ 115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
∑ (n)		73	36		36		37	37	37	36

Insgesamt wurden 73 Schweine der Vaterlinie Piétrain, 72 Mutterlinientiere (DE und DL), 74 Kreuzungsschweine (Pi×Westhybrid) sowie 73 Kreuzungstiere vom Typ db.65×db.Sau (BHZP) untersucht.

3.1.2 Haltung und Fütterung der Tiere

Die 292 Schweine wurden alle in der Leistungsprüfanstalt (LPA) Haus Düsse der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen nach den Richtlinien der Geschwister-/Nachkommenprüfung (ALZ, 1997) ab einem Lebendgewicht von 30 kg gemästet. Die Buchten waren mit jeweils zwei gleichgeschlechtlichen Vollgeschwistertieren belegt. Die Schweine der Rassen Piétrain (Pi), Deutsche Landrasse (DL) und Deutsches Edelschwein (DE) sind Nachkommen von regulär zu prüfenden Herdbucheltern, die weiblichen Dreirassenkreuzungstiere (Pi×Westhybrid) sind Nachkommen von Besamungsebern aus Prüfbetrieben der Besamungsstation GFS. Die Westhybrid-Börge und die db.65×db.Sau-Tiere wurden von Mästern aus der Umgebung der Leistungsprüfanstalt Haus Düsse zugekauft. Wasser konnte von den Schweinen ad libitum aus Selbsttränken aufgenommen werden. Das Mastfutter setzte sich zu 85% aus Getreide und zu 15% aus einem Eiweißkonzentrat bei einem Energiegehalt von 13 MJ ME/kg zusammen (siehe Tab. 9). Die Fütterung erfolgte ad libitum durch Selbstfütterungseinrichtungen.

Tab. 9: Zusammensetzung bzw. Nährstoffgehalt des Prüfungsfutters

Trockensubstanz	%	88,0
Rohnährstoffe in % Trockensubstanz		
Rohprotein		16,0
Lysin		1,0
Methionin und Cystin		0,6
Threonin		0,6
Kalzium		0,75
Phosphor		0,55
Natrium		0,15
Umsetzbare Energie	MJ ME/kg	13,0

Alle Schweine wurden wöchentlich gewogen. Auf der Basis des zu erwartenden Schlachtgewichts wurden Tiere zur Schlachtung ausgewählt. Dabei sollten die

beabsichtigten Schlachtgewichtsklassen entsprechend des Versuchsplans (siehe Tab. 8) besetzt werden.

3.1.3 Schlachtung und Leistungsprüfung

Die Schlachtung der 202 Tiere der ersten Versuchsgruppe erfolgte an 17 Terminen auf dem Schlachthof der Westfleisch eG in Hamm-Uentrop jeweils montags im Zeitraum vom 02.07.2001 bis zum 03.12.2001. Während des laufenden Schlachtprozesses wurden die Tiere mit dem AutoFOM-Gerät klassifiziert, welches hier bereits seit 1995 als Prototyp installiert ist. 1999 erfolgte die offizielle Zulassung (BRANSCHIED et al., 1999b). Seit Januar 2000 stellt dieses Klassifizierungssystem die Bezahlungsgrundlage aller Schweinelieferanten dieses Schlachthofs dar (BEUCK, 2000). Für die Handelswertberechnung werden die Schweine nach dem Brühen, aus der Kratzmaschine kommend, vollautomatisch auf dem Rücken liegend durch eine Wanne gezogen, in der halbmondförmig 16 Ultraschallköpfe angebracht sind (s. Abb. 3). Die Messungen beginnen automatisch, sobald die Ultraschallmessköpfe ein ausreichend starkes Signal erhalten. Ein ausreichender Kontakt zum Schlachtkörper ist notwendig, da sich Ultraschallwellen nur schlecht in der Luft aber sehr gut in Gewebe fortpflanzen. Die Gefahr eines falsch ausgelösten Messbeginns z.B. durch Verschmutzungen ist nur sehr gering, da mehrere Messköpfe gleichzeitig den Beginn der Messung auslösen (BRØNDUM et al., 1998). Nur selten werden die Schlachtkörper völlig symmetrisch durch den Messbügel gezogen. Dennoch werden bei jeder Messung die Rückenmitte und eine Hälfte des Schlachtkörpers komplett erfasst. Nach LASLEY und KLINE (1957) und BOWMAN et al. (1962) ist die Vermessung einer Schlachthälfte völlig ausreichend, da die zweite Hälfte identisch aufgebaut ist und ihre Zusammensetzung aus der Kenntnis der Zusammensetzung der ersten abgeleitet werden kann. Das AutoFOM-Gerät nutzt die gleichen Messköpfe für die Signalausendung und den Empfang. Sobald ein Impuls ausgesandt ist, schalten diese in den Empfangsmodus um. Hohe Signalschwankungen können aufgezeichnet werden, wenn der Ultraschall auf Gewebeübergänge trifft. Diese sind beispielhaft in Abb. 4 dargestellt. Die ersten Peaks kennzeichnen Übergänge von Fett- zum Fleischgewebe. Der letzte Peak tritt auf, wenn die Schallwellen vom Muskelgewebe in den Rippenbereich transmittiert werden. Für alle Messungen wird eine 2 MHz-Pulsfrequenz genutzt, die in Intervallen von 0,5 μ s

ausgesandt wird. Die 16 Schallköpfe führen 200 am Schlachtkörper längslaufende A-Scans in einem Abstand von 0,5 mm durch (3200 Einzelmessungen). Im Anschluss werden diese Bilder des Schlachtkörpers ausgewertet. Dabei wird zuerst das Rauschen aus den Bildern heraus korrigiert. Danach erfolgt mittels verschiedenster Algorithmen die Suche des sogenannten C-Punktes (Bildmitte) in den Aufnahmen. Dies ist der Punkt im Rückenbereich über dem Kotelett, der die niedrigste Rückenspeckdicke aufweist. Sobald dieser Punkt bekannt ist, kann aus dessen Lage die Position des Schlachtkörpers im Messbügel geschlussfolgert werden. Im Anschluss werden das Fettprofil in Höhe des C-Punktes und das der direkt benachbarten Rückenregion extrahiert. Daran schließt sich die Identifikation des D-Punktes an, der den Übergangspunkt zwischen Muskelgewebe und Rippenknochen markiert. Als nächstes wird der B-Punkt gesucht, an dem das Fettprofil des Lendenbereichs vor dem Schinken beginnt. Der A-Punkt stellt das erste Minimum dieses Fettprofils nach dem B-Punkt dar. Das Ergebnis sind 127 morphologische Messwerte (Basisvariablen), die die Lage der Punkte A, B, C und D beschreiben. Aus diesen werden 30 Basiswerte extrahiert, die für die Schätzung des Muskelfleischanteils der Hälften von Bedeutung sind und deren Stabilität und Plausibilität gesichert ist. Diese 30 Messwerte werden in drei Gruppen unterteilt, so dass keine überschneidenden Informationen enthalten sind ($r=0$). Die Gruppen werden mathematisch in den sogenannten T-Werten mit abstraktem Charakter konkretisiert, die in einer üblichen Regressionsrechnung der Berechnung des Muskelfleischanteils dienen:

Geschätzter Muskelfleischanteil in $\% = 57,5151291 + 0,8717916 \times T1 + 0,7625082 \times T2 + 1,3110994 \times T3$.

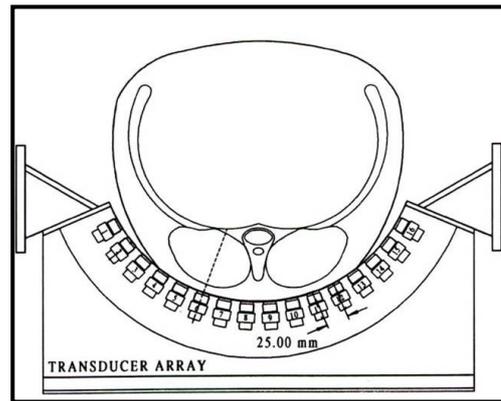


Abb. 3: Querschnitt durch einen Schlachtkörper und die Edelstahlwanne mit Ultraschallköpfen des AutoFOM-Geräts

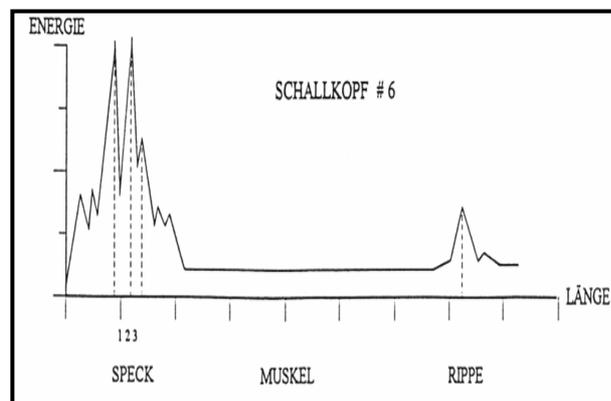


Abb. 4: Beispiel für das Ultraschall-Reflexions-Profil eines Ultraschallkopfes

Im Anschluss wurden die Schweine dann direkt vor dem Schocktunnel auf eine gesonderte Rohrbahn geleitet. Hier erfolgten weitere Untersuchungen der linken Schlachtkörperhälften durch ein Team des Instituts für Fleischerzeugung und Vermarktung der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (BFEL). Zunächst wurden die Fleischbeschaffenheitskriterien ph_{45} und Leitfähigkeit erfasst. Danach wurde der Fleischanteil mit dem Ultraschallsystem SSD-256 „Hellige“ (Aloka) bestimmt, das als Referenzgerät bei der Zulassung von Klassifizierungsgeräten eingesetzt wird. Des Weiteren erfolgte eine Beurteilung der Schlachtkörperhälften mit

der klassischen "FOM-Sonde" und der Zweipunktmethode. Nach der Schockkühlung wurde am nächsten Morgen von einem Team der LPA Haus Düsse die Leistungsprüfung durchgeführt. Folgende Daten wurden an der hängenden Schlachtkörperhälfte erfasst:

- Schlachtkörpergewicht warm (in kg, unmittelbar nach der Schlachtung)
- Schlachthälftengewicht kalt (in kg, Schlachtkörpergewicht warm abzüglich 2% Verlust)
- Schlachtkörperlänge (in cm, von cranialer Kante des ersten Halswirbels bis zur cranialen Kante des Schlossknochens)
- Rückenspeckdicke (in cm, durchschnittliche Dicke des Rückenspecks an Widerrist, Rücken und Lende)
- Rückenmuskelfläche (in cm², Fläche des M. long. dorsi am Planschnitt zwischen dem 13./14. Brustwirbelkörper)
- Fettfläche (in cm², Fläche der Fettschicht über dem M. long. dorsi am Planschnitt zwischen dem 13./14. Brustwirbelkörper)
- Fleisch : Fett-Verhältnis $\left(1 : \frac{\text{Fettfläche}}{\text{Rückenmuskelfläche}} \right)$
- Speckmaß B (in cm, dünnste Stelle der Fettauflage über dem Rückenmuskel)
- Seitenspeckdicke (in cm, größtes fleischfreies Speckmaß am Kotelettanschnitt)
- Schinkengewicht (Zur Feststellung des Schinkengewichts wird dieser von der Hälfte abgetrennt. Nach der Heraustrennung des Filetstücks erfolgt die Schnittführung zwischen dem letzten und vorletzten Lendenwirbel senkrecht zur Wirbelsäule. Die Grenze zwischen Lendenwirbel und Kreuzbein ist in der Regel durch eine Knorpelschicht in Dreiecksform zu erkennen. Die Feststellung des Schinkengewichts erfolgt einschließlich Fettauflage, Eisbein, Spitzbein, Schwanz und Zuwamme, jedoch ohne Filet. Bleibt der Filetkopf am Schinken, erfolgt ein Abzug von 200g. Fehlt der Schwanz, erfolgt eine Zuwaage von 200g.)
- Muskelfleischanteil, FOM
- FOM-Speck- und Fleischmaß: 2./3. letzte Rippe, 7 cm seitlich
- Muskelfleischanteil, Ultraschall Hellige
- Ultraschall-Hellige Speck- und Fleischmaß: 2./3. letzte Rippe, 7 cm seitlich
- Muskelfleischanteil, Zweipunktverfahren

- Zweipunktverfahren-Speckmaß: 2./3. letzte Rippe, 7 cm seitlich, gemessen an der dünnsten Stelle des Specks (einschl. Schwarte) über dem M. glutaesus medius.
- Zweipunktverfahren-Fleischmaß: Stärke des Lendenmuskels, gemessen als kürzeste Verbindung des vorderen (cranialen) Endes des M. glutaesus medius zur oberen (dorsalen) Kante des Wirbelkanals (in mm).
- Fleischanteil im Bauch (in %), wird nach folgenden Formeln geschätzt („Gruber Formel“):

Piétrain=	73,685	- 3,347	×	Rückenspeck, Lende
		- 2,259	×	Seitenspeck
		+ 0,078	×	Fleischfläche
		- 0,626	×	Fettfläche
Mutterlinien =	51,194	+ 0,216	×	Schlachtgewicht
		- 2,690	×	Rückenspeck, Mitte
		- 2,489	×	Seitenspeck
		- 3,115	×	Speckmaß B
Kreuzungstiere=	65,942	- 1,819	×	Rückenspeck, Lende
		- 1,867	×	Seitenspeck
		+ 0,145	×	Fleischfläche
		- 0,479	×	Fettfläche

- Fleischanteil (in %), wird nach folgender Formel geschätzt („Bonner Formel, alt“):

	51,279	+ 0,305	×	Fleischfläche
		- 0,270	×	Fettfläche
		- 0,406	×	Seitenspeck
		- 0,664	×	durchschnittliche Rückenspeckdicke

Als Mastleistungsmerkmale wurden erfasst:

- Mastdauer: (Alter bei Mastende - Alter bei Prüfungsbeginn)
- Tägliche Zunahme: (Endgewicht - 35kg) : (Alter bei Schlachtung×1000)
- Nettolebenszunahme: (Schlachtgewicht warm : Alter bei Schlachtung)×1000

Die 90 Schweine der zweiten Versuchsgruppe wurden an insgesamt 11 Tagen in dem Zeitraum vom 27.02.2002 bis zum 28.05.2002 unter gleichen Bedingungen geschlachtet. Die Klassifizierung dieser Schweine erfolgte ausschließlich mit dem AutoFOM-Gerät. Am Morgen nach der Schlachtung wurden weitere Messungen am Schlachtkörper von einem Team der LPA Haus Düsse vorgenommen. Als Referenzverfahren zur Bestimmung des „wahren“ Muskelfleischanteils diente in diesem Fall nicht die Vollzerlegung, sondern die bildgebende Technik der Magnet-Resonanz-Tomographie.

3.1.4 MRT-Untersuchungen und Analyse der Bilder

Im Anschluss an die Leistungsprüfung erfolgte der Transport der Hälften im Kühlanhänger zum Institut für Tierzucht der Bundesforschungsanstalt in Mariensee (FAL). Hier befindet sich seit 1987 ein 1,5 Tesla Ganzkörpertomograph (MEDSPEC BMT 15/100) der Firma Bruker (Karlsruhe) zur Nutzung in der Tierzuchtforschung.

Die MRT-Messungen erfolgten an der linken Schlachtkörperhälfte. Diese wurde auf der medianen Spaltebene liegend auf dem beweglichen Schlitten des Tomographen positioniert und so ausgerichtet, dass der Rücken des Tieres eine gerade Linie bildete.

Aufgrund des begrenzenden Röhrendurchschnitt (50 cm) war es notwendig, dass Vorderbein der Schlachthälfte komplett abzusetzen. Im Tomographen wurden Transversalbilder der gesamten Schlachthälfte von cranial nach caudal mit einer Scheibendicke sowie einem Scheibenabstand von 16 mm erzeugt. Alle Bilder setzen sich aus einer Matrix von 256×256 Bildpunkten (Pixel) zusammen. Die Größe der Pixel ist abhängig von der Kantenlänge des gewählten Bildfensters („field of view“), das sich nach der Größe des zu messenden Objekts richtet. Die Pixelgrößen betragen bei allen gemessenen Tieren 1,8×1,8mm (3,24 mm²). Daraus ergibt sich eine Größe des Bildfensters von 46×46 cm. Je Messposition wurde ein Bilddatensatz, bestehend aus 7 Querschnittsbildern („Scheiben“) mit jeweils zwei Echos, erzeugt. So beansprucht die Messung einer Schlachthälfte in Abhängigkeit von deren Länge zwischen 45 und 60 Minuten.

Während des Tomographierens werden die Wasserstoffatomkerne in dem aufgebauten Magnetfeld wie Kompassnadeln ausgerichtet. Wenn die Kerne für einen Moment mit Hilfe eines Hochfrequenzimpulses des Tomographen aus der Richtung gekippt werden,

kehren sie gleich darauf wieder in ihre Ausgangslage zurück. Dabei werden je nach Gewebetyp unterschiedliche Antwortsignale (Kernresonanzen) frei, die vom MRT-Gerät mit speziellen „Antennen“ empfangen werden. Diese Signale können dann sowohl analog für den Aufbau von Spektren als auch digital für die Rekonstruktion von Bildern herangezogen werden (GRIEP, 1991, HENNING, 1994). Die Signalstärke ist zu der Anzahl der angeregten Atomkerne proportional. In einer Messsequenz (MSME=Multi-Slice-Multi-Echo) werden gleichzeitig mehrere parallele Scheiben sowie Echos (Signalauslesezeiten) detektiert. Bei den drei aufeinander folgenden Signalauslesezeiten (Echos) werden die Kernmagnetisierungszustände erfasst und anschließend über eine Fouriertransformation in Bilddaten („Grauwerte“ je Pixel) umgewandelt. Frühere Untersuchungen nutzten bei der Bildauswertung lediglich das Erste der drei erfassten Echos pro Scheibe (BAULAIN et al., 1991, GRIEP, 1991, HENNING et al., 1991). Da jedes Echo nach einer unterschiedlich langen Zeit nach dem Hochfrequenzimpuls aufgezeichnet wird, zeigen die aus den Signalen rekonstruierten Bilder unterschiedlich starke Kontraste zwischen den Gewebearten. Aufgrund dieser Tatsache kann mit der Auswertung mehrerer Echos pro Scheibe ein Informationsgewinn gegenüber der Auswertung nur eines Echos pro Scheibe erzielt werden (STREITZ et al., 1995).

Anhand der Tomographie-Bilder sollte bei der anschließenden Bildbearbeitung nicht nur der gesamte Anteil an Fett- und Muskelgewebe ermittelt werden, sondern es sollte zusätzlich eine Abgrenzung der einzelnen Teilstücke zueinander vorgenommen werden, so wie diese auch in der Zerlegung anfallen. Um mit Hilfe der Bilder nachvollziehen zu können, an welchen Stellen des Schlachtkörpers die einzelnen Teilstücke während der Zerlegung abgesetzt werden, wurden deshalb mittig auf dem Schlachtkörper an genau definierten Stellen mit Wasser gefüllte Eppendorf-Hütchen und ein mit Wasser gefüllter Schlauch gelegt (Tab. 10; Abb. 5). Der Wasserstoffkern ^1H weist das größte magnetische Moment und damit die größte Nachweisempfindlichkeit auf. So lassen sich die Behältnisse sehr gut als helle Punkte und Flecken auf den Tomographie-Bildern wiederfinden. In der folgenden Tabelle und Abbildung ist die Lage aller mit Wasser gefüllten Markierungsgegenstände von kranial nach kaudal dokumentiert.

Tab. 10: Lage von Markierungsgegenständen auf den Schweineschlachthälften

Anzahl von Markierungsgegenständen	Art der Markierung	Position der Markierung	Grund der Markierung
1	Eppendorf-Hütchen	auf Höhe der Speicheldrüse	Absetzpunkt des Kopfes
1	Schlauch	zwischen Speicheldrüse und 4./5. Rippe	Darstellung der Schnittführung der Schulter
2	Eppendorf-Hütchen	4./5. Rippe	Schulterende
3	Eppendorf-Hütchen	13./14. Rippe	Rippenende
4	Eppendorf-Hütchen	zwischen letztem Lendenwirbel und Hüftknochenansatz	Trennungspunkt von Kotelett und Keule



Abb. 5: Linke Schlachtkörperhälfte eines Schweins im Tunnel des Tomographen

Im Anschluss an die Erstellung der Bilder erfolgt die halbautomatische Bildanalyse der Schnittbilder mittels einer geeigneten Software. Im Gegensatz zur Röntgen-Computer-Tomographie gibt es bei der Magnet-Resonanz-Tomographie keine festen Wertebereiche für die einzelnen Gewebe. Deshalb benötigt man Verfahren, mit denen die Bilder quantitativ ausgewertet werden können und mit deren Hilfe die einzelnen Grauwerte (Signale) jedes Pixels den Gewebearten zugeordnet werden können.

Wie Abb. 6 verdeutlicht, weisen die Knochen in etwa die gleichen Grauwerte wie die Bereiche des Fettgewebes in einem MR-Bild einer gekühlten Schlachtkörperhälfte auf. Darum ist es notwendig, vor der weiteren Auswertung der Bilder, zuerst manuell unter Zuhilfenahme einer Bildbearbeitungssoftware die Knochen und andere Artefakte aus den Bildern zu entfernen. Im Anschluss daran durchlaufen die MRT-Bilder ohne Hintergrund und Knochen die statistische Auswertung (BAULAIN, 1996).

Eine nähere Beschreibung der gerätetechnischen Ausstattung findet sich bei GRIEP (1991). Das Kühlen der Schlachtkörper wurde nur zur Durchführung der Messungen unterbrochen.

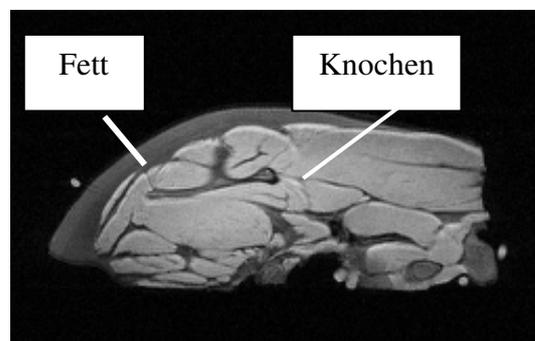


Abb. 6: Darstellung eines MRT-Bildes

Bildverarbeitung und -auswertung

Die Bildauswertung erfolgte an einer Unix-Workstation mit der Bildverarbeitungssoftware Analyze 4.0 aus der Mayo Clinic, USA (1986-2002). Da eine automatische Abgrenzung des Knochens vom Fett- und Muskelgewebe im MRT-Bild nur bedingt möglich ist, muss jedes Bild zuerst manuell bearbeitet werden. Dieser Teil

der Bildbearbeitung erfolgt in dem Programmteil „Image Edit“. Hier werden das Knochengewebe und andere störende Faktoren aus den Bildern mit ihren jeweils zwei Echos entfernt, so dass alle MRT-Querschnittsbilder nach der Bearbeitung nur noch Muskel- und Fettgewebe zeigen.

Mit Hilfe der während des Tomographierens auf den Schlachtkörper gelegten Markierungen soll die Abgrenzung der einzelnen Teilstücke aus der Zerlegung anhand der MRT-Bilder nachempfunden werden. Insbesondere die Lage des wassergefüllten Schlauches ließ sich nicht genügend standardisieren, um Teilstückgewichte und -zusammensetzung zuverlässig zu erfassen. Alternativ wurden daher anhand anatomischer Gesichtspunkte „Tomographie-Teilstücke“ definiert (Abb. 7). Folgende Teilstückbereiche wurden definiert:

Teilstück 1: Ende der Speicheldrüse bis zum Ende des Schulterblattes

Teilstück 2: Ende der Schulter bis Höhe der 13./14.Rippe

Teilstück 3: 13./14.Rippe bis zum Schinkenbeginn

Teilstück 4: Schinkenbeginn bis Bauchende

Teilstück 5: Rest ohne Kopf und Spitzbein.

Zusätzlich zu diesen fünf Tomographie-Teilstücken wurde anhand der aufgenommenen Transversalbilder das Volumen des M. long. dorsi jeder Schlachtkörperhälfte ermittelt. Dieser Muskel entspricht dem Teilstück Lachs aus der Zerlegung und ist in den MRT-Bildern gut zu erkennen. Der MRT-Bauch erstreckt sich über die gebildeten Teilstücke 2 und 3. Sein Volumen wurde ermittelt indem vom Gesamtvolumen von Teilstück 2 und 3 das Volumen des Koteletts subtrahiert wurde.

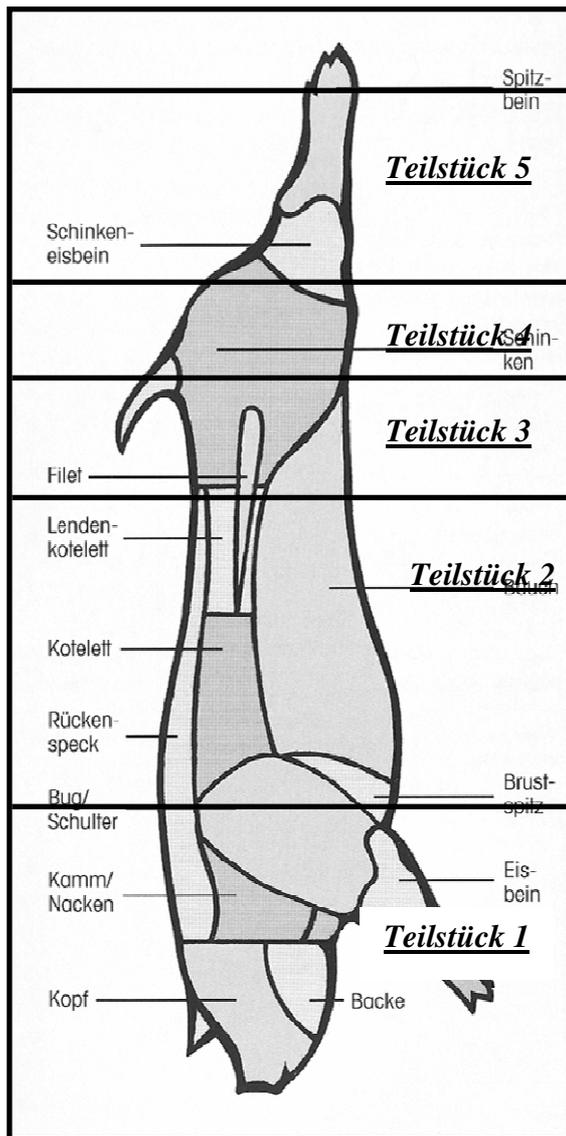


Abb. 7: Darstellung der Abgrenzungen der „Tomographie-Teilstücke“

An das „Maskieren“ der Bilder, also das manuelle Entfernen des Knochens aus allen MRT-Bildern des gesamten Schlachtkörpers, schließt sich das Klassifizieren der Bilder im Programmteil „Classify-Multi Spectral“ an. Hier werden zunächst einige farblich differenzierte Regionen in das Muskel- und Fettgewebe eingezeichnet. Die sogenannte Parzen Windows-Methode, eine nichtparametrische Technik, kann anhand dieser Informationen alle Pixel der Tomographiebilder einem Gewebetyp zuordnen, in dem der Verlauf der unbekanntes Verteilungsfunktion geschätzt wird. Anhand der Pixelzahlen je Gewebeart können die verschiedenen Gewebevolumina erfasst und über die spezifischen Gewichte in Mengen umgerechnet werden. Diese Methode ist einer

stereologischen Technik ähnlich, die auf Arbeiten des italienischen Mathematikers Cavalieri zurückzuführen ist. Cavalieri zeigte, dass man mit seiner Methode der Indivisiblen, d.h. der Unteilbaren, das Volumen jedes Objektes bestimmen kann, wenn eine Reihe von parallelen Schnitten durch dieses Objekt gemacht wird, die in einem definierten Abstand zueinander stehen (Abb. 8). Diese Bestimmung ist unabhängig von der Orientierung der Schnitte und von der Form des Objektes (ROBERTS et al., 1993). Das zu bestimmende Volumen ($estV$) berechnet sich aus dem Sektionsabstand (T) und der Summe der Sektionsflächen (A) ($estV=T * (A_1+A_2+\dots+A_n)$).

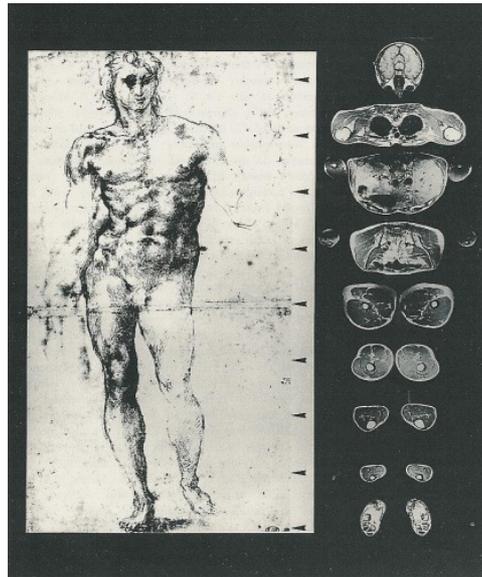


Abb. 8: Darstellung verschiedener Bild-Schnittebenen eines menschlichen Körpers

3.1.5 Vollzerlegung als Referenzmethode

Direkt im Anschluss an die Tomographie wurden die Hälften von einem Team der Bundesanstalt für Ernährung und Lebensmittel in Kulmbach und den Mitarbeitern des Versuchsschlachthauses der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Mariensee zerlegt. Es erfolgte eine grobgewebliche Zerlegung in Muskel-, Fett- (inkl. Drüsengewebe), Knochengewebe (inkl. Knorpel) und Schwarte (inkl. Sehnen) nach DLG- und Praxischnittführung (SCHEPER und SCHOLZ, 1985; WALSTRA und MERKUS, 1995).

Die DLG-Schnittführung stellt ein standardisiertes Verfahren zur Zerlegung von Schweineschlachtkörpern dar, das aufgrund seiner Standardisierung die Vergleichbar-

keit wissenschaftlicher Untersuchungen möglich macht. Der Trennung der Teilstücke in die einzelnen Gewebe geht die Grobzerlegung voraus, in der folgende Teilstücke bei DLG-Schnittführung aus der Schlachthälfte gewonnen werden (siehe Abb. 9).

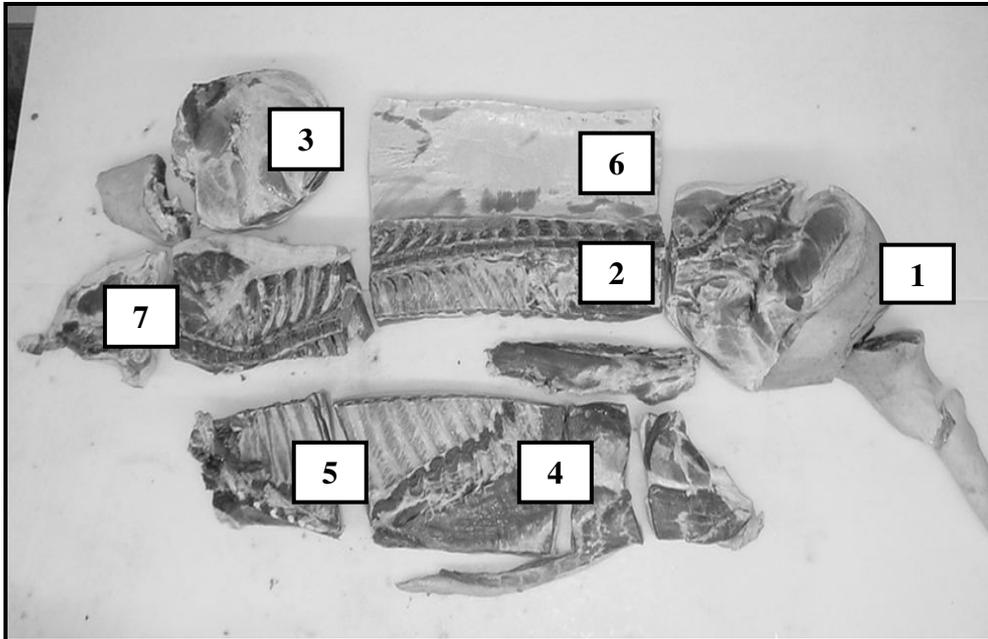


Abb. 9: Linke Schlachtkörperhälfte eines Schweins, zerlegt in die Teilstücke nach DLG-Schnittführung

- | | | | |
|----------------|----------------|-------------|----------|
| 1: Schinken | 2: Kotelett | 3: Schulter | 4: Bauch |
| 5: Brustspitze | 6: Rückenspeck | 7: Backe | |

Die Zerlegung der Hälfte nach DLG-Schnitt beginnt mit dem Abtrennen des Kopfes. Danach wird zunächst der Bauch von der Keule getrennt, ohne die Muskulatur zu verzerren. Der Schnitt wird entlang dem Kotelettstrang fortgeführt. Dabei wird die knochenlose Dünung durchgeschnitten. Die Schnittlinie liegt etwa zwei Zentimeter neben dem Kern der Kotelettmuskulatur. Dieser Schnitt wird über die Rippenpartie hinweg weitergeführt. Danach wird der Schweinebauch entlang der Naht zwischen Bug und Schulter von der Schweinehälfte abgeschnitten. Im nächsten Arbeitsgang wird die Schulter aus der Hälfte herausgeschnitten. Dann wird der Kotelettstrang von der Keule gelöst. Dabei ist der Filetkopf sauber aus der Keule herauszuschneiden. Im Anschluss wird der Kotelettstrang in einem geraden Schnitt zwischen dem letzten Lendenwirbel

und dem Hüftknochenansatz von der Keule abgesägt bzw. abgeschnitten. Zusätzlich zu den genannten Teilstücken wird die Speckauflage von Schulter und Schinken entfernt, so dass das Gewicht- und die Anteile der schieren Schulter und Schinken ermittelt werden kann.

Bei der alternativ durchgeführten Praxisschnittführung handelt es sich um eine für deutsche Schlachthöfe übliche Zerlegungsmethode. Der Schlachtkörper wird hierbei in vergleichbare Teilstücke wie auch bei der DLG-Schnittführung zerlegt. Die Trennung der Teilstücke erfolgt jedoch z.T. an anderen Stellen. Die Schnittführung bei den Teilstücken Kopf, Backe, Wamme, Zuwamme, Schinken, Filet und damit auch deren Gewicht ist bei beiden Schnittführungen gleich. Nennenswerte Unterschiede zur DLG-Methode liegen beim Bauch und beim Kotelett vor. Diese werden nach Praxisschnitt nicht zwischen der 4./5. sondern zwischen der 5./6. Rippe abgetrennt. Der Nacken nach Praxisschnitt ist etwas größer als der Kamm nach DLG-Schnitt. Im Gegensatz hierzu ist das Teilstück Teller etwas kleiner.

Für jedes Teilstück wurde vor der Vollzerlegung das Gesamtgewicht ermittelt. Danach wurden die Stücke in Fleisch bzw. Muskelgewebe, Knochen, Subkutanfett ohne Schwarte, intermuskuläres Fett, Sehnen und Schwarten getrennt. Die gesamte Muskel- bzw. Fettmenge der Schlachtkörper wurde berechnet, indem die einzelnen Muskel- und Fettgewichte aufsummiert wurden.

3.2 Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Programmpaket SAS 8.2 auf einem PC durchgeführt (SAS, 2000). Die Prozeduren MEANS (Mittelwerte), MIXED (Wiederholbarkeiten), CORR (Korrelationsanalyse), REG (Regressionsanalyse), GLM (Varianzanalyse) und PLS (Partial Least Square) fanden hierbei Verwendung.

Varianzanalysen

Die statistische Absicherung der Unterschiede zwischen den Leistungen verschiedener Herkünfte basiert auf einer entsprechenden einfaktoriellen Varianzanalyse und Tukey-Test als mutipler Mittelwertsvergleichstest.

Wiederholbarkeit von Messungen

Im Rahmen der Bildbearbeitung der MRT-Bilder mussten den einzelnen Gewebetypen Grauwerte zugeordnet werden. Diese Daten dienen dem Bildverarbeitungsprogramm „Analyze“ dann als Berechnungsgrundlage für das Fett- und Muskelvolumen des Schlachtkörpers. Die Grauwertzuordnung erfolgte z. T. manuell durch verschiedene Personen. Um den möglichen Bedienerinfluss abschätzen zu können, wurde eine Stichprobe der MRT-Bilder wiederholt von verschiedenen Personen analysiert. Die Wiederholbarkeit der Messungen wurde mit Hilfe folgender Beziehung berechnet:

$$\omega = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_B^2 + \sigma_W^2} \quad \sigma_B^2 = \text{Varianz zwischen den Personen, } \sigma_W^2 = \text{Varianz innerhalb der}$$

Personen

Korrelationen

Zur Prüfung von Zusammenhängen zwischen den Schlachtkörpermerkmalen aus der Vollzerlegung, der Magnet-Resonanz-Tomographie, den Ultraschallmessungen, den LPA- und den Klassifizierungsdaten (Zweipunkt, FOM, AutoFOM) wurden phänotypische Korrelationen (r) nach Pearson berechnet (KÖHLER et al., 2001).

Regressionen

OLS-Ordinary Least Square

Die Aussagekraft verschiedener Schlachtkörpermaße zur Vorhersage des Muskelfleischanteils der Schlachtkörper sowie dessen Teilstückanteile und -gewichte wurde zuerst in Form einer multiplen Regressionsanalyse geprüft. Zu diesem Zweck wurde die SAS Prozedur PROC REG mit der Option STEPWISE herangezogen. Eine unabhängige Variable wurde in das Modell integriert, wenn eine Signifikanzschwelle von 15% unterschritten wurde.

Die Güte der Regression wurde mit Hilfe der Indikatoren Bestimmtheitsmaß (B², Formel 1 in Übersicht 1) bzw. die Fehlergrößen Root Mean Square Error of Calibration (RMSEC, Formel 3) und Coefficient of Variation (CV, Formel 4) beurteilt.

PLS-Partial Least Square

In einem weiteren Schritt wurden Partial Least Square (PLS) Schätzgleichungen (WOLD, 1994) mittels der SAS Prozedur PLS des Programmpakets SAS 8.2 (SAS, 1999) abgeleitet. Das OLS-Verfahren, minimiert den Schätzfehler, indem lineare Funktionen der Prädiktoren gesucht werden, die möglichst viel der Variation des Zielmerkmals erklären. Im Vergleich dazu hat das PLS-Verfahren zum Ziel, zeitgleich die Varianz der Prädiktoren und der Zielgrößen möglichst genau zu erklären. Die zusätzliche Berücksichtigung der Varianz-Kovarianzstruktur der Prädiktoren führt zu einer Verbesserung der Schätzung neuer Beobachtungen, wenn diese untereinander hochkorreliert sind (SAS, 1999; RANDALL, 1995).

Der schematische Ablauf der PLS-Berechnungen ist in Abb. 10 dargestellt.

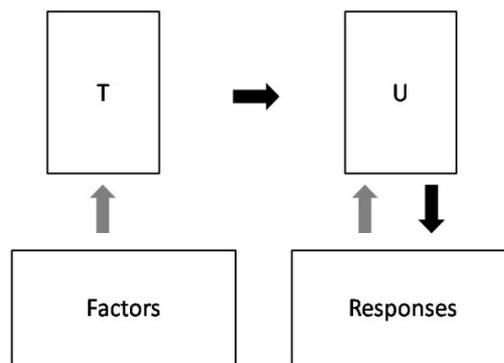


Abb. 10: Schematische Darstellung des PLS-Verfahrens (RANDALL, 1995)

In die PLS-Prozedur implementierte Techniken extrahieren in einem mehrstufigen Verfahren sukzessive Linearkombinationen der Prädiktoren. Die Berechnung der Faktoren erfolgt mit Hilfe eines Trainingsdatensatzes (T) unter Berücksichtigung der Varianz-Kovarianzstruktur der Prädiktoren. Nach Ermittlung des ersten Faktors (F_1) prüft PLS die Schätzgenauigkeit der Regression Zielmerkmal= F_1 mit Hilfe eines Überprüfungsdatensatzes (U). Hierbei wird der Schätzfehler Root-Mean-PRESS (RMP, Formel 2 in Übersicht 1) berechnet. Die Unterteilung von Überprüfungs- und Trainingsdatensatz erfolgte durch Kreuzvalidierung mit Hilfe der PLS Option „Split“ (SAS, 1999).

Nach Festlegung des 1. Faktors (F_1) wird ein weiterer, vom F_1 unabhängiger Faktor (F_2) extrahiert. Die durch F_2 verursachte Genauigkeitsveränderung wird wiederum im Überprüfungsdatensatz verifiziert. Es wurde festgelegt, dass ein neuer Faktor nur dann berücksichtigt wird, wenn ein signifikanter ($p < 5\%$) Genauigkeitsanstieg erreicht wird. Zu diesem Zweck wurde ein Signifikanztest von VAN DER VOET (1994) verwendet.

Dieses beschriebene zweistufige Verfahren lässt sich theoretisch $N-1$ (N =Anzahl Beobachtungen) mal wiederholen. Dabei sinkt der resultierende RMP bis zu einer bestimmten Anzahl extrahierter Faktoren auf ein Minimum ab und steigt bei weiterer Hinzunahme von Faktoren wieder an. Die stabilste Schätzfunktion ergibt sich somit bei der Anzahl extrahierter Faktoren mit geringstem RMP im Überprüfungsdatensatz.

Neben der Beschränkung der Anzahl Faktoren erscheint auch eine Reduzierung der Anzahl zugrunde liegender Prädiktoren im Hinblick auf eine möglichst stabile Schätzformel ratsam zu sein. Zu diesem Zweck wurde für jeden Prädiktor die sogenannte Variable Importance for Projection (VIP) WOLD (1994) berechnet. Die Variable beschreibt die Bedeutung eines Prädiktors für die Genauigkeit der Schätzfunktion. Dem Vorschlag von WOLD (1994) folgend, wurden Prädiktoren mit einem $VIP > 0,8$ bei der Berechnung der Faktoren berücksichtigt.

Darüber hinaus wurde bei der Neukonstruktion der AutoFOM-Schätzgleichungen die Anzahl Prädiktoren auf 80 begrenzt. Um den Einfluss dieser heuristischen Begrenzung zu quantifizieren, wurde alternativ eine zweite PLS-Variante berechnet. Dabei wurden wiederholt PLS-Analysen mit schrittweiser (1 bis 124) Erhöhung der erlaubten Anzahl Prädiktoren durchgeführt. Insgesamt lagen somit für jedes Merkmal die Ergebnisse von 124 (maximale Anzahl AutoFOM Basisvariablen) PLS-Analysen vor. Je nach Begrenzung der Anzahl Prädiktoren unterschieden sich die Analysen sowohl in der resultierenden Anzahl berücksichtigter Hauptkomponenten als auch im RMP. Die Ergebnisse der Analyse, die bei gegebener Begrenzung der Anzahl Prädiktoren den geringsten RMP aufwies, wurden vergleichend zu einer fixen Begrenzung auf 80 Prädiktoren dargestellt.

Formeln zur Berechnung der Genauigkeiten der Schätzgleichungen zur Beurteilung der Schlachtkörperzusammensetzung:

Formel 1: B^2 =Bestimmtheitsmaß: Anteil der Varianz der Zielgröße, der durch die Schätzung erklärt werden kann

$$B[\%] = r^2 * 100$$

Formel 2: RMP=Root-Mean-Predicted-Residual-Sum-of-Squares: prognostizierter absoluter Schätzfehler in der Kreuzvalidierung

$$RMP[\text{kg}] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2} \quad , 1, 2, \dots, n$$

Formel 3: RMSEC=Root-Mean-Square-Error of Calibration: absoluter Schätzfehler in der Modellierung

$$RMSEC[\text{kg}] = \sqrt{\frac{1}{n-1-v} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad , 1, 2, \dots, n$$

Formel 4: CV=Relativer Schätzfehler:

$$CV_{RMSEC} [\%] = \frac{RMSEC * 100}{\bar{y}} \quad ; \quad CV_{RMP} [\%] = \frac{RMP * 100}{\bar{y}}$$

- n = Anzahl der Beobachtungen
- r = Korrelationskoeffizient
- x = Mittelwert der Zielgröße
- y_i = i-ter Beobachtungswert
- \hat{y}_i = i-ter Schätzwert
- v = Anzahl Prädiktoren

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Rohdaten

4.1.1 Merkmale aus der stationären Leistungsprüfung

Insgesamt umfasst die Untersuchung 292, im Rahmen der stationären Leistungsprüfung (ALZ, 1992) untersuchte Schweine.

Die Tabellen 11 und 12 beinhalten, getrennt nach den berücksichtigten Herkünften, die Rohmittelwerte der Mastleistungs- und Schlachtkörpermerkmale. Bei der Interpretation dieser Werte ist zu berücksichtigen, dass die 292 Schweine im Gegensatz zu den Tieren aus der „regulären“ Stationsprüfung nicht alle nach ALZ-Richtlinie in dem Gewichtsabschnitt zwischen 30 und 105 kg Lebendgewicht, sondern stratifiziert in den Schlachtgewichtsklassen 75-85 kg; 85-95 kg; 95-105 kg und 105-115 kg die Prüfung beendeten (siehe S. 26, Material und Methoden). Bei der Rasse Piétrain ist zu beachten, dass diese Schweine nur bis zu einem Schlachtendgewicht von 95 kg gemästet wurden, während die übrigen Herkünfte deutlich höhere Mastendgewichte erreichten.

Tab.11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mastleistungskriterien, getrennt nach Rassen (n=292)

Merkmal	Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau		
	n=73		n=72		n=74		n=73		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Tägliche Zunahme	g	831,7 ^a	89,5	909,7 ^b	111,5	843,9 ^a	93,4	840,0 ^b	105,6
Nettozunahme	g	593,1 ^a	66,0	636,5 ^b	80,3	612,8 ^a	68,5	651,1 ^b	62,7
Mastdauer	d	91,8 ^a	9,2	91,7 ^a	17,0	107,4 ^b	24,0	98,9 ^{ab}	23,8

a-b: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Tab. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schlachtkörpermerkmale, getrennt nach Rassen (n=292)

Merkmal		Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau	
		n=73		n=72		n=74		n=73	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Schlachtgewicht	kg	83,94	a 5,47	94,43	b 6,18	93,79	b 10,91	94,30	b 11,88
Schlachtausbeute	%	79,76	a 1,54	77,20	b 1,84	79,99	a 2,85	79,10	a 2,10
Schlachtkörperlänge	cm	96,8	a 3,1	102,9	b 3,0	101,1	c 4,1	101,1	c 3,7
Schinkengewicht	kg	13,98	a 1,00	14,33	ab 0,96	14,84	c 1,61	15,59	c 1,21
Speckdicke Widerrist	cm	2,91	a 0,35	4,05	b 0,47	3,61	c 0,48	3,65	c 0,47
Speckdicke Mitte	cm	1,52	a 0,23	2,29	b 0,44	1,93	c 0,30	1,97	c 0,31
Speckdicke Lende	cm	0,99	a 0,98	2,05	b 0,46	1,56	c 0,40	1,63	c 0,42
Speckmaß B	cm	0,74	a 0,25	1,93	b 0,43	1,33	c 0,44	1,21	c 0,36
Seitenspeckdicke	cm	2,01	a 0,66	3,85	b 0,93	2,85	c 1,09	2,97	c 1,16
Fleischfläche	cm ²	59,91	a 5,89	45,56	b 4,34	53,23	c 7,01	55,79	c 6,53
Fettfläche	cm ²	11,97	a 2,50	24,29	b 4,66	18,86	c 5,12	17,87	c 4,43
Fleisch:Fett-Verhältnis	1:	0,20	a 0,04	0,60	b 0,14	0,36	c 0,12	0,33	c 0,09
MFA Bauch GruberFormel	%	63,02	a 4,21	49,82	b 3,94	56,46	c 4,86	57,58	c 4,40
MFA BonnerFormel	%	64,52	a 1,94	54,34	b 2,52	59,73	c 2,94	60,83	c 2,64

a-d: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, p < 0,05)

Beim Vergleich der Herkünfte zeigen die Merkmale der Schlachtkörperzusammensetzung und der Mastleistung das erwartete Bild. Die weiblichen Piétrain-Schweine sind den Kastraten der Mutterlinien im Merkmal

Muskelfleischanteil um 10,2%, den Mastschweinen der kommerziellen Linien um 3,7% (Pi×Westhybrid) bzw. 4% (db.65×db.Sau) überlegen. Ähnliche Unterschiede zeigen sich auch bei allen anderen Schlachtkörpermerkmalen. Das Fleisch:Fett-Verhältnis der Piétrain-Schweine erreicht einen Durchschnittswert von 1:0,20. Bei den Tieren der Rassegruppen DE /DL wird im Mittel ein Wert von 1:0,60 erreicht. Die Endprodukte erreichen Werte in Höhe von 1:0,36 (Pi×Westhybrid) bzw. 1:0,33 (db.65×db.Sau).

Die höchsten mittleren Täglichen Zunahmen erreichen die Schweine der Rassen DE und DL mit 909g. Die niedrigsten durchschnittlichen Täglichen Zunahmen mit 831g wurden für die Schweine der Rasse Piétrain ermittelt. Die mittleren Tageszunahmen der Hybridschweine (Pi×Westhybrid und db.65×db.Sau) liegen mit ~840g etwa auf dem gleichen Niveau.

4.1.2 Merkmale aus der apparativen Klassifizierung

Auch bei den Klassifizierungsmethoden US-Hellige, Zweipunktverfahren, FOM und AutoFOM zeigen sich die zu erwartenden Herkunftsunterschiede (Tab. 13 und 14).

Deutlich erkennbar ist die Überlegenheit der Rasse Piétrain im Merkmal Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte bei allen Klassifizierungsmethoden. Der mittlere Fleischanteil dieser Rasse liegt zwischen 61,7% (MFA_{Zweipunkt}) und 63,0% (MFA_{US-Hellige}). Die Überlegenheit gegenüber den Mutterlinienbörgen mit geringstem Fleischanteil beträgt mehr als 10%. Die Ergebnisse der kommerziellen Hybridherkünfte liegen mit 54,7% (MFA_{Zweipunkt}, Pi×Westhybrid) und 58,1% (MFA_{US-Hellige}, db.65×db.Sau) im Leistungsniveau zwischen den Reinzuchtlinien Pi und DE/DL. Die Differenzen zwischen den beiden Herkünften Pi×Westhybrid und db.65×db.Sau sind statistisch nicht absicherbar.

Vergleicht man die Muskelfleischanteile gemessen mit dem US-Hellige, FOM- und dem AutoFOM-Gerät, so stellt man fest, dass die Geräteunterschiede bei allen Herkünften annähernd gleich ausgeprägt sind. Für die Piétrain- und Mutterlinienschweine beträgt die maximale Abweichung 0,6% (US-Hellige vs. FOM-Sonde). Ähnlich niedrige Geräteunterschiede sind bei den kommerziellen Kreuzungstieren zu beobachten. Die maximale Abweichung beträgt hier 0,9% (US-Hellige vs. AutoFOM). Auf einem erkennbar niedrigeren Niveau liegen die geschätzten Muskelfleischanteile des Zweipunktverfahrens. Dies wird insbesondere bei den

Kreuzungstieren deutlich, bei denen der geschätzte Muskelfleischanteil des Zweipunktverfahrens um bis zu 2,8% unter dem Wert des US-Hellige-Systems liegt. Eine ausführlichere Beschreibung der Unterschiede zwischen den verschiedenen Klassifizierungsgeräten erfolgt in Abschnitt 4.4.

Tab. 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Speck- und Muskeldicken sowie der Muskelfleischanteile ermittelt mit der Ultraschallreferenzmethode (US-Hellige), dem Zweipunktverfahren, dem FOM- und dem AutoFOM-Gerät, getrennt nach Rassen (n=202)

Merkmal		Piétrain n=73/19 ^{*)}		DE/DL n=72/36 ^{*)}		Pi×Westhybrid n=74		db.65×db.Sau n=73	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
		MFA _{US-Hellige}	%	62,97 ^a	1,42	50,47 ^b	3,70	57,38 ^c	57,38
Speckmaß	mm	9,97 ^a	1,37	22,67 ^b	3,98	15,76 ^c	3,70	14,79 ^c	3,50
Fleischmaß	mm	68,58 ^a	4,78	57,76 ^b	4,79	64,21 ^c	5,22	63,58 ^c	5,74
MFA _{Zweipunkt}	%	61,70 ^a	3,29	50,07 ^b	2,25	54,67 ^c	2,81	55,24 ^c	3,60
Speckmaß	mm	11,39 ^a	2,88	24,19 ^b	3,87	18,73 ^c	3,82	18,12 ^c	4,90
Fleischmaß	mm	77,85 ^a	17,53	70,01 ^b	5,67	77,92 ^a	6,47	77,79 ^a	7,26
MFA _{FOM}	%	62,54 ^a	1,52	51,05 ^b	3,24	56,90 ^c	2,91	57,96 ^c	2,87
Fleischmaß	mm	68,40 ^a	5,44	58,14 ^b	5,32	63,97 ^c	5,26	63,93 ^c	6,37
Speckmaß	mm	10,44 ^a	1,49	22,05 ^b	3,31	16,28 ^c	3,33	14,99 ^c	3,36
MFA _{AutoFOM}	%	62,83 ^a	2,14	50,78 ^b	4,11	56,76 ^c	3,45	57,16 ^c	3,59

^{*)} 1. Zahl: AutoFOM; 2. Zahl: US-Hellige, Zweipunktverfahren, FOM

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, p < 0,05)

In Tabelle 14 sind die mit dem AutoFOM-Gerät ermittelten Teilstückgewichte und die Muskelfleischanteile des Teilstücks Bauch bzw. des gesamten Schlachtkörpers dargestellt.

Tab. 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der AutoFOM-Teilstückgewichte sowie Muskelfleischanteile in der Schlachtkörperhälfte, getrennt nach Rassen (n=292)

Merkmal	Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau		
	n=73		n=72		n=74		n=73		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Bauch	kg	6,48 ^a	0,50	7,87 ^a	0,65	7,47 ^b	0,98	7,45 ^b	1,08
	%	15,43 ^a	1,71	16,67 ^b	0,76	15,91 ^c	0,64	15,78 ^c	0,58
Lachs	kg	3,36 ^a	0,31	3,12 ^b	0,29	3,42 ^c	0,43	3,45 ^c	0,47
	%	7,99 ^a	0,96	6,62 ^b	0,55	7,30 ^c	0,44	7,32 ^c	0,48
Schinken, schier	kg	8,86 ^a	0,67	7,95 ^b	0,83	8,78 ^c	1,04	8,90 ^c	1,05
	%	21,12 ^a	2,64	16,86 ^b	1,59	18,76 ^c	1,29	18,95 ^c	1,42
Schulter, schier	kg	3,79 ^a	0,26	3,82 ^b	0,34	4,03 ^c	0,48	4,07 ^c	0,48
	%	9,03 ^a	0,96	8,09 ^b	0,53	8,59 ^c	0,32	8,65 ^c	0,40
MFA Bauch	%	59,05 ^a	3,07	42,4 ^b	4,99	50,15 ^c	4,80	50,92 ^c	5,00
MFA	%	62,83 ^a	2,14	50,78 ^b	4,11	56,76 ^c	3,45	57,16 ^c	3,59

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die Piétrain-Tiere zeigen erwartungsgemäß eine signifikante Überlegenheit in den wertvollen Teilstücken Schinken und Lachs. Sie erreichen einen Schinkenanteil von 21,1%, während bei den Mutterlinien DE/DL nur 16,9% und bei den kommerziellen Endprodukten 18,8% bzw. 19,0% erreicht werden. Umgekehrt liegen die Verhältnisse beim Teilstück Bauch. Hier weist die Herkunftsgruppe DE/DL mit 16,7% den höchsten Anteil auf.

Die berechneten Muskelfleischanteile des Teilstücks Bauch liegen bei allen Rassen zum Teil deutlich unter dem Muskelfleischanteil des gesamten Schlachtkörpers nach AutoFOM. Die Piétrain-Schweine erreichen einen mittleren Muskelfleischanteil im

Schlachtkörper von 62,8% und im Bauch von 59,1% (Differenz: 3,7%). Im Vergleich hierzu ist die Differenz mit 8,4% bei den Tieren der Rassen DE und DL deutlich größer. Sie erreichen einen Fleischanteil im gesamten Schlachtkörper von 50,8% und im Bauch von 42,4%.

4.1.3 Merkmale aus der MRT

Für die Berechnung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers anhand von Daten aus der Vollzerlegung wird das Gewicht des Muskelfleisches in der Schlachtkörperhälfte in Beziehung zu dem Häftengewicht gesetzt:

Muskelfleisch der Zerlegung (MFA_{Zerl}) =

$$\frac{\text{Muskelgewicht Schlachtkörperhälfte}}{\text{Häftengewicht}}$$

Bei Verwendung der MRT-Messdaten wurden alternativ die zwei folgenden Anteilsmerkmale definiert:

MRT-Muskelfleischvolumenanteil des Schlachtkörpers ($MRT-MFA_{Vol}$) =

$$\frac{\text{Muskelvolumen}}{\text{Muskelvolumen} + \text{Fettvolumen}}$$

MRT-Muskelfleischgewichtsanteil des Schlachtkörpers ($MRT-MFA_{Gew}$) =

$$\frac{\text{Muskelvolumen} \times 1,06}{\text{Muskelvolumen} \times 1,06 + \text{Fettvolumen} \times 1,06}$$

Tab. 15 zeigt die anhand der Tomographiedaten berechneten Mittelwerte und Standardabweichungen für die Parameter Muskel- und Fettvolumen, Muskel- und Fettgewicht sowie den MFA-Tomographie. Die Berechnung der Gewebegewichte basiert auf der Multiplikation der Volumina mit ihrem spezifischen Gewicht. Für das Muskelgewebe wurde ein spezifisches Gewicht von 1,06 und für das Fettgewebe von 0,96 unterstellt (DELAVIER, 2000).

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen von Muskel- und Fettgewicht sowie Muskel- und Fettvolumen aus der Tomographie, getrennt nach Rassen und Untersuchungsmethoden (MRT: n=292, MRT+Zerlegung: n=200)

Merkmal	Piétrain n=73/17 ^{*)}		DE/DL n=72/36 ^{*)}		Pi×Westhybrid n=74		db.65×db.Sau n=73					
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s				
	Muskelfleisch	23,63 ^{*)}	b	1,86	21,47	a	1,68	23,49	b	3,02	23,84	b
	23,07	ab	2,32	21,08	a	1,95						
	25,05	b	1,97	22,76	a	1,78	24,90	b	3,20	25,27	b	3,61
	24,46	ab	2,46	22,34	a	2,07						
Fett	5,42	a	0,98	11,19	c	2,18	8,83	b	2,03	8,61	b	2,25
	5,18	a	0,85	11,37	c	1,78						
	5,20	a	0,94	10,74	c	2,10	8,48	b	1,95	8,26	b	2,16
	4,98	a	0,81	10,91	c	1,71						
MRT-MFA _{Vol}	81,37	c	2,95	65,93	a	4,97	72,81	b	4,05	73,64	b	4,60
	81,61	c	2,83	65,02	a	4,39						
MRT-MFA _{Gew}	60,72	c	2,90	48,67	a	3,06	54,55	b	2,81	55,28	b	3,10
	61,60	c	2,69	49,41	a	3,30						

^{*)} 1. Zahl bzw. Zeile: alle Tiere; 2. Zahl bzw. Zeile: zerlegte Tiere

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die Gewichts- und Volumenwerte von Fett- und Muskelgewebe stehen aufgrund des angenommenen spezifischen Gewichtsfaktors in einem konstanten Verhältnis. Die mit der Cavalieri-Methode aus den MRT-Bildern bestimmten Muskelvolumina sind durchgehend niedriger als die berechneten Muskelgewichte, da das spezifische Gewicht der Muskulatur größer als eins ist. Beim Fettgewebe sind die Verhältnisse umgekehrt.

Bei der Betrachtung der Muskelmassen und -volumina in kg fällt auf, dass die Kreuzungstiere höhere Werte aufweisen, als die fleischreicheren Pi-Schweine. Dieses Ergebnis ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Rassegruppe nur die beiden unteren Schlachtgewichtsklassen besetzt sind (75-95 kg). Das niedrigste durchschnittliche Muskelgewicht konnte für die Mutterlinientiere ermittelt werden (22,73 kg), obwohl auch hier der genannte Gewichtsvorteil gegenüber der Rasse Piétrain relevant ist.

Der höchste Muskelfleischanteil wird wie erwartet für die Vaterlinie Piétrain ermittelt. Die MFA-Werte der Kreuzungstiere nehmen eine Mittelstellung zwischen den Vater- und den Mutterlinien ein.

Auffallend sind die niedrigen Standardabweichungen für den Muskelfleischanteil bei den Piétrain-Schweinen. Diese Beobachtung ist vor dem Hintergrund des, im Vergleich zu den übrigen Herkünften eingengten Schlachtgewichtsbereichs, zu interpretieren.

Um die Stichprobengröße zu erhöhen, wurden zusätzlich zu den ersten 202 Tieren eine Reihe von Schlachtkörpern der Herkünfte Piétrain (n=57) und DE/DL (n=36) nur tomographiert aber nicht grobgeweblich zerlegt. Beim Vergleich der Mittelwerte mit und ohne diese teiluntersuchten Schlachtkörper sind nur geringfügige Unterschiede feststellbar. Die Differenzen im Muskelfleischanteil betragen bei beiden Herkünften weniger als 1%.

Tab. 16 informiert über das Muskel- und Fettvolumen der virtuell unterteilten MRT-Teilstücke T1 bis T5. Im Fettvolumen sind bei Mutterlinien die höchsten, bei der Rasse Piétrain die niedrigsten und bei den Kreuzungstieren intermediäre Werte festzustellen. Bei den Muskelvolumenmerkmalen ist tendenziell die umgekehrte Rangfolge zu beobachten. Die Überlegenheit der Pi-Schweine zeigt sich insbesondere bei dem Teilstück Schinken T5. Allerdings erreichen die Teilstückvolumina der Kreuzungstiere ein ähnliches Niveau wie die Vaterlinientiere. Diese Beobachtung ist aufgrund des Gewichtsvorteils der Kreuzungstiere zu erklären. Nennenswerte Mittelwertsunterschiede zwischen den tomographierten Schlachtkörpern (n=292) und der Gruppe der tomographierten und zerlegten Schlachtkörper (n=202) sind nicht feststellbar.

Tab. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen von Muskel- und Fettgewicht in kg der Tomographieteilstücke T1-T5, getrennt nach Rassen und Untersuchungsmethoden (MRT: n=292, MRT+Zerlegung: n=200)

MRT-Teilstück	Piétrain		DE/DL		Pi × Westhybrid		db.65×db.Sau					
	n=73/17 ^{*)}		n=72/36 ^{*)}		n=74		n=73					
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s				
<i>Muskelvolumen</i>												
T1 _{MRT} : Schulter	6,55 ^{*)}	b	0,53	6,07	a	0,55	6,66	b	0,93	6,71	b	0,94
	6,31	ab	0,65	5,91	a	0,58						
T2 _{MRT} : Mitte cranial	3,97	ab	0,53	3,80	a	0,55	4,14	bc	0,62	4,35	c	0,73
	4,13	ab	0,66	3,76	a	0,69	4,14	b	0,62	4,35	b	0,73
T3 _{MRT} : Mitte Bauch	3,58	a	0,50	3,68	ab	0,40	3,84	bc	0,58	3,91	c	0,65
	3,42	a	0,63	3,66	ab	0,43	3,84	b	0,58	3,91	b	0,65
T4 _{MRT} : Mitte caudal	1,49	b	0,61	1,30	a	0,20	1,60	b	0,30	1,60	b	0,36
	1,76	b	0,40	1,34	a	0,23						
T5 _{MRT} : Schinken	8,05	c	1,04	6,63	a	0,58	7,24	b	0,91	7,27	b	1,10
	7,46	b	0,72	6,40	a	0,58						
Lachs (M. long. d.)	2,99	b	0,25	2,57	a	0,32	2,95	b	0,41	2,96	b	0,52
	3,04	b	0,27	2,68	a	0,30						
<i>Fettvolumen</i>												
T1 _{MRT} : Schulter	1,53	a	0,25	2,90	c	0,52	2,39	b	0,53	2,37	b	1,07
	1,45	a	0,25	2,92	c	0,44						
T2 _{MRT} : Mitte cranial	1,10	a	0,29	2,59	c	0,68	1,95	b	0,60	1,92	b	0,62
	1,11	a	0,28	2,60	c	0,59						
T3 _{MRT} : Mitte Bauch	0,97	a	0,25	2,37	c	0,66	1,71	b	0,47	1,69	b	0,55
	0,86	a	0,23	2,44	c	0,58						
T4 _{MRT} : Mitte caudal	0,42	a	0,16	0,93	c	0,22	0,83	b	0,20	0,81	b	0,29
	0,43	a	0,11	1,02	c	0,19						
T5 _{MRT} : Schinken	1,39	a	0,33	2,39	c	0,47	1,96	b	0,41	1,90	b	0,46
	1,34	a	0,28	2,39	c	0,44						

^{*)} 1. Zahl bzw. Zeile: alle Tiere; 2. Zahl bzw. Zeile: zerlegte Tiere

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

4.1.4 Merkmale aus der Vollzerlegung

Im Rahmen der grobgeweblichen Zerlegung wurden die Gewichtsanteile (in Prozent des Kaltgewichts der Schlachtkörperhälfte) von Muskelgewebe (Skelettmuskulatur), Fettgewebe (Auflagefett, inter- und intramuskuläres Fett), Knochen, Sehnen und Schwarten ermittelt, sofern diese durch die manuelle Zerlegung mit dem Messer getrennt werden konnten. In dieser Untersuchung wurde bei der Vollzerlegung die DLG- und Praxisschnittführung angewandt. Das DLG-Verfahren ist als Referenzmethode zur Kalibration von Klassifizierungsgeräten akzeptiert. Es ermöglicht damit einen Vergleich mit anderen Versuchsanstellungen. Bei der Praxisschnittführung handelt es sich um eine für deutsche Schlachthöfe übliche Zerlegemethode.

Bedingt durch die Versuchsanordnung liegt das durchschnittliche Häftengewicht der Piétrain-Tiere um etwa 5 kg niedriger, als das mittlere Häftengewicht der anderen Rassegruppen (Tab. 17 und 18). Die Unterschiede in den Teilstückgewichten zwischen der Rasse Piétrain und den übrigen Herkünften sind daher nur bedingt aussagefähig. Bei den Endprodukttieren liegen die Mittelwerte aller Zerlegegewichte und -anteile annähernd auf gleichem Niveau.

Das höchste Teilstückgewicht bzw. der höchste Teilstückanteil wurde bei allen Herkünften für das Teilstück Schinken ermittelt. Deutliche Unterschiede zeigen sich in dem relativen Anteil dieses Merkmals am Gewicht der Schlachtkörperhälfte. Die Überlegenheit der Rasse Piétrain wird mit 28,0% durchschnittlichem Schinkenanteil gegenüber den Mutterlinien mit 25,0% und den Endproduktschweinen mit 26,1% bzw. 25,8% deutlich. Betrachtet man den abgespeckten Schinkenanteil, so sind diese Differenzen noch ausgeprägter. Ähnliche Rassenunterschiede zeigen sich bei den hochwertigen Teilstücken Kotelett, Lachs, Filet, Kamm, Nacken. So zeigt sich im Merkmal Lachs eine Überlegenheit der Rasse Piétrain von 2,1% bzw. 1,1% gegenüber den Schlachtschweinen der Mutterlinien und den Endprodukten. Erkennbar weniger ausgeprägt sind die Rassenunterschiede in den Merkmalen Bug- und Telleranteil. Bei diesen Merkmalen unterscheiden sich die Herkünfte Piétrain und Endprodukte kaum voneinander. Das höchste Bauchgewicht und den höchsten Bauchanteil weisen erwartungsgemäß die Mutterlinenschweine mit 5,0 kg bzw. 10,9% auf. Der Bauchanteil dieser Herkunft liegt 2,0% über dem Mittelwert der Pi-Schweine. Betrachtet man jedoch den Fleischanteil dieses Teilstückes, so zeigt sich die erwartete Überlegenheit der Rasse

Piétrain. Der Fleischanteil im Bauch der Piétrain-Schweine liegt mit 62,7% um mehr als 16% bzw. 8% höher als der der Mutterlinien- und Endproduktschweine.

Tab. 17: Mittelwerte und Standardabweichungen aus der Zerlegung der Schlachtkörperhälften nach DLG- Schnitt (n=202)

Teilstück		Piétrain		DE/DL		Pi × Westhybrid		db.65×db.Sau	
		n=19		n=36		n=74		n=73	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Hälften- gewicht	kg	40,89	^a 3,40	45,91	^b 3,07	45,67	^b 5,46	45,91	^b 5,90
Kamm	kg	3,36	^a 0,33	3,36	^a 0,35	3,59	^a 0,49	3,60	^a 0,52
	%	8,23	^a 0,42	7,30	^b 0,46	7,84	^c 0,53	7,86	^c 0,57
Bug	kg	5,61	^a 0,47	6,19	^b 0,54	6,42	^b 0,83	6,38	^b 0,83
	%	13,77	^{ab} 0,39	13,48	^a 0,57	14,05	^b 0,50	13,91	^b 0,55
Kotelett	kg	5,82	^a 0,65	5,57	^b 0,51	6,01	^b 0,79	6,07	^b 0,82
	%	14,13	^a 0,78	12,14	^b 0,82	13,18	^c 0,70	13,23	^c 0,88
Lachs	kg	3,81	^a 0,41	3,32	^b 0,37	3,74	^a 0,50	3,76	^a 0,55
	%	9,33	^a 0,46	7,23	^b 0,68	8,20	^c 0,57	8,21	^c 0,69
Wamme	kg	1,13	^a 0,22	1,50	^b 0,20	1,37	^b 0,29	1,42	^b 0,29
	%	2,69	^a 0,37	3,27	^b 0,37	3,00	^c 0,42	3,08	^c 0,37
Zuwamme	kg	0,78	^a 0,13	0,96	^b 0,17	0,95	^b 0,18	0,98	^b 0,20
	%	1,93	^a 0,34	2,10	^a 0,35	2,08	^a 0,27	2,12	^a 0,27
Filet	kg	0,70	^a 0,09	0,61	^b 0,06	0,68	^b 0,10	0,67	^b 0,10
	%	1,72	^a 0,10	1,33	^b 0,11	1,49	^b 0,15	1,46	^b 0,13
Schinken	kg	11,42	^a 1,02	11,48	^a 0,74	11,92	^a 1,38	11,86	^a 1,62
	%	28,07	^a 0,77	25,02	^b 0,69	26,11	^c 0,94	25,81	^c 0,88
Schinken, schier	kg	9,44	^a 0,93	8,03	^b 0,65	9,04	^b 10,06	9,01	^b 1,26
	%	23,12	^a 1,00	17,50	^b 0,97	19,82	^c 1,30	19,66	^c 1,18
Bauch	kg	3,65	^a 0,43	5,01	^b 0,42	4,52	^b 0,68	4,67	^b 0,69
	%	8,85	^a 0,40	10,93	^b 0,76	9,89	^c 0,79	10,17	^c 0,71
MFA _{Bauch}	%	62,70	^a 3,07	46,05	^b 4,40	53,79	^c 4,87	54,53	^c 4,85
MFA	%	64,83	^a 2,22	51,13	^b 3,14	57,88	^c 3,54	58,12	^c 3,40

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Tab. 18: Mittelwerte und Standardabweichungen aus der Zerlegung der Schlachtkörperhälften nach Praxisschnitt (n=202)

Teilstück		Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau					
		n=19		n=36		n=74		n=73					
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s				
Nacken	kg	3,72	ab	0,37	3,70	a	0,38	3,97	ab	0,55	3,99	b	0,52
	%	9,10	a	0,47	8,06	b	0,48	8,68	c	0,57	8,70	c	0,70
Teller	kg	5,07	a	0,44	5,39	ab	0,48	5,72	b	0,75	6,38	b	0,83
	%	12,42	a	0,34	11,74	b	0,58	12,50	a	0,46	12,46	a	0,54
Kotelett	kg	5,42	a	0,61	5,20	b	0,48	5,60	ab	0,73	5,65	ab	0,82
	%	13,17	a	0,73	11,33	b	0,79	12,28	c	0,66	12,32	c	0,84
Lachs	kg	3,81	a	0,41	3,32	b	0,37	3,74	a	0,50	3,76	a	0,55
	%	8,90	a	0,45	6,91	b	0,66	7,82	c	0,56	7,84	c	0,67
Bauch	kg	3,45	a	0,43	4,73	b	0,41	4,24	c	0,65	4,67	c	0,69
	%	8,35	a	0,44	10,31	b	0,77	9,29	c	0,76	9,54	c	0,67
MFA-Bauch	%	62,61	a	3,06	45,85	b	4,48	53,61	c	4,88	54,53	c	4,85

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Beim Vergleich der entsprechenden Teilstückanteile und -gewichte aus DLG- und Praxiszerlegung zeigen sich bei den hochwertigen Teilstücken höhere Werte bei Anwendung der DLG-Schnittführung. Die offensichtlich großzügigere Praxisschnittführung bei diesen Teilstücken wird durch die Unterschiede beim Teilstück Kotelett von 0,2 bis 0,4 kg zu Gunsten der DLG-Schnittführung deutlich. Umgekehrt fällt das Gewicht des Teilstückes Bauch bei Zerlegung nach DLG-Schnittführung niedriger aus.

4.2 Genauigkeiten in der Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung aus der Zerlegung mit Hilfe des MRT-Verfahrens

Ein Ziel des Versuchs war es zu überprüfen, ob die Magnet-Resonanz-Tomographie als alternative Referenzmethode anstatt der Vollzerlegung geeignet ist. Nach ALLEN (2003) ist die Vollzerlegung mit verschiedenen Problemen behaftet. So werden geschulte Schlachter benötigt, die in der Lage sind die einzelnen Gewebefraktionen nach standardisiertem Schema möglichst exakt zu trennen. Der hohe Personalaufwand und die nach der Vollzerlegung zu berücksichtigende Wertverlust des Schlachtkörpers verursachen zudem hohe Kosten. Ein weiterer Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass bei Vollzerlegungen immer nur eine Schlachtkörperhälfte zerlegt wird, obwohl auch zwischen den beiden Hälften eines Schlachtkörpers Differenzen in der Zusammensetzung auftreten können (ALLEN, 2003).

Die Grundlage für den Vergleich von Zerlegung und Tomographie stellen die Daten von 202 Tieren dar, die im Rahmen dieses Versuchs tomographiert und vollzerlegt wurden.

4.2.1 Wiederholbarkeiten der Klassifizierung der MRT-Bilder

Auf Grundlage der Tomographie-Bilder wurden die Muskel- und Fettgewebelumina bestimmt. Diese Vorgehensweise setzt voraus, dass alle Knochenfragmente aus den Bildern im Vorfeld der automatischen Bestimmung der Gewebelumina manuell entfernt werden. Darüber hinaus müssen bei jedem Bild zur Unterscheidung von Muskel- und Fettgewebe spezifische Grauwerte zugeordnet werden. Diese, durch den Benutzer festgelegten Parameter dienen dem Bildbearbeitungsprogramm „Analyse“ als Grundlage der automatischen Volumenbestimmungen. Durch die manuelle Einflussnahme ist jedoch ein Bedienereinfluss vorstellbar. Um dies zu überprüfen wurden die MRT-Bilder von 30 Schweinen durch jeweils zwei Benutzer klassifiziert und Wiederholbarkeiten der Messungen Gesamtvolumen des Schlachtkörpers, Muskel- und Fettvolumen berechnet. Für alle genannten Merkmale ergaben sich Wiederholbarkeiten von mehr als 96% (Tab. 19). Dieses Ergebnis zeigt, dass der Einfluss verschiedener Auswertungspersonen auf die Ergebnisse der Gewebe- und Gesamtvolumenbestimmung von untergeordneter Bedeutung ist.

Tab. 19: Wiederholbarkeiten von Volumenerfassungen unterschiedlicher Gewebe bei der Bildauswertung durch zwei Benutzer (n=30)

Merkmal	Wiederholbarkeit (%)
Gesamtvolumen des Schlachtkörpers	100,0
Muskelvolumen des Schlachtkörpers	98,8
Fettvolumen des Schlachtkörpers	96,6

4.2.2 Vergleich der Methoden MRT und Zerlegung

4.2.2.1 Muskelmasse und Muskelfleischanteil im Schlachtkörper

4.2.2.1.1 Verzerrungen

Tabelle 20 beinhaltet die Mittelwerte und Standardabweichungen der Muskelgewichte und -anteile aus Zerlegung und Tomographie sowie die entsprechenden Differenzen zwischen sich entsprechenden Merkmalen aus beiden Verfahren. Bei der Interpretation der Differenzen ist zu beachten: a) Zur Berechnung der Muskelmasse und des MRT-MFA_{Gew} wurde das mit Hilfe der Cavalieri-Methode geschätzte Muskel- und Fettvolumen mit einem konstantem spezifischem Gewicht (Fett: 0,96 kg/l, Muskel: 1,06 kg/l) multipliziert und b) die Definitionen der Merkmale MRT-MFA_{Vol}, MRT-MFA_{Gew} bzw. MRT-MFA_{Zerl} sind unterschiedlich. Bei Berechnung des MRT-MFA_{Vol} wurde das Muskelvolumen durch die Summe aus Muskel- und Fettvolumen dividiert. Bei den anderen beiden Merkmalen ist die Bezugsgröße das Schlachtkörpergewicht, das neben der Muskel- und Fettmasse zusätzlich die Knochenmasse beinhaltet. Die großen absoluten Differenzen zwischen MRT-MFA_{Vol} und den MFA_{Zerl} sind vor diesem Hintergrund zu erklären.

Die geschätzten MRT-Muskelmassen sind bei allen Herkünften niedrigerer, als die Muskelmassen aus der Zerlegung. Die geringste Differenz wurde mit -1,17 kg bei den Mutterlinien DE/DL festgestellt. Bei der Rasse Piétrain liegt die absolute Differenz mit -1,72 kg deutlich höher. Aufgrund der unterschiedlichen Merkmalsdefinitionen liegen die absoluten Unterschiede zwischen MRT-MFA_{Vol} und den MFA_{Zerl} auf einem deutlich

höheren Niveau. Die Differenzen liegen zwischen 13,7 und 16,6%. Auch hier sind die größten Unterschiede bei den fleischreichen Pi und die niedrigsten Abweichungen bei den relativ fetten Mutterlinien DE/DL zu beobachten.

Tab. 20: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Merkmale Muskelgewicht aus der Zerlegung sowie Muskelvolumen und -gewicht aus der Tomographie (MRT)

		Piétrain n=17		DE/DL n=36		Pi×Westhybrid n=74		db.65×db.Sau n=73	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Muskelmasse									
Zerlegung	kg	26,54 ^b	2,48	23,49 ^a	2,16	26,39 ^b	3,15	26,52 ^b	3,60
MRT	kg	24,46 ^{ab}	2,46	22,34 ^a	2,07	24,90 ^b	3,20	25,27 ^b	3,61
Δ Zerlegung	kg	-1,72 ^a	0,97	-1,17 ^a	0,46	-1,52 ^a	0,77	-1,28 ^a	0,78
Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte									
MFA _{Zerl}	%	65,01 ^c	2,15	51,13 ^a	3,14	57,84 ^b	3,46	58,12 ^b	3,39
MRT -Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte									
MRT- MFA _{Vol}	%	81,37 ^c	2,95	65,93 ^a	4,97	72,81 ^b	4,05	73,64 ^b	4,60
Δ MFA _{Zerl}	%	16,59 ^c	2,06	13,72 ^a	1,79	14,85 ^b	1,55	15,45 ^{bc}	1,90
MRT- MFA _{Gew}	%	60,72 ^c	2,9	48,67 ^a	3,06	54,55 ^b	2,81	55,28 ^b	3,1
Δ MFA _{Zerl}	%	-4,3 ^a	2,48	-2,64 ^b	1,09	-3,41 ^{ab}	1,77	-2,91 ^b	1,78

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Trotz gleicher Bezugsbasis sind auch nennenswerte Differenzen zwischen MRT-MFA_{Gew} und den MFA_{Zerl} festzustellen. Die Unterschätzungen reichen von -4,3% (Pi) bis -2,6% (DE/DL). Diese Unterschiede könnten durch eine fehlerhafte Annahme der genannten spezifischen Gewichte der Gewebearten zu erklären sein. Darüber hinaus

sind jedoch auch unscharfe Abgrenzungen an den Übergängen von Muskel- und Fettgewebe mit Hilfe der transformierten Grauwertinformationen des MRT-Tomographens als mögliche Erklärungen in Betracht zu ziehen.

Die deutlichen höheren absoluten Abweichungen bei der Rasse Piétrain im Vergleich zu den Mutterlinien legen die Vermutung nahe, dass sich die Unterschiede zwischen MRT- und Zerlegeverfahren mit zunehmendem Muskelfleischanteil systematisch verändern. Um diese Hypothese zu untersuchen, wurde ohne Berücksichtigung des Herkunftseffektes eine lineare Regressionsanalyse mit den Differenzen zwischen den Ergebnissen der MRT- und Zerlegungsmethode als abhängige und dem Muskelfleischanteil als unabhängige Variable durchgeführt (Abb. 11).

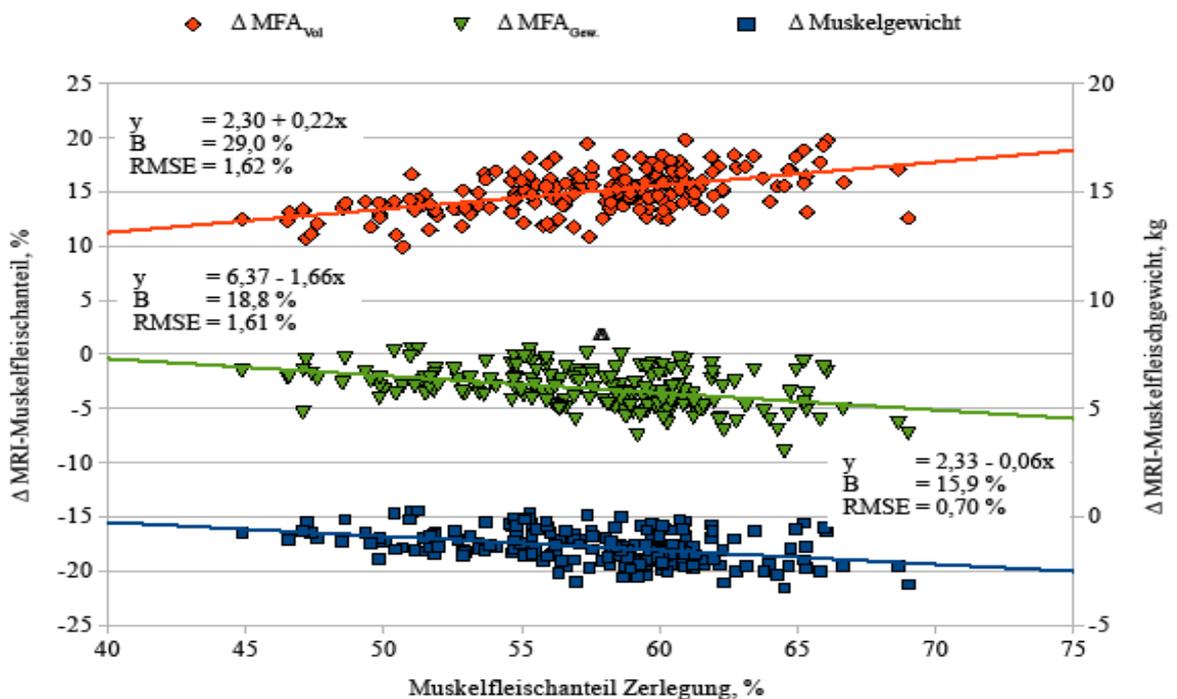


Abb. 11: Abhängigkeiten zwischen dem Muskelfleischanteil aus der Zerlegung und Differenzen (Δ) zwischen den Methoden MRT und Zerlegung in den Merkmalen Muskelmasse bzw. Muskelfleischanteil

Die geschätzten Regressionskoeffizienten $b=0,22$ kg/% zeigen, dass sich mit zunehmender Fleischigkeit der Schlachtkörper die Differenzen zwischen MRT- MFA_{Vol} und dem MFA aus der Zerlegung vergrößern. 29% der Variation dieser Differenz lässt

sich durch den MFA der Zerlegung erklären. Die Regressionskoeffizienten bei den MRT-Merkmalen Muskelfleischanteil (MFA_{Gew}) und Muskelgewicht sind negativ. Hieraus folgt, dass sich die Unterschätzung des Muskelfleischanteils oder -gewichts mit zunehmender Fleischigkeit der Schlachtkörper vergrößert. Der RMSEC ist beim Merkmal Muskelmasse mit 0,70% mehr als die Hälfte kleiner als der entsprechende Wert beim Merkmal Muskelfleischanteil (1,61%). Die entsprechenden Bestimmtheitsmaße liegen bei 19% bzw. 16%.

4.2.2.1.2 Schätzfehler (RMSEC, B, CV)

Mit Hilfe entsprechender linearer und multipler Regressionsanalysen soll die Schätzgenauigkeit des MRT-Verfahrens beurteilt werden. Als Referenzgröße dienen die Muskelmasse oder Muskelfleischanteile der Zerlegung. Dabei wird ein linearer Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variable unterstellt.

Tab. 21 zeigt die Genauigkeit der Schätzung der wahren Muskelmasse (Zerlegung) auf Basis der MRT-Messungen. Bei Verwendung des MRT-Muskelvolumens der gesamten Schlachtkörperhälfte lässt sich bei allen untersuchten Herkünften die Muskelmasse aus der Zerlegung zufriedenstellend schätzen. Dies gilt insbesondere für die Linien DE/DL für die ein Bestimmtheitsmaß (B) von 95% und ein relativer Schätzfehler (CV) von 2% errechnet wurde. Selbst für die Rasse Piétrain mit geringster Schätzgenauigkeit liegt das B über 80% und der CV mit 3,5% in einem zufriedenstellenden Bereich. Im Gegensatz dazu ist eine Verwendung des MRT-Fettvolumens zur Abschätzung der Muskelfleischmasse kaum geeignet, wie die hohen Variationskoeffizienten aus Tabelle 21 dokumentieren. Die Abschätzung der Muskelmasse mit Hilfe des MRT-Gesamtvolumens des Schlachtkörpers ist aus arbeitstechnischen Gründen von Bedeutung. Die Messung des Volumens lässt sich besser automatisieren, da eine manuelle Festlegung der Grauwertschwellenwerte je Bild nicht notwendig ist. Die erreichten Genauigkeiten sind jedoch nicht ausreichend, um eine solche Vorgehensweise zu befürworten. Mit Ausnahme der Rasse Piétrain ist im Vergleich zur Abschätzung der Muskelfleischmasse auf der Basis des MRT-Muskelvolumens eine deutliche Erhöhung des relativen Schätzfehlers von bis zu 5% festzustellen.

Bei alleiniger Berücksichtigung des Schlachtgewichts lässt sich die Muskelfleischmasse der Mutterlinien und Kreuzungsherkünfte nur mit relativen Schätzfehlern von >5%

schätzen. Auffällig ist, dass man mit diesem Prädiktor bei der Rasse Piétrain mit einem CV von 3,28% die beste Schätzgenauigkeit erreicht, während bei den übrigen Herkünften das Muskelvolumen die größte Rolle spielt.

Tab. 21: Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers auf Basis der MRT-Merkmale des gesamten Schlachtkörpers aus der Zerlegung (n=199)

		Piétrain	DE/DL	Pi×Westhybrid	db.65×db.Sau
Prädiktor: Schlachtkörpergewicht					
RMSEC	kg	0,87	1,37	1,53	1,49
B	%	87,12	60,00	77,10	83,47
CV	%	3,28	5,84	5,79	5,63
Prädiktor: MRT-Muskelvolumen					
RMSEC	kg	0,95	0,47	0,76	0,78
B	%	84,53	95,40	94,31	95,48
CV	%	3,60	1,98	2,88	2,94
Prädiktor: MRT-Fettvolumen					
RMSEC	kg	2,38	2,15	3,02	3,44
B	%	3,84	1,88	10,61	12,12
CV	%	8,97	9,15	11,43	12,98
Prädiktor: MRT-Volumen des Schlachtkörpers (Muskelvolumen+Fettvolumen)					
RMSEC	kg	1,06	1,63	1,71	1,85
B	%	80,97	43,50	71,23	74,66
CV	%	3,99	6,95	6,49	6,97

In einem weiteren Schritt wurde geprüft, ob sich die Schätzgenauigkeit der Muskelmasse aus der Zerlegung durch Kombination der MRT-Prädiktoren Muskel- und Fettvolumen und Schlachtkörpergewicht verbessern lässt. Zusätzlich wurden als potentielle unabhängige Variablen die Schlachtkörperlänge oder der MFA-AutoFOM des Schlachtkörpers berücksichtigt. Die Auswahl dieser beiden Merkmale - aus einer

Vielzahl alternativer Möglichkeiten - orientierte sich am zusätzlich benötigtem Aufwand der Erfassung sowie dem zu erwartenden Informationsgewinn.

In den endgültigen Regressionsformeln wurden ausschließlich Prädiktoren verwendet, die bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 15% einen signifikanten Einfluss auf die Schätzgenauigkeit ausübten. Die Schätzgenauigkeiten sind in Tab. 22, die Prädiktoren, die jeweils in die Regressionsgleichungen aufgenommen werden in Tab. 23 dargestellt.

Tab. 22: Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers aus der Zerlegung auf Basis von Merkmalen der MRT, dem Schlachtkörpergewicht, der Schlachtkörperlänge und dem $MFA_{AutoFOM}$ (n=199)

		Piétrain	DE/DL	Pi×Westhybrid	db.65×db.Sau
Modell I) Prädiktoren: Muskel-, Fettvolumen, Schlachtkörpergewicht					
RMSEC	kg	0,79	0,47	0,64	0,78
B	%	90,07	95,40	96,12	95,48
CV	%	2,98	1,98	2,42	2,94
Modell II) Prädiktoren: Muskel-, Fettvolumen, Schlachtkörperlänge, -gewicht					
RMSEC	kg	0,79	0,38	0,64	0,62
B	%	90,07	97,00	96,12	96,00
CV	%	2,98	1,63	2,42	2,78
Modell III) Prädiktoren: Muskel-, Fettvolumen, Schlachtkörpergewicht, $MFA_{AutoFOM}$					
RMSEC	kg	0,70	0,37	0,56	0,59
B	%	92,14	97,31	97,01	97,52
CV	%	2,65	1,59	2,14	2,23

Tab. 23: Berücksichtigte Prädiktoren bei der Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers aus der Zerlegung auf Basis der in Tab. 22 beschriebenen Modelle und der Methode „Stepwise“

Herkunft	Modell I			Modell II			Modell III					
	Piétrain	DE/DL	Pi×Westhybrid	db.65×db.Sau	Piétrain	DE/DL	Pi×Westhybrid	db.65×db.Sau	Piétrain	DE/DL	Pi×Westhybrid	db.65×db.Sau
Muskelvolumen		√	√	√		√	√	√		√	√	√
Fettvolumen	√		√		√	√	√		√	√	√	√
Schlachtkörpergewicht	√		√	√	√		√		√	√	√	√
MFA _{AutoFOM}									√	√	√	√
Schlachtkörperlänge						√		√				

Bei den Herkünften DE/DL sowie db.65×db.Sau lässt sich durch die Kombination des Muskel- und Fettvolumens die Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse aus der Zerlegung im Vergleich zur alleinigen Berücksichtigung des MRT-Muskelvolumens nicht verbessern. Im Gegensatz dazu beeinflusst die Schlachtkörperlänge bei diesen Herkünften die Schätzung der Muskelmasse in signifikanter Weise. Bei den Herkünften Piétrain und Pi×Westhybrid führt die Hinzunahme des MRT-Fettvolumens und des Schlachtkörpergewichts zu beachtlichen Verbesserungen im CV von 0,5% bzw. 0,6%. Bemerkenswert ist, dass das Merkmal Muskelvolumen in den Regressionsgleichungen bei der Rasse Piétrain, im Gegensatz zu allen übrigen Herkünften keine Rolle spielt. Bei allen Herkünften ist der größte Informationsgewinn durch die zusätzliche Integration des MFA-AutoFOM (Modell III) zu beobachten. Die Verbesserungen im CV belaufen sich auf 0,4 (DE/DL) bis 0,7% (Kreuzungslinien).

Zusätzlich zur Vermessung der gesamten Schlachtkörperhälfte wurde im Rahmen der MRT-Untersuchungen der Volumenanteil von virtuellen MRT-Teilstücken erfasst (siehe Kapitel 3, Abb. 7). Diese Informationen sind vornehmlich für die Schätzung der wahren Teilstückgewichte aus der Zerlegung bedeutsam. Darüber hinaus könnte im Vergleich zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität mit teilstückübergreifenden Informationen, die Verwendung von mehreren MRT-Teilstückinformationen zu einem Genauigkeitsanstieg bei der Schätzung der Gewebemassen des Schlachtkörpers führen. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht ist es von Interesse, ob schon mit einer reduzierten Anzahl von MRT-Teilstückmerkmalen eine ausreichend hohe Schätzgenauigkeiten für die Zusammensetzung des gesamten Schlachtkörpers erreicht werden kann. Dies würde den Zeitaufwand für die Bearbeitung der MRT-Bilder deutlich vermindern.

Nachfolgend (Tab. 24) sind die Schätzgenauigkeiten der linearen Regressionsanalysen zur Schätzung der Muskelmasse des Schlachtkörpers ($\text{Muskel}_{\text{Zerl}}$) auf Grundlage des Schlachtgewichts und der Muskelfleisch- und Fettvolumina der MRT-Teilstücke dargestellt. Die entsprechenden Stepwise-Analysen erfolgten teilstückübergreifend oder getrennt nach MRT-Teilstücken mit dem Schlachtgewicht und den entsprechenden Muskel- und Fettvolumen als mögliche unabhängige Variablen.

Bei der Rasse Piétrain erweist sich das craniale Teilstück T1 als informativster Prädiktor. Im Vergleich zu der Schätzgenauigkeit der Muskelmasse mit Hilfe des Schlachtgewichts und den MRT-Gewebevolumina des gesamten Schlachtkörpers (Referenz „gesamter Schlachtkörper“) ist die Schätzgenauigkeit bei Verwendung dieses MRT-Teilstückes deutlich erhöht. Der relative Schätzfehler sinkt von 2,8% auf 1,4%. Im Rahmen der Stepwiseanalyse wurde nur das Fettvolumen des Teilstückes T1 als signifikanter Prädiktor in das abschließende Auswertungsmodell integriert. Demzufolge ist eine Abschätzung des Muskelfleischgewichts der gesamten Schlachtkörperhälfte bei der Rasse Piétrain ausschließlich mit Hilfe des Schulterteilstückes T1 aus arbeitstechnischen Sicht und aus Gründen einer verbesserten Genauigkeit vorteilhaft.

Tab. 24: Genauigkeiten der Stepwise-Schätzungen des Muskelfleischgewichts der Schlachtkörperhälfte mit Hilfe von Schlachtgewicht und Muskel- und Fettvolumen der MRT-Teilstücke (n=200)

			Piétrain	DE/DL	Pi× Westhybrid	db.65× db.Sau
Prädiktoren: Schlachtkörpergewicht, Fett- und Muskelvolumen des ...						
RMSEC	kg	gesamten Schlachtkörpers (Referenz)	0,79	0,47	0,64	0,78
B	%		90,07	95,40	96,12	95,48
CV	%		2,98	1,98	2,42	2,94
RMSEC	kg	T1: Schulter	0,43	0,67	0,68	0,72
B	%		97,31	91,09	95,65	96,2
CV	%		1,63	2,84	2,56	2,73
RMSEC	kg	T2: Mitte cranial	0,87	0,64	0,68	0,72
B	%		87,12	91,74	95,55	96,26
CV	%		3,33	2,73	2,59	2,71
RMSEC	kg	T3: Mitte Bauch	0,78	0,57	0,89	0,69
B	%		90,37	93,63	92,42	96,57
CV	%		2,98	2,4	3,37	2,59
RMSEC	kg	T4: Mitte caudal	0,81	0,6	0,86	0,72
B	%		89,6	92,87	92,92	96,29
CV	%		3,1	2,54	3,26	2,70
RMSEC	kg	T5: Schinken	0,87	0,69	0,94	0,85
B	%		87,12	90,6	91,54	94,83
CV	%		3,33	2,92	3,57	3,18
RMSEC	kg	T1 bis T5	0,43	0,46	0,59	0,62
B	%	(Stepwise)	97,31	95,99	96,87	97,27
CV	%		1,63	1,97	2,22	2,33

Tab.25: Berücksichtigte Prädiktoren bei der Schätzung des Muskelfleischgewichts der Schlachtkörperhälfte mit Hilfe von Schlachtgewicht und Muskel- und Fettvolumen aller MRT-Teilstücke T1-T5 mit Hilfe der Regressionsmethode Stepwise (n=200)

MRT-Teilstück		Piétrain	DE/DL	Pi×	db.65×
				Westhybrid	db.Sau
Schlachtkörpergewicht		√		√	√
T1: Schulter	Muskel	√	√	√	
	Fett	√		√	√
T2: Mitte cranial	Muskel		√		
	Fett			√	√
T3: Mitte Bauch	Muskel		√		
	Fett				√
T4: Mitte caudal	Muskel		√		
	Fett		√	√	
T5: Schinken	Muskel		√	√	
	Fett				

Im Vergleich zu den erreichten Genauigkeiten der Abschätzung des Muskelfleischanteils der Zerlegung mit Hilfe des MRT-Fleischanteils der gesamten Schlachtkörper (Tab. 23) sind die erreichten Genauigkeiten bei Verwendung einzelner MRT-Teilstücke bei den Rassen DE und DL deutlich schlechter. Allerdings führt die Kombination von 6 verschiedenen MRT-Teilstückmerkmalen (Tab. 24 und 25) im Vergleich zur Referenz „gesamter Schlachtkörper“ zu einer Verbesserung des relativen Schätzfehlers von 0,5%. Bei den Kreuzungsherkünften ist die Rangfolge der Modelle hinsichtlich der Schätzgenauigkeit ähnlich wie bei den Mutterlinien. Auch bei diesen Herkünften führt die Kombination der Teilstückangaben im Vergleich zur Referenz „gesamter Schlachtkörper“ zu einer nennenswerten Verbesserung des relativen Schätzfehlers von ~0,5 %. Im Gegensatz zu den DE/DL-Tieren werden jedoch schon bei ausschließlicher Verwendung einzelner MRT-Teilstücke bei den Kreuzungsherkünften (Pi×Westhybrid: T1, db.65×db.Sau: T2, T3, T4) Genauigkeiten erzielt, die höher sind, als die Genauigkeiten des Referenzmodells „gesamter Schlachtkörper“.

Mit Ausnahme der Mutterlinien DE/DL führt bei allen Herkünften die Kombination von verschiedenen Teilstückinformationen im Vergleich zur Referenz „gesamter Schlachtkörper“ zu einer beachtlichen Verbesserung der Schätzgenauigkeit. Die MRT-Teilstückmessungen ermöglichen eine spezifische Erfassung der Fett- und Muskelverhältnisse in den verschiedenen Regionen des Schlachtkörpers. Vor diesem Hintergrund lässt sich die verbesserte Schätzung des gesamten Muskelfleischanteils der Schlachtkörperhälfte bei Berücksichtigung der MRT-Teilstückinformationen im Vergleich zu einer Schätzung auf der Basis der MRT-Volumina des gesamten Schlachtkörpers erklären. Darüber hinaus lässt sich der Arbeitsaufwand der MRT-Messungen bei den Piétrain-Schweinen verringern. Bei dieser Rasse sind nur die Teilstückinformationen aus der Schulter notwendig, um die Muskelmasse des gesamten Schlachtkörpers zufriedenstellend zu schätzen. Bei den übrigen Herkünften werden die MRT-Teilstückinformationen aus drei Regionen benötigt, so dass nur unwesentliche Arbeitseinsparungen im Vergleich einer vollständigen Messung des Schlachtkörpers möglich sind.

4.2.2.2 Teilstückgewichte

4.2.2.2.1 Verzerrungen

Nachstehend sollen die Zusammenhänge zwischen den MRT-Teilstückvolumina und den Teilstückgewichten aus der Zerlegung dargestellt werden. Die Mittelwerte der virtuell ermittelten MRT-Teilstücke sind Tab. 16, S. 58 zu entnehmen. Diese MRT-Teilstücke sind eine Kombination aus verschiedenen Zerlegeteilstücken. Das MRT-Teilstück T1 ($T1_{MRT}$) beinhaltet die Teilstücke Kamm und Bug aus der Zerlegung nach DLG-Standard. Um die Teilstückdefinitionen aus MRT und Zerlegung im caudalen und mittleren Schlachtkörper vergleichen zu können, war es notwendig, die MRT-Teilstücke T2 und T3 ($T2+3_{MRT}$) sowie T4 und T5 ($T4+5_{MRT}$) zusammenzufassen. $T2+3_{MRT}$ umfasst annäherungsweise die DLG-Teilstücke Rückenspeck, Bauch, Kotelett, Wamme und Filetkopf, $T4+5_{MRT}$ die Teilstücke Schinken, Filet, Eisbein und Zuwamme. Tab. 26 beinhaltet die Differenzen zwischen den entsprechenden Teilstückdefinitionen aus Zerlegung und MRT. Grundlage dieser Berechnungen ist die MRT-Muskelmasse

(Muskelvolumen \times 1,06 kg/l) sowie die Masse der zerlegten, größtenteils abgespeckten (schieren) Teilstücke. Die fettreichen Teilstücke Rückenspeck, Wamme, Zuwamme und Eisbein wurden im Rahmen des Versuchs nicht in die jeweiligen Gewebekomponenten zerlegt. Da diese Teilstücke einen hohen Fettanteil aufweisen, blieben sie bei den Berechnungen der Differenzen unberücksichtigt.

Tab. 26: Differenzen (Δ) zwischen den geschätzten MRT-Muskelfleischmassen von Teilstücken und entsprechenden Teilstücken aus der Zerlegung, getrennt nach Herkünften (n=193)

Merkmal, kg	Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau					
	n=17/12 ^{*)}		n=35/30		n=73/70		n=68/68					
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s				
T1 _{MRT}	6,94	b	0,57	6,43	a	0,58	7,06	b	0,98	7,11	b	1,00
Δ (Σ Bug schier, + Kamm)	-1,00	a	0,33	1,35	b	0,34	1,24	ab	0,36	1,20	ab	0,37
Δ Bug schier	2,33	ab	0,42	2,00	a	0,31	2,34	b	0,51	2,39	b	0,47
Δ Bugfleisch	2,90	ab	0,42	2,72	a	0,30	3,02	b	0,53	3,06	b	0,50
T2 _{MRT} + T3 _{MRT}	8,00	a	0,74	7,92	a	0,74	8,46	b	1,15	8,76	b	1,31
Δ (Σ Bauchfleisch + Kotelett schier + Filetkopf)	-0,22	ab	0,36	-0,30	ab	0,51	-0,29	b	0,36	-0,11	a	0,39
Δ Kotelett schier	2,32	a	0,42	2,28	a	0,61	2,44	a	0,50	2,71	b	0,58
Δ Kotelettfleisch	3,48	a	0,52	3,88	ab	0,62	3,91	ab	0,63	4,17	b	0,70
Δ Bauchfleisch	5,78	ab	0,77	5,57	a	0,74	6,04	ab	0,90	6,24	b	1,02
T4 _{MRT} + T5 _{MRT}	10,11	c	0,92	8,41	a	0,72	9,37	b	1,19	9,40	b	1,42
Δ (Σ Filet + Schinken schier)	-0,38	ab	0,49	-0,20	b	0,24	-0,28	ab	0,31	-0,41	a	0,35
Δ Schinken schier	0,45	b	0,47	0,15	a	0,30	0,32	ab	0,31	0,41	b	0,36
Δ Schinkenfleisch	1,07	ab	0,48	0,81	a	0,27	0,96	ab	0,34	1,08	b	0,38
Δ Filet	9,08	b	0,94	7,59	a	0,72	8,69	b	1,11	8,73	b	1,32
Lachs _{MRT}	2,99	b	0,25	2,57	a	0,32	2,95	b	0,41	2,96	b	0,52
Δ Lachs	-0,54	ab	0,22	-0,50	b	0,13	-0,61	a	0,17	-0,63	a	0,26
Bauchfleisch _{MRT}	2,41	a	0,32	2,60	a	0,25	2,66	a	0,35	2,83	b	0,43
Δ Bauch	0,17	a	0,17	0,31	a	0,12	0,26	a	0,16	0,31	a	0,20

^{*)}: Anzahl Beobachtungen beim MRT-Teilstück Bauchfleisch

a-c: unterschiedliche Buchstaben in den Zeilen kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den Herkünften (Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die in Tabelle 26 aufgeführten Differenzen sind durch die nicht vollständig deckungsgleichen Teilstückdefinitionen zu erklären. Darüber hinaus beinhalten die abgespeckten (schieren) Teilstücke aus der Zerlegung noch die Knochenmasse (Bug, Kotelett, Schinken). Demzufolge ist eine Unterschätzung der Masse schierer, zerlegter Teilstücke auf der Basis des MRT-Muskelgewichts aus der Zerlegung zu erwarten. Bei der Umrechnung der originären MRT-Muskelvolumenmessungen wurde ein konstantes spezifisches Gewicht von 1,06 kg/l unterstellt. Dieser Faktor wurde im Rahmen der Arbeit nicht verifiziert. Unterschiede zwischen dem spezifischen Gewicht des Muskelgewebes in unterschiedlichen Teilstückregionen sind vorstellbar und könnten ebenfalls zur Erklärung der abweichenden Schätzergebnisse herangezogen werden.

Bei Verwendung des MRT-Teilstückes T1 beträgt die Unterschätzung der Fleischmasse der Teilstücke Bug und Kamm zwischen -0,44 und -0,64 kg. Das Teilstück Kamm wurde nicht in seine Gewebekomponenten Fett- und Muskel zerlegt. Das Fettgewebe des Kammes ist demzufolge als Ursache der systematischen Unterschätzung des Summenteilstückes T1 durch das entsprechende MRT Muskelvolumen zu nennen.

Der abgespeckte Bug bzw. das Bugfleisch wird aufgrund der unterschiedlichen Teilstückdefinitionen erwartungsgemäß überschätzt, wobei diese Überschätzung mit 2,0 bzw. 2,7 kg bei der Linie DE/DL im Vergleich zu den übrigen Rassen am niedrigsten ausfällt.

Bei Verwendung der MRT-Teilstücke T2+T3 und T4+T5 lassen sich bei allen Herkünften vergleichsweise geringe Unterschätzungen (~0,4 kg) beim korrespondierenden schieren Summenmerkmal „Bauchfleisch+Kotelett schier+Filetkopf“ bzw. „Filet+ Schinken schier“ feststellen. Bei den Einzelteilstücken Kotelett und Bauch in der Region T2+T3 sind die aufgrund der Teilstückdefinitionen zu erwartenden Überschätzungen bei der Herkunft db.65×db.Sau am stärksten und bei der Herkunft Pi am geringsten ausgeprägt. Die Massen der Merkmale Schinken schier und Schinkenfleisch in der Region T3+T4 werden bei allen Herkünften zwischen 0,2-0,4 bzw. 0,8-1,1 kg überschätzt. Diese Überschätzungen weisen bei den Rassen DE/DL die geringsten Werte auf.

Das Teilstück Lachs wird bei allen Herkünften um mehr als 0,5 kg bei Verwendung des entsprechenden MRT-Teilstückes unterschätzt, da aus den MRT-Bildern anatomisch exakt nur der größte Lachsmuskel, der M. long. dorsi abgegrenzt werden konnte.

4.2.2.2.2 Schätzfehler (R, RMSEC, CV)

Um die Schätzgenauigkeiten des MRT-Verfahrens zur Abschätzung der zerlegten Teilstückmuskelmassen beurteilen zu können, wurden Regressionsanalysen wie in Tabelle 29 und 30 dargestellt durchgeführt. Zunächst erfolgte die Schätzung der zerlegten Muskelmassen der Teilstücke nur mit dem Schlachtgewicht und den Muskel- und Fettvolumina des korrespondierenden, virtuellen Teilstücks. In einem alternativen Auswertungsschritt konnten neben dem Schlachtgewicht die Muskel- und Fettvolumen aller verfügbaren MRT-Teilstücke T1 bis T5 als potentielle Prädiktoren berücksichtigt werden. Beide genannten Auswertungen erfolgten in Form einer Stepwiseanalyse mit einer Signifikanzschwelle der berücksichtigten Prädiktoren von $p < 15\%$. Die resultierenden Genauigkeiten sowie die berücksichtigten Prädiktoren sind den Tabellen 27-30 zu entnehmen.

Zusätzlich zu den virtuellen Teilstücken T1-T5, konnten beim Teilstück Lachs und dem Bauchfleisch bei der Stepwiseanalyse die korrespondierenden MRT-Gewebeinformationen $Lachs_{MRT}$ und $Bauch_{MRT}$ als potentielle Prädiktoren berücksichtigt werden. Dies wäre prinzipiell auch bei den anderen Teilstücken möglich gewesen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Anzahl verfügbarer Datensätze aufgrund der beschriebenen technischen Probleme bei der MRT-Analyse (siehe Abschnitt 4.2) des virtuellen Teilstückes Bauch insbesondere bei der Rasse Piétrain ($n=12$) und DE/DL ($n=60$) um jeweils 5 Tiere reduziert ist. Darüber hinaus sind die MRT-Teilstücke Lachs und Bauch Bestandteil der MRT-Teilstücke T2 und T3. Aufgrund der reduzierten Anzahl Beobachtungen und zur Vermeidung möglicher Autokorrelationen zwischen den Prädiktoren blieben die MRT-Teilstücke Lachs und Bauch bei der Modellierung der nicht direkt korrespondierenden Zerlegeteilstücke unberücksichtigt.

Bei der Abschätzung der Teilstückmassen mit Hilfe des Schlachtgewichts und dem korrespondierenden virtuellen MRT-Teilstück wurden bei nahezu allen Teilstücken Bestimmtheitsmaße über 80% und CV unter 5% erreicht. Hiervon ausgenommen ist die Schätzung der Bauchfleisch-, Kottlettfleisch- und Filetgewichte, die insbesondere bei den Kreuzungslinien häufig nur mit einem CV von mehr als 5% geschätzt werden können.

Erwartungsgemäß ließen sich die erreichten Genauigkeiten in der Schätzung der zerlegten Teilstückgewichte durch die Ausdehnung der potentiellen Prädiktoren auf alle virtuellen MRT-Teilstücke deutlich verbessern. Diese Verbesserungen sind insbesondere

bei der Schätzung der Schulter- und Schinkenteilstücke innerhalb der Rasse Piétrain von Bedeutung.

Die Anzahl und Eigenschaften der ausgewählten Prädiktoren der endgültigen Regressionsgleichungen sind je nach Teilstück und Herkunft unterschiedlich. Die Ergebnisse aus den Tabellen 29 und 30 zeigen jedoch, dass vornehmlich das Schlachtgewicht und die Muskelvolumina, aber weniger häufig die Fettvolumina der MRT-Teilstücke in den Regressionsgleichungen berücksichtigt werden. Es fällt jedoch auf, dass im Rahmen der Stepwise Analyse das Fettvolumen des virtuellen Schulterteilstücks T1 häufig als nicht-koresspondierendes Teilstück in die multiplen Schätzgleichungen integriert wird.

Tab. 27: Genauigkeit der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte aus der Zerlegung auf Basis des Schlachtgewichts und der Muskelfleischvolumina von MRT-Teilstücken

Merkmal	Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau	
	CV,%	B,%	CV,%	B,%	CV,%	B,%	CV,%	B,%
Modelle: 1. Zeile: Schlachtgewicht, warm + T1 _{MRT} , 2. Zeile: „Stepwise“ (s. Tab. 29)								
Bug schier + Kamm	3,34	87,2	3,22	88,6	3,09	94,2	3,59	93,3
	2,89	91,1	2,59	94,0	3,01	94,6	3,27	94,7
Bug schier	3,76	83,3	3,07	89,2	3,60	91,6	4,19	90,9
	2,36	95,3	2,58	92,8	3,48	92,3	3,90	92,1
Bugfleisch	4,84	74,9	3,20	91,4	3,95	91,5	4,70	89,8
	2,51	94,6	3,03	92,6	3,75	92,5	4,34	91,3
Modelle: 1. Zeile: Schlachtgewicht, warm + T2 _{MRT} + T3 _{MRT} , 2. Zeile: „Stepwise“								
Bauchfleisch + Kotelett schier + Filetkopf	2,94	93,3	3,75	82,0	3,62	92,2	3,57	93,4
	2,58	95,2	3,12	88,7	3,28	93,7	3,49	93,7
Kotelett schier	3,40	91,4	4,92	71,9	4,09	90,7	4,61	89,6
	3,40	91,4	4,27	81,0	3,66	92,8	4,61	89,6
Kotelettfleisch	3,25	91,8	5,15	79,4	4,53	89,6	5,17	89,4
	3,25	91,8	4,65	83,7	4,12	91,4	5,07	90,0
Bauchfleisch	5,81	74,4	3,70	82,9	7,16	72,2	6,51	78,7
	5,34	80,0	3,33	86,2	7,16	72,2	6,27	80,5

Tab. 28: Genauigkeit der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte aus der Zerlegung auf Basis des Schlachtgewichts und der Muskelfleischvolumina von MRT-Teilstücken (Fortsetzung Tab. 27)

Merkmal	Piétrain		DE/DL		Pi×Westhybrid		db.65×db.Sau	
	CV,%	B,%	CV,%	B,%	CV,%	B,%	CV,%	B,%
Modelle: 1. Zeile: Schlachtgewicht, warm + T4 _{MRT} + T5 _{MRT} , 2. Zeile: „Stepwise“								
Filet + Schinken schier	4,37	81,5	2,50	91,3	2,67	95,1	2,52	97,1
	2,36	95,3	2,22	93,4	2,52	95,8	2,33	97,6
Schinken schier	4,49	80,3	2,68	90,1	2,79	94,6	2,57	96,9
	2,33	95,4	2,37	92,5	2,72	94,9	2,35	97,6
Schinkenfleisch	4,81	77,9	2,38	92,8	3,16	93,2	2,79	96,6
	2,29	95,6	2,35	93,0	2,79	95,0	2,79	96,6
Filet	5,59	80,8	6,21	66,9	6,64	79,7	6,61	83,8
	5,59	80,8	6,50	63,8	6,57	80,1	5,64	88,8
Modelle: 1. Zeile: Schlachtgewicht, warm + Lachs _{MRT} , 2. Zeile: „Stepwise“								
Lachs	4,70	79,1	3,28	91,1	3,43	93,6	5,62	86,3
	3,18	90,4	3,14	92,1	3,08	95,0	4,17	92,8
Modelle: 1. Zeile: Schlachtgewicht, warm + Bauch _{MRT} , 2. Zeile: „Stepwise“								
Bauchfleisch	4,04	84,3	4,29	75,4	5,70	81,5	5,30	86,1
	2,51	95,3	3,16	88,5	5,61	82,0	4,70	89,4

Tab. 29: Berücksichtigte Prädiktoren bei der „Stepwise“-Schätzung der Teilstückgewichte aus Zerlegung auf Basis des Muskelvolumens korrespondierender MRT-Teilstücke und dem Schlachtkörpergewicht, getrennt nach Herkunft

Herkunft	Piétrain								DE/DL								Pi×Westhybrid								db.65×db.Sau							
	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch
Bug schier + Kamm	1	1	Kein möglicher Prädiktor						1	1							1	3							1	1						
Bug schier	1	2	Kein möglicher Prädiktor						1	1	...						1	3	...						1	3	...					
Bugfleisch	-	1	Kein möglicher Prädiktor						1	3							1	3							1	3						
Bauchfleisch + Kotelett schier + Filetkopf	1		1	1					1		1	3					1		3	1					1		3	1				
Kotelett schier	-	...	1	1	...				1		3	1	...				1		3	1	...				-	...	1	1	...			
Kotelettfleisch	-		1	1					1		3	1					1		3	1					1		3	1				
Bauchfleisch	1		-	2					1		1	3					-		1	1					1		2					
Filet+Schinken schier	1				-	-			1				3	1			-				3	3			1				3	3		
Schinken schier	1				-	-			1				3	1			-				3	3			-				3	3		
Schinkenfleisch	1		...		-	-	...		1		...		3	1	...		-		...		1	1	...		-		...		3	3	..	
Filet	1				-	2			1				3	-			-				3	3			1				3	-		
Lachs	1		...				1	...	1		...				1	...	1		...				1		1		...				1	..
Bauchfleisch	-		...				3	-	-		...				1	1	-		...				1	1	-		...				3	

Berücksichtigte Prädiktoren: -: nicht signifikanter Modellfaktor 1: MRT-Muskelfleisch/Schlachtgewicht (S.gew.) 2: MRT-Fett 3: MRT-Muskelfleisch und MRT-Fett
 □ Potentielle Modellfaktoren=Schlachtgewicht und korrespondierende Teilstücke

Tab. 30: Berücksichtigte Prädiktoren bei der „Stepwise“-Schätzung der Teilstückgewichte aus der Zerlegung auf Basis des Muskelvolumens von MRT-Teilstücken und dem Schlachtkörpergewicht, getrennt nach Herkunft

Herkunft	Piétrain								DE/DL								Pi×Westhybrid								db.65×db.Sau							
	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch	S.gew.	T1	T2	T3	T4	T5	Lachs	Bauch
Bug schier + Kamm	1	-	-	2	-	1			1	3	3	1	2	1			1	1	1	2	-	-			1	1	-	2	2	1		
Bug schier	1	1	-	3	1	2			1	1	-	3	-	-			1	1	1	2	-	-			1	1	-	2	-	-		
Bugfleisch	-	1	-	2	1	2			-	1	1	1	-	1			-	1	1	-	1	1			1	1	-	2	-	-		
Bauchfleisch + Kotelett schier + Filetkopf	1	2	1	1	-	-			1	2	1	1	3	1			1	2	1	1	1	-			1	2	1	1	-	-		
Kotelett schier	-	-	1	1	-	-			1	-	1	1	3	1			1	2	-	1	2	3			-	-	1	1	-	-		
Kotelettfleisch	-	-	1	1	-	-			1	-	1	1	3	-			1	2	-	1	2	-			1	2	1	1	-	2		
Bauchfleisch	1	1	-	2	-	-			-	-	2	1	1	1			-	-	1	1	-	-			1	2	-	1	-	-		
Filet + Schinken schier	1	3	-	-	-	-			1	1	-	-	3	1			1	2	1	-	3	3			1	2	1	1	3	3		
Schinken schier	1	3	-	-	-	-			1	1	-	-	3	1			-	2	-	-	1	3			1	2	1	1	3	3		
Schinkenfleisch	1	3	-	-	-	-			-	-	2	1	1	1			-	2	-	2	3	3			-	-	-	-	3	3		
Filet	1	-	-	-	-	2			-	-	1	-	1	1			-	-	2	-	1	3			1	1	3	1	1	-		
Lachs	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	2	-	-	-	-	1	-	-	-	3	3	-	-	1	-
Bauchfleisch	1	2	-	-	1	-	-	1	1	2	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	1	2	1	-	2	-	-	1

Berücksichtigte Prädiktoren: -: nicht signifikanter Modellfaktor 1: MRT-Muskelfleisch/Schlachtgewicht (S.gew.) 2: MRT-Fett 3: MRT-Muskelfleisch und MRT-Fett

 Potentielle Modellfaktoren=Schlachtgewicht und korrespondierende Teilstücke

4.3 Genauigkeiten in der Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung aus der Zerlegung mit Hilfe der Schlachtkörpermerkmale der stationären Leistungsprüfung

Alle im Rahmen dieses Versuchs geschlachteten Schweine wurden mit dem AutoFOM-Gerät klassifiziert, nach LP-Standard vermessen (ALZ, 1997) und anschließend vollständig in Teilstücke zerlegt. Basierend auf diesem Datenmaterial wurden die Schätzgenauigkeiten und Schätzfehler der zum Zeitpunkt der Zerlegung gültigen Regressionsformeln errechnet. Im Anschluss erfolgte die Neukonstruktion der Formeln mittels Stepwise- und PLS-Methodik.

Es werden die Ergebnisse der Auswertungen dargestellt, bei denen sowohl tomographierte und zerlegte als auch nur tomographierte Schlachtkörper berücksichtigt wurden. Die vorhergehenden Auswertungen haben gezeigt, dass mit der MR-Tomographie Genauigkeiten in der Bestimmung der wahren Fleischanteile und Teilstückgewichte erreicht werden können, die mit der Vollzerlegung vergleichbar sind. Im Gegensatz zu den dargestellten Auswertungsergebnissen im Abschnitt 4.2 beinhalten die Tabellen im Abschnitt 4.3 zusätzlich zu den herkunftsspezifischen Ergebnissen auch die Ergebnisse der zusammengefassten Herkunftsgruppen Kreuzungstiere (=Pi×Westhybrid + db.65×db.Sau) sowie Kreuzungstiere + DE/DL. Es zeigte sich, dass mit Ausnahme der Rasse Piétrain die statistischen Parameter einschließlich der Regressionskoeffizienten der Neuberechneten Schätzformeln aller Herkunft relativ stark übereinstimmten. Diese Ähnlichkeiten waren Motivation für die genannten herkunftsübergreifenden Auswertungen.

4.3.1 Genauigkeiten in der Schätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte und des Fleischanteils im Teilstück Bauch

Tabelle 31 informiert über die errechneten Genauigkeiten der Abschätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers mit Hilfe der ursprünglichen („alte Bonner Formel“) und einer mit Hilfe von LPA-Schlachtkörpermerkmalen regressiv neu angepassten („angepasste Bonner Formel“) Schätzformel.

Zufriedenstellende Schätzgenauigkeiten der zum Zeitpunkt der Zerlegung gültigen Formel zur Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte („alte“ Bonner Formel) werden mit einem Variationskoeffizienten (CV) von 2,3% und einem Bestimmtheitsmaß (B) von 72% nur bei den Mutterrassetieren erreicht (Tab. 31). Die CV und B für alle anderen Herkünfte liegen z.T. nahezu bei 4% bzw. deutlich unter 60%.

Tab. 31: Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ und der „angepassten“ Bonner Formel (n=292)

		Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz- tiere n=147	Kreuz- tiere + DE/DL n=212
„alte“ Bonner Formel							
Regress- sion	Bias ^{*)} , %	0,15	-3,50	-1,90	-2,72	-2,30	-2,54
	B, %	43,4	72,2	41,0	33,1	36,7	55,1
	CV, %	2,3	2,5	3,8	3,6	3,7	3,8
„angepasste“ Bonner Formel							
Stepwise	B _{Stepwise} , %	64,4	77,9	70,3	74,9	69,8	80,7
	CV _{Stepwise} , %	1,7	3,0	3,5	3,1	3,4	3,6
PLS	B _{PLS} , %	56,1	76,5	60,7	56,2	60,7	78,6
	CV _{RMSEC} , %	1,9	3,1	3,9	4,0	3,9	3,8
	CV _{RMP} , %	2,2	3,4	4,2	4,4	4,2	4,1

^{*)} „wahrer“ Zerlegewert-Schätzwert

Die erfolgten Anpassungen der Bonner Formel bewirken deutliche Genauigkeitssteigerungen (Tab. 31). Die höchsten Bestimmtheitsmaße werden verfahrensbedingt bei den Stepwise-Berechnungen erreicht. Sie variieren zwischen 64,4-80,7% bei einem CV von 1,7-3,6%. Bei Einsatz des PLS-Verfahrens liegen die Bestimmtheitsmaße zwischen 56,1% (Piétrain) und 78,6% (Kreuzungstiere und DE/DL) mit Variationskoeffizienten von 1,9-4,0% (CV_{RMSEC}) bzw. 2,2-4,4% (CV_{RMP}). Die im Vergleich zur PLS-Methode niedrigeren CV des Stepwise-Verfahrens sind vor dem

Hintergrund der unterschiedlichen Definitionen der zugrunde liegenden Schätzfehler zu erklären (s. Kapitel 3.2).

Tab. 32: Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ und der „angepassten“ Gruber Formel (n=292)

		Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.tiere + DE/DL n=212
DLG-Schnitt: „alte“ Gruber Formel							
Regres- sion	Bias ^{*)} , %	-2,08	-3,14	-2,68	-3,01	-2,84	-2,94
	B, %	36,3	58,4	53,0	45,7	49,7	67,0
	CV, %	3,9	5,1	6,0	5,7	5,8	5,9
DLG-Schnitt: „angepasste“ Gruber Formel							
Step- wise	B _{Stepwise} , %	77,0	68,3	62,5	62,8	75,9	77,0
	CV _{Stepwise} , %	3,5	4,5	5,3	5,8	5,7	5,7
PLS	B _{PLS} , %	45,7	64,0	52,6	59,1	56,1	72,0
	CV _{RMSEC} , %	3,8	5,6	6,3	6,0	6,1	6,1
	CV _{RMP} , %	4,2	5,9	6,9	6,6	6,7	6,6
Praxis-Schnitt: „alte“ Gruber Formel							
Regres- sion	Bias, %	-2,01	-3,32	-2,85	-3,15	-3,00	-3,10
	B, %	58,3	52,5	45,5	49,4	66,8	58,3
	CV, %	3,8	5,1	6,0	5,7	5,8	5,9
Praxis-Schnitt: „angepasste“ Gruber Formel							
Step- wise	B _{Stepwise} , %	79,8	68,1	62,5	62,6	75,7	79,8
	CV _{Stepwise} , %	3,5	4,4	5,4	5,8	5,7	5,8
PLS	B _{PLS} , %	48,3	63,7	52,5	58,7	55,8	71,8
	CV _{RMSEC} , %	3,8	5,7	6,4	6,1	6,2	6,2
	CV _{RMP} , %	4,3	6,1	7,0	6,7	6,8	6,7

^{*)} „wahrer“ Zerlegewert-Schätzwert

Betrachtet man die Schätzgenauigkeiten der derzeit gültigen Formel zur Abschätzung des Fleischanteils im Bauch (Gruber Formel) (Tab. 32), so fällt auch hier auf, dass nur

bei der Rassegruppe Kreuzungstiere und DE/DL ein ausreichendes Bestimmtheitsmaß $\geq 60\%$ erreicht wird. Besonders die Bauch-Muskelfleischanteile der fleischreicheren, mageren Piétrainschweine werden nur unzureichend genau geschätzt. Das Bestimmtheitsmaß liegt hier lediglich bei $\sim 37\%$. Bei Betrachtung der CV zeigen sich mit Ausnahme der Rasse Piétrain Werte, die deutlich über 5% liegen.

Die Anpassung der Formel brachte für alle Herkünfte nach Stepwise- und PLS-Methodik erkennbare Steigerungen des Bestimmtheitsmaßes mit sich (Tab. 32). Diese Verbesserung ist besonders deutlich bei den Piétrain-Tieren. Hier konnte das Bestimmtheitsmaß für den Bauch-MFA nach Praxis-Schnitt von 37,5 auf 48,3% gesteigert werden. Ebenfalls erkennbar sind die Verbesserungen im Bestimmtheitsmaß bei den übrigen Herkünften. Allerdings liegen selbst die Variationskoeffizienten des Stepwiseverfahrens deutlich über 5%.

Nennenswerte Unterschiede in der Schätzgenauigkeit des Fleischanteils im Bauch in Abhängigkeit der Schnittführung (DLG- und Praxisschnitt) sind nicht erkennbar.

Die Gewichtung der Prädiktoren, die in den neukonstruierten Stepwise- und PLS-Regressionsgleichungen aufgenommen wurden, ist den Tabellen 33 und 34 zu entnehmen.

Bei den reinrassigen Tieren (Pi, DE/DL) wurden bei den Stepwise-Berechnungen jeweils nur drei Variablen in die Schätzgleichungen integriert. Dies sind bei der Rasse Piétrain Schlachtausbeute, Fleisch- und Fettfläche; bei den Mutterrassen die Fleisch- und Fettfläche sowie Speckdicke Lende. Die PLS-Schätzgleichungen nutzen bei diesen Herkünften deutlich mehr Prädiktoren. Zusätzlich zu den genannten Variablen finden bei den Pi- und DE/DL Tieren drei bzw. vier weitere Speckmaße Eingang in die neuen Formeln. Bei den entwickelten Gleichungen für die Endprodukte sind die Art und die Anzahl berücksichtigter Prädiktoren in den Stepwise und PLS-Formeln weniger unterschiedlich. Auffällig ist jedoch, dass bei diesen Herkünften die Fleischfläche in der PLS-Gleichung keine Rolle spielt. Nur bei der Rasse Piétrain wird sowohl in der Stepwise- als auch in der PLS-Regressionsformel die Schlachtausbeute als Prädiktor integriert.

Tab. 33: Stepwise-Regressionsformeln zur Abschätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers, getrennt nach Herkunft

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.tiere + DE/DL n=212
y-Achsenabschnitt	43,35	53,99	62,02	75,97	61,89	45,72
Schlachtgewicht (warm), kg				+0,136	+0,047	
Schlachtausbeute, %	+0,241					+0,228
Schlachtkörper- Länge, cm				-0,167		
Fleischfläche, cm ²	+0,132	+0,246	-0,191	+0,084	+0,143	+0,149
Fettfläche, cm ²	-0,474	-0,419	-0,671	-0,188	-0,471	-0,221
Seitenspeckdicke, mm			-0,547		-0,542	
Speckdicke Widerrist, mm			-0,979	-0,980	-1,116	-0,765
Speckdicke, Mitte, mm				-3,632	-1,332	-1,261
Speckdicke, Lende, mm		-1,649	-3,159	-3,167	-3,449	-3,278
Speckmaß B, mm			+6,208		+4,637	

Die relative Bedeutung der Prädiktoren in den PLS-Regressionsgleichungen wird durch den in Tab. 34 dargestellten VIP's deutlich. Je höher der VIP-Wert eines Prädiktors ist, umso mehr trägt dieser zum Modell bei. Bei einem VIP-Wert unter 0,80 blieb der Prädiktor in der Regressionsgleichung unberücksichtigt. Bei allen untersuchten Herkünften handelt es sich bei dem Prädiktor mit dem höchsten VIP um ein Fettmerkmal. Bei der Rasse Piétrain hat die Fettfläche den höchsten Informationsgehalt, bei den DE/DL-Tieren das Speckmaß B und bei allen anderen Gruppen die Speckdicke Lende. Die Vorzeichen der Regressionskoeffizienten stimmen mit der zu erwartenden

Wirkung auf den Muskelfleischanteil überein. Eine Ausnahme stellt das Speckmaß B dar, das bei den Herkunftsgruppen Pi×Westhybrid und Kreuzungstiere+DE/DL ein nicht zu erwartendes positives Vorzeichen besitzt.

Tab. 34: PLS-Regressionsformeln (einschließlich der VIP's der Prädiktoren) zur Abschätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers, getrennt nach Herkunft

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.tiere + DE/DL n=212
y-Achsenabschnitt	51,92	55,12	72,46	71,98	72,17	63,06
Schlachtausbeute, %	+0,201 ^{a)} (1,08) ^{b)}					
Fleischfläche, cm ²	+0,059 (1,20)	+0,217 (1,01)				+0,166 (0,93)
Fettfläche, cm ²	-0,189 (1,63)	-0,145 (1,37)	-0,112 (1,31)	-0,111 (1,16)	-0,113 (1,22)	-0,095 (1,23)
Seitenspeckdicke, mm		-0,405 (1,13)	-0,514 (1,25)	-0,539 (1,22)	-0,529 (1,19)	-0,37 (1,16)
Speckdicke, Widerrist, mm		-0,113 (0,88)	-1,061 (1,18)	-0,949 (1,06)	-1,009 (1,09)	-1,046 (1,02)
Speckdicke, Mitte, mm	-1,158 (0,91)	-0,528 (1,09)	-1,640 (1,16)	-1,616 (1,41)	-1,610 (1,21)	-1,338 (1,14)
Speckdicke, Lende, mm	-1,838 (1,45)	-1,468 (1,26)	-1,572 (1,43)	-1,492 (1,68)	-1,512 (1,52)	-2,441 (1,29)
Speckmaß B, mm	-1,460 (1,28)	-1,880 (1,47)	-1,233 (1,23)	-1,438 (1,20)	-1,310 (1,21)	-1,234 (1,29)

^{a)} 1. Zeile Regressionskoeffizienten, ^{b)} 2. Zeile: VIP

4.3.2 Genauigkeiten der Schätzungen der Teilstückgewichte

In der stationären Leistungsprüfung beim Schwein gibt es, im Gegensatz zur Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte und des Bauches, bisher keine Regressionsgleichungen zur Abschätzung von Teilstückgewichten oder -anteilen, die routinemäßig herangezogen werden. Eine Überprüfung von alten und neu entwickelten Formeln ist demzufolge nicht möglich.

In Tab. 35 und 36 sind Schätzgenauigkeiten der neu entwickelten Formeln auf Basis von LP-Maßen für ausgewählte Teilstückgewichte nach DLG- und Praxisschnitt aufgelistet. Bei den Piétrain- und Mutterlinientieren liegen bei nahezu allen Teilstücken die Bestimmtheitsmaße über 60%. Auch die mit Hilfe der Stepwise-Methode berechneten CV übersteigen bei diesen Linien nur selten die 5%-Grenze. Ausnahmen sind die Teilstücke Kamm und Filet nach DLG-Schnitt der Mutterlinientiere. Dies bedeutet, dass die Teilstückgewichte in der Regel mit hoher bis sehr hoher Genauigkeit geschätzt werden können.

Bei Betrachtung der Schätzgenauigkeiten bei den Kreuzungstieren ergibt sich bei den Bestimmtheitsmaßen ein ähnliches, hinsichtlich der Schätzgenauigkeit zufriedenstellendes Bild. Allerdings gibt es eine Reihe von Teilstückgewichten, die einen CV von deutlich mehr als 6% aufweisen. Hiervon sind wiederum die Teilstücke Kamm und Filet aber auch das Lachs- und das Bauchteilstück betroffen.

Beim Vergleich der verschiedenen definierten CV (Stepwise: CV_{Stepwise} , PLS: CV_{RMSEC} , CV_{RMP}) zeigen sich die erwarteten Unterschiede. Der jeweils niedrigste CV_{Stepwise} wird von dem höchsten CV_{RMP} um bis zu 1,7% (Filet, Pi×Westhybrid) übertroffen. Die Differenz scheint dabei umso ausgeprägter zu sein, je weniger genau das Teilstück geschätzt werden kann. Die Unterschiede zwischen CV_{Stepwise} und CV_{RMP} bei den vergleichsweise schlecht geschätzten Teilstücken Kamm und Filet belaufen sich i. d. R. auf mehr als 1,5%. Bei den besser zu schätzenden Teilstücken ist diese Differenz mit Werten von <1% deutlich niedriger.

Die Unterschiede zwischen CV_{RMSEC} und CV_{RMP} sind vergleichsweise weniger stark ausgeprägt. Der CV_{RMP} überschreitet den CV_{RMSEC} je nach Teilstück um 0,2 bis 0,6%.

Tab. 35: Genauigkeit (in %) der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte nach DLG-Schnitt auf Basis der LP-Maße

Herkunft		Piétrain n=73		DE/DL n=72		Pi×West- hybrid n=74		db.65× db.Sau n=73		Kreuz- tiere n=147		Kreuz- tiere + DE/DL n=212	
Teil- stück	Meth.	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %
Kamm	Stepw.	3,1	81,8	4,1	73,5	5,7	84,1	5,8	84,5	5,9	83,5	5,5	82,1
	PLS ^{*)}	3,1 3,5	81,3	5,3 5,9	55,5	6,9 7,4	76,6	7,3 8,0	76,0	7,0 7,7	75,9	6,4 7,0	75,9
Bug, schier	Stepw.	2,5	87,2	3,0	84,0	4,2	89,6	4,0	91,5	4,2	89,6	4,1	89,0
	PLS	2,9 3,3	82,1	3,5 4,0	78,2	5,6 6,0	80,1	5,0 5,8	86,8	5,3 5,8	83,4	5,7 6,3	79,0
Kotelett	Stepw.	2,5	91,1	3,0	83,8	4,4	89,8	5,1	87,6	4,7	88,1	4,6	86,7
	PLS	3,0 3,2	87,3	4,0 4,4	67,4	5,0 5,6	86,2	6,1 7,0	81,9	5,3 5,8	84,7	5,5 6,0	80,9
Lachs	Stepw.	2,6	88,6	4,8	75,3	5,0	87,5	6,2	84,1	5,8	84,2	6,3	82,1
	PLS	3,2 3,4	83,7	5,6 6,4	65,4	5,8 6,4	82,2	7,9 8,9	72,9	6,7 7,3	78,1	7,3 7,9	75,8
Filet	Stepw.	3,3	87,0	4,3	74,0	7,0	78,5	6,5	84,2	7,0	79,2	6,6	78,9
	PLS	3,3 3,7	87,2	5,6 6,2	53,8	8,9 9,7	64,7	8,0 8,8	75,3	8,5 9,2	69,2	8,0 8,7	69,0
Bauch	Stepw.	3,0	90,1	3,7	86,2	6,3	83,5	5,7	86,0	6,2	83,4	5,7	83,4
	PLS	3,6 4,0	85,6	3,8 4,3	84,9	6,9 7,6	80,2	6,2 7,0	83,4	6,8 7,5	80,2	5,7 6,4	83,3
Schinken, schier	Stepw.	2,4	89,8	2,6	86,6	4,6	85,9	3,9	92,9	4,3	89,3	4,2	89,6
	PLS	3,3 3,6	81,3	4,2 4,5	65,2	6,2 6,7	73,7	4,3 4,9	91,5	5,9 6,5	80,0	5,9 6,4	78,9

*) 1. Zeile: CV_{RMSEC}, 2. Zeile CV_{RMP}

Tab. 36: Genauigkeit der Schätzung ausgewählter Teilstückgewichte nach Praxis-Schnitt auf Basis der LP-Maße

Herkunft		Piétrain n=73		DE/DL n=72		Pi×West- hybrid n=74		db.65× db.Sau n=73		Kreuz- tiere n=147		Kreuz- tiere+ DE/DL n=212	
Teilstück	Meth.	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %	CV, %	B, %
Nacken	Stepw.	3,0	83,7	3,8	76,4	5,7	85,2	5,5	86,3	5,5	85,1	5,2	84,1
	PLS ^{*)}	3,3	80,4	5,1	57,5	6,6	78,6	7,0	77,8	6,7	78,1	6,2	77,8
		3,7		5,6		7,1		7,7		7,3		6,7	
Teller, schier	Stepw.	2,6	87,2	3,4	80,6	4,6	87,8	4,7	88,9	4,8	87,3	4,7	87,3
	PLS ^{*)}	3,0		3,7		6,2		5,7		6,0		6,6	
		3,5	82,2	4,1	77,7	6,8	77,3	6,6	83,8	6,6	80,0	7,3	74,0
Kotelett	Stepw.	2,5	90,9	3,1	82,6	4,5	89,0	5,3	86,2	4,9	87,1	4,8	85,6
	PLS ^{*)}	3,1		4,1		5,1		6,6		5,6		5,6	
		3,4	86,1	4,5	66,4	5,7	85,5	7,4	78,3	6,1	82,7	6,1	80,2
Lachs	Stepw.	2,7	88,3	5,0	74,7	5,1	86,7	6,3	83,3	5,9	83,4	7,1	69,0
	PLS ^{*)}	3,2		5,8		6,0		7,9		6,8		7,4	
		3,5	83,4	6,6	64,1	6,5	81,7	8,9	72,3	7,4	77,5	8,0	75,3
Bauch	Stepw.	3,3	87,9	3,9	84,7	6,6	82,3	5,9	84,6	6,4	82,3	5,9	82,5
	PLS ^{*)}	3,6		3,9		7,0		6,4		6,9		6,1	
		4,1	85,6	4,5	84,2	7,7	79,8	7,2	82,3	7,6	79,6	6,7	81,2

*) 1. Zeile: CV_{RMSEC}, 2. Zeile CV_{RMP}

4.4 Genauigkeiten in der Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung aus der Zerlegung mit Hilfe der Ergebnisse der apparativen AutoFOM-Klassifizierung

Im folgenden Abschnitt werden die Schätzgenauigkeiten der derzeit gültigen AutoFOM-Formeln für den Muskelfleischanteil und den Teilstückgewichten mit denen der im Rahmen dieser Arbeit neu entwickelten Formeln verglichen.

Es werden die Ergebnisse der Auswertungen dargestellt, bei denen sowohl tomographierte und zerlegte als auch nur tomographierte Schlachtkörper

berücksichtigten. Die in Kapitel 4.2 dargestellte hohe Schätzgenauigkeit der MRT-Messungen rechtfertigt diese Vorgehensweise.

Die Neukonstruktion der Formeln erfolgte mit Hilfe des in Kapitel 3.2 im Detail beschriebenen PLS-Verfahrens. Bei der hohen Anzahl potentieller Prädiktoren (127 AutoFOM Basisvariablen) ist zu erwarten, dass das PLS-Verfahren die stabilsten Schätzgleichungen liefert. Aus diesem Grund wurde auf eine Darstellung der Ergebnisse einer Regressionsanalyse mittels des Stepwiseverfahrens verzichtet.

Bei der schrittweisen PLS-Analyse wurden alle geschätzten Hauptkomponenten berücksichtigt, die bei der Schätzung der Muskelfleischanteile oder Teilstückgewichte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 20 % signifikant waren.

Um den Einfluss einer heuristischen Begrenzung der Anzahl potentieller Prädiktoren zu quantifizieren, wurden 2 alternative PLS-Varianten herangezogen. Dabei wurden zunächst wiederholt PLS-Analysen mit schrittweiser (1 bis 127) Erhöhung der Anzahl maximal möglicher Prädiktoren durchgeführt. Insgesamt lagen somit für jedes Merkmal die Ergebnisse von 127 (maximale Anzahl AutoFOM Basisvariablen) PLS-Analysen vor. Je nach Begrenzung der Anzahl maximal berücksichtigter Prädiktoren unterschieden sich die Analysen sowohl in der resultierenden Anzahl berücksichtigter Hauptkomponenten als auch im RMP. Die PLS-Analyse, die bei gegebener Begrenzung den geringsten RMP aufwies, ist in den nachfolgenden Tabellen als Variante 1 bezeichnet. Bei der Variante 2 wurden maximal 80 Basisvariablen zugelassen, die in die Schätzgleichungen implementiert werden durften.

4.4.1 Genauigkeiten in der Schätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte und des Fleischanteils im Teilstück Bauch

Tab. 37 informiert über die Schätzgenauigkeiten des MFA des Schlachtkörpers bei Anwendung der derzeit gültigen apparativen Klassifizierungsformeln.

Dabei liegen die Bestimmtheitsmaße der Schätzungen insbesondere bei den Piétrain-Tieren auf sehr niedrigem Niveau. Auch die Bestimmtheitsmaße für die marktüblichen Endprodukte übersteigen bei Klassifizierung mit dem AutoFOM-Gerät die 60%-Grenze nicht. Die höchste Schätzgenauigkeit wird bei allen Herkünften mit dem US-Hellige erreicht.

Tab. 37: Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ apparativen Klassifizierungsformeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz- tiere n=147	Kreuz- tiere + DE/DL n=212
Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers, AutoFOM						
Bias ^{*)} , %	1,96	0,96	1,08	0,96	1,02	1,00
B, %	38,7	61,3	56,9	56,7	56,8	73,4
CV, %	2,21	3,92	3,95	3,87	3,89	4,12
Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers, FOM						
Bias, %	2,47	0,08	0,94	0,16	0,55	0,46
B, %	52,7	60,2	77,8	68,6	72,0	81,1
CV, %	2,34	3,94	2,84	3,29	3,13	3,33
Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers, US-Hellige						
Bias, %	2,04	0,66	0,46	0,06	0,26	0,34
B, %	55,1	63,7	84,6	83,6	83,8	87,2
CV, %	2,28	3,76	2,36	2,38	2,39	2,74
Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers, Zweipunkteverfahren						
Bias, %	3,32	1,06	3,17	2,88	3,02	2,64
B, %	30,5	54,5	56,5	57,9	56,3	68,3
CV, %	2,83	4,21	3,97	3,82	3,91	4,31

^{*)} „wahrer“ Zerlegewert-Schätzwert

Tab. 38 beinhaltet die Genauigkeitsangaben der neu konstruierten AutoFOM-Formeln. Obwohl deutliche Unterschiede in der Anzahl berücksichtigter Prädiktoren beim Vergleich der Varianten 1 (fixe Begrenzung auf 80 Prädiktoren) und 2 („optimale“ Begrenzung der Anzahl Prädiktoren) festzustellen sind, sind die Unterschiede in den resultierenden CV beider Varianten relativ gering. Die Unterschiede belaufen sich im CV auf 0,2 bis 0,5%. Allerdings wird die Schätzgenauigkeit bei Variante 2 im Vergleich zu Variante 1 bei einer deutlich niedrigeren Anzahl Prädiktoren erreicht. So werden bei der Herkunft Pi×Westhybrid. in Variante 1 nur 5 Prädiktoren benötigt, um einen RMP und B von 4,2% bzw. 62,0% zu erreichen. Bei einer Begrenzung auf 80

Prädiktoren liegen die entsprechenden Werte bei 4,7% bzw. 54,5%. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Definition der maximalen Anzahl Prädiktoren einen beachtlichen Einfluss auf das PLS-Schätzergebnis haben kann.

Tab. 38: Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Formeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.- tiere + DE/DL n=212
B, %	53,5*	67,6	62,0	71,9	67,0	80,9
	52,7**	66,4	54,5	70,0	63,6	78,0
CV _{RMSEC} , %	2,0	3,6	3,7	3,2	3,4	3,5
	2,0	3,7	4,1	3,3	3,6	3,8
CV _{RMP} , %	2,1	3,9	4,2	3,6	3,9	4,1
	2,1	4,3	4,7	3,8	4,1	4,2
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,6	1,4	1,7	1,0	1,1	1,0
	0,8	0,9	0,8	0,9	1	0,9
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	1 / 27	1 / 15	1 / 5	2 / 53	2 / 47	4 / 69
	1 / 60	2 / 80	1 / 69	2 / 80	2 / 80	3 / 80

* 1. Zeile: Variante 1, „optimale Begrenzung“ (≤ 127 Basisvariablen; niedrigster RMP)

** 2. Zeile: Variante 2, ≤ 80 AutoFOM-Basisvariablen

Im Vergleich zu den derzeit gültigen AutoFOM-Formeln steigt die Schätzgenauigkeit durch die vorgenommene Neukonstruktion deutlich an. Vergleicht man den CV_{RMP} mit den erreichten CV der derzeit gültigen Formel, so kann mit Ausnahme der Herkunft Pi×Westhybrid eine deutliche Verbesserung bei allen Herkünften zwischen 0,7 (Pi) und 1,4% (DE/DL) festgestellt werden. Ähnlich relevante Unterschiede sind auch beim Vergleich der Bestimmtheitsmaße festzustellen.

Die Tabellen 39 bis 41 beinhalten die Schätzgenauigkeiten des Fleischanteils im Teilstück Bauch.

Tab. 39: Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers auf Basis der „alten“ AutoFOM-Formeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.-tiere + DE/DL n=212
Muskelfleischanteil im Bauch, DLG-Schnitt						
Bias, %	2,26	4,39	3,64	3,61	3,62	3,88
B, %	15,3	43,0	55,1	37,8	46,2	62,6
CV, %	4,8	9,0	6,5	7,8	7,1	7,5
Muskelfleischanteil im Bauch, Praxis-Schnitt						
Bias, %	2,33	4,22	3,46	3,47	3,46	3,71
B, %	14,9	42,5	54,9	37,7	46,0	62,5
CV, %	4,8	9,0	6,5	7,8	7,1	7,5

^{*)} „wahrer“ Zerlegewert-Schätzwert

Tab. 40: Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers nach DLG-Schnitt auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Formeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.-tiere + DE/DL n=212
B, %	49,0 [*]	58,5	60,1	62,0	61,2	69,9
	48,5 ^{**}	58,0	53,5	62,0	56,7	68,0
CV _{RMSEC} , %	3,7	6,1	5,8	5,6	5,7	6,2
	3,7	6,2	6,3	5,6	6,0	6,4
CV _{RMP} , %	3,9	6,7	6,6	6,5	6,5	7,0
	4,0	7,2	7,1	6,6	6,8	7,1
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,7	2,1	1,5	1,1	1,1	0,9
	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	1 / 5	1 / 3	1 / 11	2 / 42	2 / 44	2 / 71
	1 / 56	2 / 80	1 / 67	2 / 80	2 / 80	2 / 80

* 1. Zeile: Variante 1, „optimale Begrenzung“ (≤ 127 Basisvariablen; niedrigster RMP)

** 2. Zeile: Variante 2, ≤ 80 AutoFOM-Basisvariablen

Die derzeitig gültigen Schätzformeln AutoFOM-Schätzformeln zeigen mit einem CV von bis zu 9% eine unbefriedigende Genauigkeit. Zudem kommt es zu einer erheblichen Unterschätzung des Muskelfleischanteils im Teilstück Bauch bei allen Herkünften von bis zu 4,4%. Die erfolgte Neukonstruktion der Schätzgleichungen führte zu beachtlichen Verbesserungen im CV und B. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei den Pi-Schweinen. Allerdings ist die Aussagefähigkeit des AutoFOM-Gerätes zur Beurteilung der Qualität des Teilstückes Bauch, sowohl bei Betrachtung des Praxis- als auch DLG Schnittes mit CV >5% im Vergleich zum Fleischanteil im gesamten Schlachtkörper deutlich niedriger. Auch hier sind mit Ausnahme der Herkunft Pi×Westhybrid nur unwesentliche Unterschiede in der Schätzgenauigkeit zwischen den PLS-Varianten 1 und 2 festzustellen.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Schnittführungen (DLG- und Praxisschnitt) sind nur geringe Unterschiede feststellbar.

Tab. 41: Genauigkeit der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers nach Praxis-Schnitt auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Formeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.- tiere + DE/DL n=212
B, %	50,1 [*] 49,6 ^{**}	58,1	61,0	61,9	61,0	69,8
CV _{RMSEC} , %	3,8 3,8	6,3	5,8	5,7	5,7	6,3
CV _{RMP} , %	4,0 4,1	6,8	6,5	6,5	6,5	7,1
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,7 0,8	2,1	1,5	1,1	1,1	1
Anzahl Haupt- komponenten/ Prädiktoren	1 / 6 1 / 55	1 / 3 2 / 80	1 / 12 1 / 67	2 / 42 2 / 80	2 / 45 2 / 80	4 / 69 3 / 80

* 1. Zeile: Variante 1, „optimale Begrenzung“ (≤ 127 Basisvariablen; niedrigster RMP)

** 2. Zeile: Variante 2, ≤ 80 AutoFOM-Basisvariablen

4.4.2 Genauigkeiten der Schätzungen der AutoFOM-Teilstückgewichte

Die in den Tabellen 42 bis 46 dargestellten Schätzgenauigkeiten der Teilstücke beschränken sich auf die im Abrechnungssystem der meisten Schlachthöfe integrierten Teilstückgewichte Lachs, Schulter (Bug, Teller), Schinken und Bauch.

Tab. 42: Genauigkeit der Schätzung von Teilstückgewichten auf Basis der „alten“ AutoFOM-Teilstückformeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.-tiere + DE/DL n=212
Bug, schier, DLG-Schnitt						
Bias, kg ^{*)}	0,81	1,04	1,12	1,05	1,08	1,07
B, %	69,4	60,8	81,5	81,0	80,9	69,4
CV, %	3,8	5,6	5,2	5,2	5,2	5,2
Teller, Praxis-Schnitt						
Bias, kg	0,27	0,24	0,41	0,39	0,40	0,37
B, %	70,2	53	80,5	77,9	78,9	70,2
CV, %	3,8	6,2	5,3	5,6	5,5	5,6
Bauch, DLG-Schnitt						
Bias, kg	-2,80	-2,91	-2,95	-2,79	-2,87	-2,88
B, %	66,4	61,9	78,3	76,8	76,3	66,4
CV, %	4,5	5,1	6,2	7,0	6,7	6,6
Lachs, DLG-Schnitt						
Bias, kg	0,47	0,15	0,32	0,32	0,32	0,26
B, %	64,4	33,1	79,3	71,7	75,1	64,4
CV, %	5,5	7,5	5,7	7,3	6,5	7,0
Schinken, DLG-Schnitt						
Bias, kg	-0,03	0,11	-0,06	-0,25	-0,16	-0,10
B, %	66,9	56,3	73,9	80,5	76,6	66,9
CV, %	4,4	7,0	6,1	5,2	5,7	6,4

^{*)} „wahrer“ Zerlegewert-Schätzwert

Diese Teilstücke lassen sich mit den derzeit gültigen AutoFOM-Schätzformeln mit CV-Werten zwischen 4% und 7% schätzen. Die größten Schätzfehler sind erwartungsgemäß bei dem relativ kleinen Teilstück Lachs zu beobachten, während die Teilstücke Schinken und Schulter die günstigsten Werte aufweisen. Beim Vergleich der Herkünfte weisen die Schätzgenauigkeiten bei den Mutterlinienschweinen DE/DL die schlechtesten Werte auf.

Ähnlich wie beim Muskelfleischanteil im Bauch wird das Teilstück Bauch deutlich überschätzt. Dieses Ergebnis deutet auf eine unterschiedliche Schnittführung bei der Kalibration des AutoFOM-Gerätes bei diesem Teilstück hin. Im Gegensatz dazu wird das schwerste Teilstück Schinken und die Schulter nur geringfügig unterschätzt.

Die Tabellen 43 bis 45 enthalten die Genauigkeitsangaben der neu konstruierten Formeln zu Vorhersage der Teilstückgewichte.

Im Gegensatz zu den Schätzgenauigkeiten der Muskelfleischanteile der Schlachtkörperhälfte und im Teilstück Bauch sind die Unterschiede zwischen den PLS-Varianten 1 und 2 bei nahezu allen Teilstücken und Herkünften deutlich stärker ausgeprägt. Häufig sind Unterschiede zwischen den beiden Varianten von mehr als 1% festzustellen. Damit verbunden ist eine deutliche Verminderung der Anzahl berücksichtigter Prädiktoren. Nur in Ausnahmefällen werden bei den einzelnen Teilstücken mehr als 20 Prädiktoren benötigt. So werden zum Beispiel bei der Schätzung des Bug- (Pi×Westhybrid) oder Bauchgewichts (Piétrain) nur zwei Prädiktoren benötigt. Neben spezifischen AutoFOM-Basisvariablen wurde bei der Abschätzung der Teilstückgewichte, das Schlachtkörpergewicht als informativer Prädiktor in die Schätzgleichungen aller Teilstückgewichte integriert.

Vergleicht man die relativen Schätzfehler CV_{RMSEC} der neukonstruierten Formeln (Variante 2) mit den CV-Werten der derzeit gültigen Formel, so sind bei den meisten Merkmalen deutliche Verbesserungen feststellbar. Dies gilt auch bei Betrachtung des CV_{RMP} (Variante 2), der im Vergleich zu CV_{RMSEC} definitionsbedingt im Durchschnitt aller dargestellten Teilstücke und Herkünfte um 0,7% (0,1% bis 1,8%) höher liegt.

Bei Betrachtung des CV_{RMSEC} (Variante 1) werden bei den Reinzuchtlinien Pietrain und DE/DL bei allen Teilstücken zufriedenstellende Genauigkeiten erreicht, die unterhalb der von DOBROWOLSKI und BRANSCHIED (1997) geforderten 5%-Grenze liegen. Dies gilt - mit Ausnahme des Schinkengewichts bei den Pi×Westhybrid-Schweinen

($CV_{RMSEC}=6,5$) - auch für die übrigen Herkunftsgruppen bei den Teilstücken Bug und Schinken. Die Abschätzung der Teilstückgewichte Teller, Bauch, und Lachs ist hingegen bei den Kreuzungsherkünften mit CV_{RMSEC} zwischen 5,0% und 6,8% auch nach Neupassung der Formeln in der Regel weniger zufriedenstellend möglich.

Tab. 43: Genauigkeit der Schätzung des Lachs- und Schinkengewichts (DLG-Schnitt) auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Teilstückformeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.-tiere + DE/DL n=212
Lachsgewicht						
B, %	90,8*	41,9	87,0	83,3	79,7	75,8
	86,6**	22,6	83,8	66,4	78,2	75,6
CV_{RMSEC} , %	2,4	7,7	5,0	6,2	6,4	6,8
	2,9	8,8	5,6	8,7	6,6	7,0
CV_{RMP} , %	3,3	8,6	6,8	7,4	7,2	7,9
	4,4	9,7	10,0	9,9	9,0	8,5
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,2	1,9	1,3	1,3	1,3	1,1
	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	4 / 39	2 / 24	4 / 26	3 / 9	4 / 11	4 / 48
	4 / 80	1 / 80	4 / 80	2 / 80	4 / 80	4 / 80
Schinkengewicht						
B, %	86,7*	81,8	70,3	92,9	86,8	84,1
	89,7**	47,4	79,5	89,8	82,8	83,6
CV_{RMSEC} , %	2,4	3,0	6,5	3,9	4,8	5,0
	2,7	5,1	5,5	4,6	5,4	5,1
CV_{RMP} , %	3,1	3,5	7,1	4,5	5,4	6,0
	4,1	6,3	9,6	6,4	7,2	6,3
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,4	1,7	3,4	1,4	1,3	1,1
	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	3 / 10	3 / 25	1 / 1	4 / 7	4 / 9	4 / 62
	4 / 80	2 / 80	4 / 80	4 / 80	4 / 80	4 / 80

* 1. Zeile: Variante 1, „optimale Begrenzung“ (≤ 127 Basisvariablen; niedrigster RMP)

** 2. Zeile: Variante 2, ≤ 80 AutoFOM-Basisvariablen

Tab. 44: Genauigkeit der Schätzung des Bug- und Tellergewichts, schier (DLG-Schnitt) auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Teilstückformeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.-tiere + DE/DL n=212
Buggewicht						
B, %	87,2*	74,1	85,7	87,8	86,5	85,0
	86,6**	82,5	84,2	81,1	81,8	81,1
CV _{RMSEC} , %	2,5	3,9	4,7	4,8	4,7	4,7
	2,5	3,3	5,0	5,9	5,5	5,3
CV _{RMP} , %	3,1	4,3	5,2	5,8	5,2	5,3
	4,1	5,3	8,8	7,7	7,2	6,5
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,3	1,7	1,7	1,3	1,4	1,3
	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	4 / 34	2 / 5	2 / 2	4 / 10	3 / 4	4 / 25
	4 / 80	4 / 80	4 / 80	3 / 80	4 / 80	4 / 80
Tellergewicht						
B, %	87,0*	73,5	83,9	82,3	83,9	82,5
	85,8**	79,9	84,6	64,9	79,2	81,1
CV _{RMSEC} , %	2,6	4,2	5,1	5,8	5,3	5,3
	2,7	3,7	5,1	8,2	6,0	5,6
CV _{RMP} , %	3,3	4,6	5,7	6,3	5,9	5,9
	4,2	5,8	8,8	9,3	8,4	6,8
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,3	2,1	1,6	1,7	1,5	1,4
	0,9	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	4 / 32	2 / 4	2 / 3	2 / 2	3 / 5	4 / 24
	4 / 80	4 / 80	4 / 80	2 / 80	4 / 80	4 / 80

* 1. Zeile: Variante 1, „optimale Begrenzung“ (≤ 127 Basisvariablen; niedrigster RMP)

** 2. Zeile: Variante 2, ≤ 80 AutoFOM-Basisvariablen

Tab. 45: Genauigkeit der Schätzung des Bauchgewichts (DLG-Schnitt) auf Basis der „neuen“ AutoFOM-Teilstückformeln

	Piétrain n=73	DE/DL n=72	Pi×West- hybrid n=74	db.65× db.Sau n=73	Kreuz.- tiere n=147	Kreuz.-tiere + DE/DL n=212
B, %	90,8*	78,5	83,2	82,2	83,3	81,8
	86,6**	50,6	83,6	64,4	80,5	81,7
CV _{RMSEC} , %	3,6	4,5	6,3	6,4	6,2	5,9
	3,9	6,7	6,4	8,9	6,7	5,9
CV _{RMP} , %	4,0	5,4	7,3	7,3	7,1	6,7
	6,2	7,4	9,8	9,7	8,1	7,2
min. VIP der berücksichtigten Prädiktoren	1,8	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2
	1,1	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0
Anzahl Haupt- komponenten / Prädiktoren	2 / 2	3 / 14	3 / 15	2 / 5	4 / 15	4 / 20
	4 / 80	1 / 80	3 / 80	1 / 80	3 / 80	4 / 80

* 1. Zeile: Variante 1, „optimale Begrenzung“ (≤ 127 Basisvariablen; niedrigster RMP)

** 2. Zeile: Variante 2, ≤ 80 AutoFOM-Basisvariablen

5 Diskussion

Bildgebende Verfahren wie die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) bieten ein großes Spektrum von Untersuchungsmöglichkeiten der Körperzusammensetzung und Morphologie von Nutztieren (BAULAIN et al., 2003a,b; BRANSCHIED und DOBROWOLSKI, 1999 a,b; WIEDERHOLD, 1996; GRIEP, 1991). Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit sich die Vollzerlegung von Schweineschlachtkörpern durch die MRT ersetzen lässt.

Parallel dazu wurde die Bonner Formel, die der Schätzung des Muskelfleischanteils in der Hälfte und die Gruber Formel, die der Schätzung des Bauch-Muskelfleischanteils dient, überarbeitet (THOLEN et al., 2003).

Das AutoFOM-Gerät wird an vielen Schlachthöfen Deutschlands bereits zur Klassifizierung von Schweineschlachtkörpern genutzt. Mit Hilfe dieser Apparatur wird eine Vielzahl von Ultraschallmaßen erhoben die, implementiert in Regressionsgleichungen, eine objektive Beurteilung des Schlachtkörperwerts ermöglichen (BRANSCHIED et al., 1999; BEUCK, 2000). Im Rahmen dieser Arbeit wurde geprüft, ob sich die Schätzgenauigkeiten der aktuell gültigen Formeln durch eine Anpassung derselben erhöhen lassen und inwieweit AutoFOM-Daten für die Zucht bzw. Leistungsprüfung nutzbar gemacht werden können, indem rassespezifische Formeln abgeleitet werden.

5.1.1 Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf Basis von MRT-Daten

Im Rahmen dieser Studie wurden die Schlachthälften von 292 Schweinen der Herkünfte Piétrain, DE/DL, Pi×Westhybrid und db.65×db.Sau tomographiert. Im Anschluss wurden hiervon 202 Tiere vollzerlegt. Die auf Basis dieser Daten ermittelten Korrelationen zwischen Muskelmasse aus der Zerlegung und Muskelvolumen aus der Tomographie weisen sowohl für das Gesamtmaterial als auch für die einzelnen Rassegruppen sehr enge Zusammenhänge auf. Die berechneten Bestimmtheitsmaße liegen in der Regel bei 95%. Lediglich das Bestimmtheitsmaß für die Rasse Piétrain fällt mit $B=84,5\%$ etwas niedriger aus. Auch die korrespondierenden Variationskoeffizienten (CV) liegen mit 1,98% (DE/DL) bis 3,60% (Pi) deutlich unter

der 5%-Schwelle, die von DOBROWOLSKI und BRANSCHIED (1997) als Grenze einer zufriedenstellenden Schätzgenauigkeit definiert wurde.

Trotz dieser sehr hohen Schätzgenauigkeiten bleibt die Frage, ob das MRT-Verfahren als Referenzverfahren zur Beurteilung der Schlachtkörperzusammensetzung akzeptiert werden kann. Grundsätzlich ist bei der Interpretation der beschriebenen Schätzgenauigkeiten zu beachten, dass nicht nur das MRT-Verfahren sondern auch die Vollzerlegung im Hinblick auf die Abschätzung des wahren Muskelfleischanteils fehlerbehaftet sein kann. Auf potentielle Fehlerquellen weist die Arbeit von ALLEN (2003) hin. Er unterstreicht die Notwendigkeit einer intensiven Schulung von Zerlegern, die im Rahmen von Untersuchungen zur Beurteilung der Schlachtkörperzusammensetzung eingesetzt werden. Darüber hinaus sind Unterschiede zwischen den Schlachtkörperhälften eine potentielle Fehlerquelle. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil im Rahmen von Zerlegeversuchen in der Regel nur eine Schlachtkörperhälfte zerlegt wird.

Welche Bedeutung diese Fehlerquellen in der Beurteilung des Fleischanteils in der Schlachtkörperhälfte bzw. der Teilstücke besitzen kann, zeigen die Untersuchungen von NISSEN et al. (2006). In diesen Untersuchungen wurde eine Wiederholbarkeit bei Zerlegung von $\omega=0,87$ und ein signifikanter Einfluss des Zerlegers von bis zu 1,96% im MFA der Schlachtkörperhälfte festgestellt. Diese erreichten Schätzgenauigkeiten sind auf einem vergleichbaren Niveau, wie die in der vorliegenden Untersuchung berechneten Beziehungen zwischen MRT- und Vollzerlegung. So wurden an einem Teildatensatz die Tomographiebilder von Schweinen wiederholt von verschiedenen Personen ausgewertet. Die erreichten Wiederholbarkeiten liegen mit $\omega=0,96$ deutlich über dem oben genannten Wert von $\omega=0,87$. Die Verzerrungen zwischen den Muskelfleischanteilen aus der Zerlegung und der dem MRT-Verfahren wiesen Werte zwischen -2,6% und -4,3% auf. Die genannten Verzerrungen könnten, neben möglichen Unterschieden in der realen (Vollzerlegung) und virtuellen (MRT) Zerlegung, durch den im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verwendeten Faktor zur Umrechnung des Muskel- bzw. Fettvolumens in die entsprechenden Massen zu erklären sein. Die Frage, ob diese Umrechnungsfaktoren je nach Gewebezusammensetzung unterschiedlich und damit verantwortlich für die systematischen Unterschiede sind, ist nicht zu beantworten. Im Vergleich zu den Mutterlinien DE/DL wurden im vorliegendem Versuch bei der Rasse Piétrain deutlich niedrigere Schätzgenauigkeiten erreicht. Die Mutterlinien

wiesen erwartungsgemäß den niedrigsten Muskelfleischanteil und die höchste Speckauflage auf. Bei der manuellen Zerlegung lassen sich die Speckschichten der DE/DL-Schweine deutlich besser vom Muskelfleisch separieren, als dies bei den Piétrain-Tieren der Fall ist. Bei diesen kommt das Fett nur in sehr dünnen und zugleich weichen Schichten vor. Aufgrund dieser Speckigenschaften ist eine manuelle Zerlegung in die jeweiligen Gewebefractionen bei den Pi-Schweinen problematisch. Das MRT-Verfahren ist von diesen Schwierigkeiten weniger betroffen, so dass die vergleichsweise niedrigen Beziehungen zwischen Zerlegung und Tomographie vor diesem Hintergrund zu erklären sind.

Einschränkend ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die begrenzte Bildauflösung eine potentielle Fehlerquelle des MRT-Verfahrens darstellt. Jeder Pixel verfügt in diesem Versuch über eine Kantenlänge von 1,8 mm. Durch die vergleichsweise großen Bildpunkte tritt insbesondere bei dünnen Speckauflagen das Problem auf, dass Speck und Muskel in den Bildern nicht optimal getrennt werden können. Durch höher aufgelöste MRT-Bilder könnte somit die Trennung von Muskel- und Fettgewebe noch exakter durchgeführt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung belegen, dass mit Hilfe der MRT die Muskelmasse und der Muskelfleischanteil von Schlachthälften sehr exakt vorhergesagt werden können. Dies lässt den Schluss zu, dass die MRT als Referenzverfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung geeignet ist und die personal- und kostenintensive Vollzerlegung ersetzen kann. Die Tomographie bietet außerdem den Vorteil, dass sie international leichter zu standardisieren ist als die Vollzerlegung von Schlachthälften. Bei der Zerlegung müssen mehrere Personen in einem möglichst kurzen Zeitraum den Schlachtkörper in seine Gewebefractionen trennen. Die Tomographie bietet den zusätzlichen Vorteil, dass alle Bilder gespeichert werden können und dann für eine schrittweise, zeitunabhängige Analyse zur Verfügung stehen.

5.1.2 Schätzung der Teilstückgewichte auf Basis von MRT-Daten

Für den Wert eines Schlachtkörpers sind die Ausprägung und die Zusammensetzung einzelner Teilstücke von erheblicher Bedeutung (VON LENGERKEN et al., 1998). Dabei zeigt sich, dass die Gewichtsanteile einzelner Muskeln bzw. Muskelgruppen innerhalb einer Art, im gleichen Reifestadium und bei fehlender Muskelhypertrophie

relativ konstant sind (BERG und BUTTERFIELD, 1968, 1976; KALLWEIT und AVERDUNK, 1984). Darüber hinaus besteht eine enge Beziehung zwischen dem Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte und dem MFA der einzelnen, wertbestimmenden Teilstücke (u.a. FEWSON et al., 1990). Somit war zu erwarten, dass die Schätzung von schieren und nicht abgespeckten Teilstückgewichten durch die Verwendung von MRT-Daten mit ausreichend hoher Genauigkeit möglich ist. Ein exakter Nachweis dieser Annahme war allerdings schwer realisierbar, da die unzerlegten Schlachtkörperhälften tomographisch untersucht wurden. Eine Schätzung der relativen Anteile erfordert eine Abgrenzung der Teilstücke mit Hilfe anatomischer Fixpunkte, die in nachvollziehbarer Weise auf den MRT-Bildern zu erkennen sind. Aufgrund der vertikalen Anordnung der MRT-Bilder ist es nur annäherungsweise möglich, die DLG-Schnittführung identisch abzubilden (SCHEPER und SCHOLZ, 1985; WALSTRA und MERKUS, 1995). Um eine Abgrenzung der Teilstücke vorzunehmen, wurden in der vorliegenden Untersuchung vor dem Tomographieren, auf allen Schlachtkörpern gezielt Punkte markiert (s. Material und Methode S. 33). Die so abgegrenzten „MRT-Teilstücke“ beinhalten jeweils mehrere korrespondierende Teilstücke aus der Zerlegung (s. Seite 36).

Unter Verwendung der Muskel- und Fettvolumina der MRT-Teilstücke wurden die korrespondierenden, z. T. aufsummierten Zerleteilstücke nach DLG- und Praxisschnittführung geschätzt. Die Ergebnisse zeigen in der Abschätzung des Muskel- und Fettgewichts bei allen definierten MRT-Teilstücken sehr hohe Schätzgenauigkeiten, die den Forderungen für valide Schätzungen ($B > 64\%$ und $CV < 5\%$) mit B über 90% und $CV < 4\%$ deutlich genügen.

Betrachtet man jedoch die Schätzung einzelner, nach DLG- und Praxisschnittführung zerlegter Teilstücke, die nicht in deckungsgleicher Weise durch die MRT definierten Teilstücke abgegrenzt wurden, so ergibt sich ein zu differenzierendes Bild. Valide Schätzungen mit Bestimmtheitsmaßen über 90% und $CV < 4\%$ (Tab. 27) sind für alle Herkunftsgruppen bei den Teilstücken Schulter und Schinken möglich. Problematisch hingegen war die Schätzung der schieren Teilstückgewichte Kotelett und Lachs sowie des Bauchgewichts und dessen Muskelfleischanteils. Das Kotelettgewicht kann zwar mit ausreichend hohen Bestimmtheitsmaßen vorhergesagt werden, aber die relativen Schätzfehler liegen bei allen Rassen deutlich über 5% . Deshalb wurde anhand der MRT-Bilder zusätzlich das abgrenzbare Volumen des *M. long. dorsi* ermittelt. Dieser

Muskel stellt den größten Anteil des Teilstücks Lachs. In allen Fällen konnten die Bestimmtheitsmaße durch diese Vorgehensweise deutlich gesteigert werden. Lediglich die relativen Schätzfehler für die Piétrain-Tiere und die db.65×db.Sau-Endprodukte liegen auch bei dieser Vorgehensweise immer noch über der 5%-Schwelle und damit auf einem unbefriedigenden Niveau. In einer ähnlichen Weise ließe sich auch die Schätzgenauigkeit des Muskelfleischanteils im Teilstück Bauch durch die Hinzunahme der Muskel- und Fettvolumina des korrespondierenden MRT-Teilstückes deutlich verbessern.

Während bei dem Teilstück Kotelett durch die relativ aufwändige manuelle Abgrenzung eine deutlich verbesserte Schätzgenauigkeit erreicht wurde, ließ sich das Filet mit relativen Schätzfehlern je nach Herkunft zwischen 5,6% bis 6,6% auch bei Verwendung aller MRT-Teilstückinformationen nur ungenau schätzen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Vorhersage der Teilstückgewichte auf Basis der MRT-Messungen nach den Kriterien DOBROWOLSKI und BRANSCHIED (1997) zufriedenstellend genau möglich ist. Die von den genannten Autoren definierten Grenzwerte beziehen sich jedoch auf die Anerkennung von Klassifizierungsgeräten. Zur Beurteilung der Genauigkeit einer Referenzmethode sind deutlich erhöhte Grenzwerte, wie z. B. relative Schätzfehler $CV < 3\%$ und Bestimmtheitsmaße $B > 90\%$ anzustreben. Solche Genauigkeiten werden nur beim Teilstück Schinken, schier und teilweise beim Bug, schier erreicht. Um auch bei den anderen Teilstücken solch hohe Genauigkeiten zu erzielen, ist zukünftig eine verbesserte Definition der virtuellen MRT-Teilstückzerlegung anzustreben.

5.2 Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf Basis von LP-Daten

Im Rahmen dieser Arbeit wurden neue Bonner Formeln mittels eines OLS- (Stepwise) und des PLS-Verfahrens abgeleitet. Die Neuberechnung der Formeln bewirkte bei Anwendung beider Verfahren einen deutlichen Anstieg der Bestimmtheitsmaße. Die alten Formeln erreichten bei allen Herkünften die von DOBROWOLSKI und BRANSCHIED (1997) geforderten relativen Schätzfehler von $< 5\%$. Aber lediglich bei den Tieren der Herkünfte DE/DL wird das geforderte Bestimmtheitsmaß von $\geq 64\%$ erreicht. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass in den letzten Jahren der züchterische Schwerpunkt in der deutschen Edelschwein- und Landrassezucht lediglich

auf eine Konstanthaltung des Muskelfleischanteils ausgerichtet war. Aus diesen z. T. unbefriedigenden Schätzgenauigkeiten lässt sich ein Bedarf nach verbesserten Schätzgleichungen ableiten.

Statistisch ist die Frage zu beantworten, ob die Stepwise- oder PLS-Formeln zu genaueren und robusteren Schätzgleichungen führen. Diese Frage wird in Abschnitt 5.3 näher diskutiert. Beim Vergleich der Schätzgenauigkeiten beider Prozeduren fällt auf, dass bei der Stepwise-Methode durchweg höhere Bestimmtheitsmaße erreicht werden. Da in die Formeln jedoch vermutlich eine, wie im Abschnitt 4.3 dargestellt, hohe Anzahl korrelierender Prädiktoren mit einbezogen werden, ist davon auszugehen, dass die PLS-Formeln eine höhere Stabilität für die Vorhersage zukünftiger Beobachtungen erreichen und damit in der praktischen Anwendung zu bevorzugen sind. Diese Hypothese wird auch dadurch unterstützt, dass im Vergleich zur Stepwise-Analyse bei der Rasse Piétrain und den Mutterlinien DE/DL eine deutlich höhere Anzahl Prädiktoren in der finalen PLS-Schätzgleichung Berücksichtigung finden; die Bedeutung einer einzelnen, möglicherweise fehlerhaften Messung wird demzufolge reduziert. Aus Gründen der praktischen Anwendbarkeit der Formeln im Routinebetrieb der Leistungsprüfanstalten wurden die Kreuzungsherkünfte und die Mutterlinien DE/DL in einer Schätzformel zusammengefasst. Diese Vorgehensweise scheint aufgrund der hohen Anzahl übereinstimmender Prädiktoren sowie der hohen Schätzgenauigkeiten der herkunftsübergreifenden Formel angemessen zu sein.

Im Vergleich zur „alten“ Bonner Formel besitzen die neu angepassten PLS-Schätzgleichungen um bis 24% höhere Bestimmtheitsmaße (Tab. 46). Ein Vergleich der resultierenden Schätzfehler der „alten“ und „neuen“ Schätzformeln ist aufgrund der verschiedenartigen Definition der OLS- und PLS-Schätzfehler nicht angebracht.

Ähnliche Schlussfolgerungen lassen sich auch bei Betrachtung der Genauigkeiten zur Abschätzung des Muskelfleischanteils im Bauch ziehen. Auch lässt sich die Genauigkeit der von THOLEN et al. (1998) entwickelten Gruber Formel durch eine Neuanpassung deutlich verbessern.

Die Beurteilung der Schlachtkörperzusammensetzung von-stationsgeprüften Schweinen ist aufgrund der manuellen Erfassung der linearen Schlachtkörpermasse zeitaufwändig und damit kostenintensiv. Die Ergebnisse der AutoFOM-Klassifizierung könnten bei entsprechender Genauigkeit eine kostengünstige Ergänzung oder Alternative darstellen. Die im Abschnitt 5.2 diskutierten Genauigkeiten des AutoFOM-Gerätes liegen auf

einen ähnlichen, z.T. besseren Niveau als die Beurteilung des Muskelfleischanteils mit Hilfe von LPA-Maßen. Obwohl dieses Ergebnis für die AutoFOM-Klassifizierung spricht, müssen Fragen nach der ausreichenden Reproduzierbarkeit der AutoFOM-Klassifizierung teilweise noch geklärt werden.

Tab. 46: Genauigkeiten in der Abschätzung des Muskelfleischanteils im gesamten Schlachtkörper und im Teilstück Bauch

	Herkunft	MFA, Schlachtkörper		MFA, Bauch	
		B, %	CV, %	B, %	CV, %
MRT	Piétrain	47,5	2,5	-	-
	DE/DL	90,5	1,8	-	-
	Pi×Westhybrid	86,6	2,1	-	-
	db.65×db.Sau	87,1	2,1	-	-
Bonner Formel/Gruber Formel	Piétrain	43,4	2,3	36,3	3,9
	DE/DL	72,2	2,5	58,4	5,1
	Pi×Westhybrid	41,0	3,8	53,0	6,0
	db.65×db.Sau	74,9	3,6	45,7	5,7
Bonner Formel, neu, PLS ²⁾	Piétrain	56,1	1,9	45,7	3,8
	DE/DL	76,5	3,1	64,0	5,6
	Pi×Westhybrid	60,7	3,9	52,6	6,3
	db.65×db.Sau	56,2	4,0	59,1	6,0
AutoFOM	Piétrain	38,7	2,2	15,3	4,8
	DE/DL	61,3	3,9	43,0	9,0
	Pi×Westhybrid	56,9	4,0	55,1	6,5
	db.65×db.Sau	56,7	3,9	37,8	7,8
AutoFOM, neu, PLS ^{1),2)}	Piétrain	53,5	2,0	49,0	3,7
	DE/DL	67,6	3,6	58,5	6,1
	Pi×Westhybrid	62,0	3,7	60,1	5,8
	db.65×db.Sau	71,9	3,3	62,0	5,6
Branscheid et al., 1997a,b	Kreuzungs-tiere	84,6	1,6	-	-
		-	-	-	-
Brondum et al., 1998	Kreuzungs-tiere	74,0	1,8	-	-
		-	-	-	-

¹⁾ „optimale Begrenzung“ der Anzahl Prädiktoren, ²⁾ CV_{RMSEC}

5.2.1 Schätzung der Teilstückgewichte auf Basis von LP-Daten

Auf Basis der im Rahmen der stationären LP erhobenen Daten werden bis jetzt keine Teilstückgewichte geschätzt. Teilweise wird bei den auf Station geprüften Tieren das Schinkengewicht einschließlich Fettauflage, Eisbein, Spitzbein, Schwanz und Zuwamme durch Wiegen ermittelt. Diese Gewichtsfeststellung ist bei der stationären Geschwister-/Nachkommenprüfung von Schweinen fakultativ (ALZ, 1997).

Die berechneten Schätzgenauigkeiten und -fehler zeigen jedoch, dass Schätzungen der wertbestimmenden Teilstücke wie z.B. des Schinkens bei Verwendung von linearen Schlachtkörpermaßen mit hoher Genauigkeit möglich sind (Tab. 47). Dies gilt sowohl für die Teilstückgewichte nach DLG- als auch nach Praxisschnitt. Die Anwendung solcher Regressionsgleichungen würde im Vergleich zur derzeitigen Standardmethode den Arbeitsaufwand und den Wertverlust durch das Wiegen und Abtrennen des Schinkens reduzieren. Ob eine spezifisch züchterische Bearbeitung von Teilstückgewichten und -anteilen sinnvoll ist, bleibt jedoch fraglich. Wie bereits im Literaturteil detailliert beschrieben wurde, sind die Gewichtsanteile einzelner Muskeln bzw. Muskelgruppen innerhalb einer Art relativ konstant (BERG und BUTTERFIELD, 1968, 1976; KALLWEIT und AVERDUNK, 1984). Darüber hinaus besteht eine enge Beziehung zwischen dem Muskelfleischanteil der Schlachtkörperhälfte und dem MFA der einzelnen, wertbestimmenden Teilstücke (u.a. FEWSON et al., 1990). Auch THOLEN et al. (2005) fanden in ihren Auswertungen sehr hohe ($<0,8$) genetische Korrelationen zwischen den, mit Hilfe des AutoFOM-Gerätes geschätzten, wertbestimmenden Teilstückgewichten. Die Frage nach der Notwendigkeit einer spezifischen züchterischen Berücksichtigung von Teilstückinformationen ist im Rahmen von entsprechenden Zuchtplanungsberechnungen zu klären.

Tab. 47: Genauigkeiten in der Abschätzung ausgewählter zerlegter Teilstücke

	Herkunft	Schinken, schier		Bug, schier	
		B, %	CV, %	B, %	CV, %
MRT	Piétrain	80,3	4,49	83,3	3,76
	DE/DL	90,1	2,68	89,2	3,07
	Pi×Westhybrid	94,6	2,79	91,6	3,60
	db.65×db.Sau	96,9	2,57	90,9	4,19
LP-Maße Formel, PLS ²⁾	Piétrain	81,3	3,3	82,1	2,9
	DE/DL	65,2	4,2	78,2	3,5
	Pi×Westhybrid	73,7	6,2	80,1	5,6
	db.65×db.Sau	91,5	4,3	86,8	5,0
AutoFOM	Piétrain	66,9	4,4	69,4	3,8
	DE/DL	56,3	7,0	60,8	5,6
	Pi×Westhybrid	73,9	6,1	81,5	5,2
	db.65×db.Sau	80,5	5,2	81,0	5,2
AutoFOM, neu, PLS ^{1),2)}	Piétrain	86,7	2,7	87,2	2,5
	DE/DL	81,8	3,0	74,1	3,9
	Pi×Westhybrid	70,3	6,5	85,7	4,7
	db.65×db.Sau	92,9	3,9	87,8	4,8
Branscheid und Dobrowolski, 2000	Kreuzungs- tiere	92,0	-	90,2	-

¹⁾: „optimale Begrenzung“ der Anzahl Prädiktoren, ²⁾ CV_{RMSEC}

5.2.2 Schätzung der Schlachtkörperzusammensetzung auf Basis von AutoFOM-Daten

Das AutoFOM-Gerät hat sich zumindest in nord-westdeutschen Schlachtunternehmen als Standardmethode zur Beurteilung der Schlachtkörper von Mastendprodukten etabliert.

Im Rahmen der Untersuchung werden die derzeit angewandten AutoFOM-Formeln anhand unterschiedlichster an stationär geprüften Schweinen ermittelten Daten verifiziert. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die durchgeführte Stationsprüfung insbesondere wegen der durchgeführten Zweiergruppenhaltung nur bedingt die Verhältnisse praxisüblicher Mastbetriebe widerspiegelt. Aus diesem Grund sind aus den

Ergebnissen zwar Hinweise abzuleiten, die für oder gegen eine Überarbeitung der aktuell gültigen AutoFOM-Formeln sprechen; als Ersatz für eine neutrale Klassifizierungsstudie auf der Basis des EU-Regulariums ist der Versuch jedoch nicht zu verstehen.

Da das AutoFOM-Gerät eine Vielzahl von Ultraschall-Messungen an Schlachtkörpern vornimmt, stellt sich die Frage, ob diese Messungen nicht nur für die Beurteilung der Schlachtkörperqualität von Mastendprodukten herangezogen werden können, sondern ob mit entsprechenden Formeln diese Daten auch für die Beurteilung der Schlachtkörperqualität von Zuchttieren nutzbar gemacht werden können.

Aufgrund der Vielzahl autokorrelativer Basismerkmale des AutoFOM-Gerätes ist das Stepwise-Verfahren nicht geeignet um valide Schätzformeln abzuleiten. Demzufolge erfolgte die Neukonstruktion der AutoFOM-Formeln ausschließlich mit der PLS-Methode. Alternativ wurden jedoch zwei PLS-Vorgehensweisen untersucht, die sich im Hinblick auf die maximale Anzahl zu berücksichtigender Prädiktorenvariablen unterscheiden. In der ersten Variante wurde die Anzahl potentieller Variablen auf ein Maximum von 80 fixiert. Bei der zweiten Variante wurde sukzessiv die Begrenzung der Prädiktorenanzahl von 1 auf die maximale Anzahl verfügbarer AutoFOM-Basisvariablen ($n=127$) erhöht. Letztendlich wurde dabei die PLS-Variante ausgewählt, die bei gegebener Begrenzung den geringsten Schätzfehler (RMP) aufwies.

Um einen Vergleich der Verbesserung der Schätzgenauigkeit zwischen alter und neuer Formel zu quantifizieren, eignen sich uneingeschränkt die berechneten Bestimmtheitsmaße. Auf Grund einer ähnlichen Definition sind der relative Schätzfehler der Überprüfungsstudie und der CV_{RMSEC} ebenfalls als Indikator für einen Genauigkeitsgewinn geeignet. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei Berechnung des CV in der Überprüfungsstudie, je nach Anzahl berücksichtigter Hauptkomponenten mehr als ein Freiheitsgrad berücksichtigt wurde. Der CV_{PRESS} ist zur Charakterisierung der Robustheit der resultierenden PLS-Schätzformel, weniger zur Beschreibung des Genauigkeitsgewinns geeignet.

5.2.3 Schätzung des Muskelfleischanteils im gesamten Schlachtkörper und im Bauch auf Basis von AutoFOM-Daten

Die Abschätzung des Muskelfleischanteils im Schlachtkörper erreicht bei den Kreuzungsherkünften Bestimmtheitsmaße von 57% bei einem CV von 4,1%. Die Grenze einer validen Schätzung wird demzufolge im Bestimmtheitsmaß marginal unterschritten. In den Studien von HÖRETH und ROTH (2000) und BRØNDUM (1996) wird jeweils eine Standardabweichung der Residuen (RSD) von 1,58% berechnet. Bei einem unterstellten Muskelfleischanteil von 56% ergibt dies einen relativen Schätzfehler von 2,87%. Im Vergleich zu diesen Genauigkeiten sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie eher ernüchternd. Ähnliche unbefriedigende Aussagen hinsichtlich der Aussagesicherheit können auch bei den Reinzuchtlinien getroffen werden. Im Vergleich zu den Kreuzungsherkünften liegt jedoch der CV bei den Mutterlinien auf einem geringfügig höheren (CV=5,1%) und bei den Vaterlinientieren auf einem deutlich niedrigeren Niveau (CV=2,7%). Umgekehrt sind die Verhältnisse beim Bestimmtheitsmaß (Pi: B=38,7%, DE/DL: B=61,3%). Diese Unterschiede zu den Kreuzungsherkünften lassen sich durch die vergrößerte (Mutterlinien) bzw. verkleinerte (Piétrain) Streuung der Muskelfleischanteile der Zerlegung erklären.

Die PLS-Schätzung des MFA-Schlachtkörpers führte zu einer deutlichen Steigerung der Bestimmtheitsmaße und zu einer Reduktion des CV. Hier sind bei den Rassen Piétrain Verbesserungen im B und CV von 14,8% bzw. 0,7%, bei den Mutterlinien 6,3% bzw. 1,5% und bei den Kreuzungsherkünften 0,2% bzw. 10,3% festzustellen. Die erreichten Schätzgenauigkeiten liegen mit Variationskoeffizienten zwischen 2,0% und 4,1% auf einem guten Niveau; erreichen allerdings nach wie vor nicht die Werte von BRANSCHIED et al. (1997b).

Aufgrund der Positionierung der AutoFOM-Ultraschallköpfe in der u-förmigen AutoFOM-Schale ist eine direkte Messung von Bauchmerkmalen mit Hilfe des AutoFOM-Gerätes bei den auf dem Rücken liegenden Schweinen nicht möglich. Demzufolge ist der Muskelfleischanteil im Bauch schlechter schätzbar als im gesamten Schlachtkörper. In der vorliegenden Untersuchung erreichen die derzeit implementierten Schätzgleichungen entweder nur sehr geringe Bestimmtheitsmaße (Pi: B=16%) oder hohe relative Schätzfehler (Mutterlinien: CV=9,0%, Hybriden: CV=7,1%). Die im Vergleich zum MFA-Schlachtkörper schlechtere Schätzbarkeit ist

auch in der Studie von BRANSCHIED et al. (1997) erkennbar, bei der der Muskelfleischanteil im Bauch nur mit einem CV von 5,2% berechnet werden konnte. Durch die erfolgte PLS-Neuberechnung erhöht sich die Schätzgenauigkeit in ähnlicher Weise wie beim MFA-Schlachtkörper. Trotzdem verharrt der CV bei den Kreuzungsherkünften und den Mutterlinien auf einem CV-Wert von 5,7% bzw. 6,1%; während bei der Rasse Piétrain ein guter CV von 3,7% aber nur ein B von 49% berechnet wurde. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass aufgrund der technischen Ausstattung des AutoFOM-Gerätes eine vergleichsweise nur unbefriedigende Genauigkeit in der Abschätzung des MFA-Bauch erzielt werden kann.

Im Vergleich zu den erzielten Genauigkeiten bei Verwendung von linearen LPA-Schlachtkörpermaßen zur Schätzung des MFA im gesamten Schlachtkörper und im Bauch sind nur geringfügige Unterschiede erkennbar (Tab. 46). In der Tendenz sind bei den Reinzuchtlinien die LPA-Formeln vorteilhaft, während bei den Kreuzungsherkünften sich eine Überlegenheit der angepassten AutoFOM-Formeln zeigt.

Im Rahmen der stationären Leistungsprüfung wird am Schlachtkörper ein Anschnitt in Höhe der 13./14. Rippe vorgenommen, um die Rückenmuskelfläche zu ermitteln. Dies führt zu einer Wertminderung des Schlachtkörpers in der Weitervermarktung. In dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass eine Schätzung des MFA der Schlachtkörperhälfte bei der Rasse Piétrain und den Mutterlinien mit hoher Genauigkeit möglich ist. Ein Teil der in Deutschland im Rahmen der stationären Leistungsprüfung untersuchten Schweine wird mit dem AutoFOM-Gerät klassifiziert. Einige Leistungsprüfanstalten weisen deshalb bereits die anhand der aktuell gültigen Formeln berechneten Teilstückdaten auf den Prüfberichten mit aus. Hier sollte in Betracht gezogen werden, die Schätzungen mit speziell für die entsprechende Genetik abgeleiteten Formeln durchzuführen, um die Werte als Zusatzinformationen der Zucht zur Verfügung zu stellen.

5.2.4 Schätzung der Teilstückgewichte auf Basis von AutoFOM-Daten

Mit den derzeit gültigen AutoFOM-Formeln wird bei der Schätzung der Teilstückgewichte (Praxisschnitt) an handelsüblichen Endprodukten in allen Fällen ein Bestimmtheitsmaß von $\geq 64\%$ erreicht. Allerdings übersteigen die relativen Schätzfehler

mit Ausnahme des Schinken- und des Schultergewichts, die Grenze von 5%. Im Vergleich zur Untersuchung von BRANSCHIED et al. (1997a) befinden sich beide Parameter der Schätzgenauigkeit auf einem deutlich niedrigerem Niveau. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Versuche betragen im CV in der Regel mehr als 2%, im Bestimmtheitsmaß mehr als 10% (Tab. 46).

In einem nachfolgenden Schritt wurden neue AutoFOM-Schätzformeln für die Teilstückanteile mit Hilfe der PLS-Methodik entwickelt. Eine zuverlässige Beurteilung der schieren Teilstückgewichte ist jedoch auch nach erfolgter Formelanpassung nur bedingt möglich. Betrachtet man die Bestimmtheitsmaße und Schätzfehler der angepassten Formeln, so fällt auf, dass insbesondere die Anteile der Teilstücke von Reinzuchtieren valide vorhergesagt werden können. Die Schätzungen Teilstückgewichte von Kreuzungstieren erreichen Bestimmtheitsmaße von 75-80% bei Variationskoeffizienten zwischen 5 und 6%.

5.3 Auswahl der statistischen Verfahren

Zur Ableitung der Schätzgleichungen für Muskelfleischanteile oder Teilstückgewichte mit Hilfe linearer Schlachtkörpermasse der stationären LP wurden alternativ die Regressionsverfahren OLS und PLS verwendet. Ziel des OLS-Verfahrens ist es, möglichst viel der Varianz des Zielmerkmals (z.B. MFA des Schlachtkörpers) zu erklären und dabei gleichzeitig die Schätzfehler zu minimieren. Zur Vermeidung einer Überparameterisierung (Overfitting) dieser Schätzformeln wurden nur Prädiktoren integriert, die im Rahmen des Stepwise-Verfahrens bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 15% signifikant waren. Bei einer eingeschränkten Anzahl möglicher Prädiktoren erscheint eine solche Vorgehensweise im Hinblick auf die Übertragbarkeit der resultierenden Schätzformeln auf fremde, d. h. nicht an der Entwicklung der Regressionsgleichung beteiligten Daten, gerechtfertigt zu sein. MALLOWS (1973) schlug zur Auswahl von stabilen Modellen den sogenannten CP-Koeffizienten vor. Übersteigt die Anzahl Prädiktoren diesen Koeffizienten, so ist die Stabilität gefährdet. Nur in seltenen Ausnahmefällen trat in einer der durchgeführten Merkmalsanalysen eine solche Situation auf, so dass die Stabilität der Gleichungen durch eine potentielle Überparameterisierung nicht sonderlich gefährdet zu sein scheint.

Das alternativ angewandte Regressionsverfahren PLS ist nach WOLD (1994) und RANDALL (1995) besonders dann für die Ableitung von Formeln geeignet, wenn als

Prädiktoren viele untereinander hoch korrelierte Merkmale zur Verfügung stehen. Die statistischen Eigenschaften des Verfahrens wurden im Abschnitt 3.2 detailliert beschrieben. Im Wesentlichen wird beim PLS-Verfahren nicht nur die Streuung des Zielmerkmals, sondern gleichzeitig auch die Varianz der Prädiktoren berücksichtigt. Hierdurch wird das Problem der Überparameterisierung bei einem ungünstigen Verhältnis der Anzahl Beobachtungen und Prädiktoren abgeschwächt (WOLD, 1994; RANDALL, 1995). Ein solch ungünstiges Verhältnis ist sicher bei der Ableitung der Schätzformeln der Muskelfleischanteile bzw. Teilstückgewichte mit Hilfe der AutoFOM-Basisvariablen relevant; jedoch auch bei der Formelentwicklung auf Basis von linearen LPA-Maßen könnten die autokorrelativen Verhältnisse der Regressoren zu Instabilitäten führen. Aus diesem Grund wurde alternativ zum OLS-Stepwise-Verfahren, das PLS-Verfahren auch bei der Ableitung der LPA-Schätzgleichungen verwendet. Hieraus resultieren Schätzformeln mit einer vergleichsweise hohen Anzahl von Prädiktoren und, im Hinblick der Übertragbarkeit auf zukünftige Daten verbesserten Eigenschaften. Die höhere Anzahl Prädiktoren hat den Vorteil, dass die Bedeutung einzelner, möglicherweise fehlerhaft gemessener Werte relativ gering ist.

Ein Vergleich der erreichten Schätzgüte beider Regressionsverfahren ist aufgrund der nicht übereinstimmenden Definition der Genauigkeitsparameter schwierig. Im Vergleich zum RMSEC des Stepwise-Verfahrens, liegt der RMP des PLS-Verfahrens erwartungsgemäß immer auf einem ungünstigeren Niveau. Der resultierende Vorteil in der Robustheit der PLS-Gleichungen lässt sich aber durch den Parametervergleich RMSEC versus RMP nicht ablesen. DOBROWOLSKI und BRANSCHIED (1997) schlugen zur Abgrenzung der Schätzgüte von Formeln, die im Rahmen der apparativen Klassifizierung eingesetzt wurden, Grenzwerte von $B=64\%$ bzw. $CV_{RMSEC}=5\%$ vor. Bei Ableitung der Schätzformeln mit Hilfe des PLS-Verfahrens sind diese Anforderungen an den CV_{RMP} bzw. B zu überarbeiten.

Bei der Neukonstruktion der AutoFOM-Gleichungen auf der Basis von 127 möglichen Prädiktoren (AutoFOM-Basisvariablen) wurde ausschließlich das PLS-Verfahren angewendet. Im Vergleich zur OLS-Prozedur sind beim PLS-Verfahren, neben der Festlegung von Signifikanzgrenzen, im Verfahrensablauf einige optionale Vorgaben durch den Anwender heuristisch festzulegen. Zu nennen ist hier die optionale Überprüfung der Signifikanz der im Rahmen der PLS-Prozedur neu hinzukommenden Faktoren mit Hilfe des VAN DER VOET (1994) Signifikanztests. Obwohl die

Verwendung eines solchen Signifikanztest im Hinblick auf die Stabilität der Schätzformeln sinnvoll erscheint, zeigten die alternativ durchgeführten Auswertungen mit und ohne Signifikanztests nur in Ausnahmefällen nennenswerte Unterschiede in der Anzahl berücksichtigter Faktoren bzw. im resultierenden RMP.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde der Einfluss der Begrenzung der Anzahl Prädiktoren, die in den PLS-Gleichungen aufgenommen werden können, verifiziert. Eine Verringerung dieser Anzahl ist ebenfalls aus dem Blickwinkel der Robustheit der finalen Schätzgleichungen sinnvoll. Eine mögliche Begrenzung kann aufgrund der im Rahmen der Studie berechneten Variable of Importance (VIP, WOLD, 1994) erfolgen. Dem Vorschlag von WOLD (1994) folgend, wurden nur Variablen akzeptiert, die einen $VIP < 0,8$ aufwiesen. Darüber hinaus wurden nur maximal 80 Faktoren erlaubt. Solche Obergrenzen wurden in den Arbeiten von BRANSCHIED et al., 1997a und BRONDUM et al., 1994 herangezogen. Der empfohlene VIP-Grenzwert wurde in der überwiegenden Anzahl der jeweiligen Merkmalsauswertungen von mehr als 80 (von 127) Variablen erreicht, so dass nicht die Begrenzung die nach VIP sondern nach maximaler Anzahl (80) die entscheidende Bedeutung besaß.

Die Festlegung beider Begrenzungsparameter, VIP und maximal erlaubte Anzahl Regressoren erfolgte mehr oder weniger subjektiv bzw. heuristisch. Um die Konsequenzen alternativer Festlegungen von Begrenzungsparametern zu beurteilen, wurden je Merkmal insgesamt 127 PLS-Analysen durchgeführt. Die Begrenzung der erlaubten Anzahl Regressoren wurde sukzessiv, in der Reihenfolge ihrer VIP-Bedeutung von 1 auf 127 erhöht. Zur Ableitung der finalen Regressionsgleichung wurde die PLS-Analyse mit entsprechender Begrenzung ausgewählt, die den geringsten RMP aufwies. Dabei zeigte sich bei vielen Merkmalen, dass trotz einer geringeren Anzahl Prädiktoren und Faktoren der RMP im Vergleich zu einer starren Festlegung der maximalen Regressoranzahl auf 80, deutlich erkennbar niedriger liegt. Der im Rahmen der Kreuzvalidierung berechnete RMP-Fehler ist ein akzeptiertes und zuverlässiges Maß zur Beurteilung der Robustheit der resultierenden Schätzgleichung. Demzufolge erscheint das von ausgewählte Optimierungsverfahren zur Festlegung der erlaubten Anzahl Regressoren besser geeignet zu sein, als ein Verfahren mit fixer Begrenzung auf eine bestimmte Anzahl Regressoren

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Eignung bzw. Genauigkeit verschiedenster Verfahren zur Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung beim Schwein untersucht. Basis hierfür waren die Daten von 292 Schweineschlachtkörpern der Herkünfte Piétrain, DE, DL, PixWesthybrid und db.65xdb.Classic. Alle Tiere wurden bei dem Schlachtunternehmen Westfleisch am Standort Hamm geschlachtet und mittels Ultraschall, der Zweipunktmethode, dem FOM- und dem AutoFOM-Gerät apparativ klassifiziert. Hieran schloss sich die Tomographie und Vollzerlegung von 202 Schlachtkörpern an.

In einem ersten Schritt wurde die Genauigkeit des MRT-Verfahrens zu Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte berechnet. Hierbei zeigte sich, dass das MRT-Verfahren bei allen untersuchten Herkünften aufgrund der niedrigen relativen Schätzfehler zwischen 2,0% und 3,6% bei der Beurteilung der Muskelmasse des Schlachtkörpers als Alternative zur aufwändigen Vollzerlegung von Schweineschlachtkörpern geeignet ist. Bei der Abschätzung der Teilstückgewichte bzw. der Muskelmasse der Teilstücke ist das MRT-Verfahren nur bedingt als Alternative zur Zerlegung geeignet, da eine klare, virtuelle Abgrenzung der Teilstücke auf der Basis anatomischer Fixpunkte mit Hilfe der MRT-Bilder nur schwer möglich ist. So ließen sich die Gewichte der Teilstücke Schinken und Schulter mit hoher Genauigkeit abschätzen, während bei den Teilstücken Kotelett und Filet mit relativen Schätzfehlern >5% nur unbefriedigende Genauigkeiten erreicht wurden. Eine zufriedenstellende Schätzgenauigkeit beim Teilstück Lachs konnte nur durch die manuelle, aufwändige Abgrenzung dieses Teilstückes in den MRT-Bildern erreicht werden.

In einem nächsten Schritt wurde die Aussagegenauigkeit verschiedener, im Rahmen der Stationsprüfung und apparativen Klassifizierung von Schweineschlachtkörpern benutzter Formeln zur Abschätzung des Fleischanteils bzw. der Teilstückanteile und -gewichte verifiziert. Zu diesem Zweck wurde die Stichprobe von 202 zerlegten Schweinen durch 90, tomographisch untersuchte Schweine der Reinzuchtherkünfte Pi und DE/DL erweitert.

Die im Rahmen der Stationsprüfung verwendete Formel zur Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte zeigte erhebliche Verzerrungen und z. T. unbefriedigende Schätzgenauigkeiten. Nach durchgeführten Neukonstruktionen der

Schätzgleichungen mit Hilfe des PLS-Verfahrens und linearer, stationär erfasster Schlachtkörpermerkmale, konnten deutlich erkennbare Verbesserungen erreicht werden. Die resultierenden relativen Schätzfehler unterschritten bei allen untersuchten Herkünften, die häufig in der Literatur als befriedigend eingestufte Mindestgenauigkeit im relativen Schätzfehler von 5% deutlich. Die entwickelten Schätzformeln werden mittlerweile als Standardformeln zur Abschätzung des Fleischanteils im Rahmen der Stationsprüfung akzeptiert.

Bei Überprüfung der derzeit gültigen Formeln der apparativen AutoFOM-Klassifizierung ergaben sich ebenfalls zum Teil unbefriedigende Schätzgenauigkeiten in der Abschätzung des Fleischanteils der Schlachtkörperhälfte. Diese konnten jedoch nach PLS-Neukonstruktion erheblich verbessert werden. Obwohl es sich bei der unterlegten Stichprobe um stationär und nicht unter Produktionsbedingungen gemästete Schweine handelte, lässt sich daraus ein Bedarf für eine Formelanpassung ableiten. Eine ähnliche Aussage lässt sich auch bei Betrachtung der Formeln zur Abschätzung der Teilstückgewichte ableiten. Auch hier kommt es zu nennenswerten Anstiegen in der Schätzgenauigkeit. Allerdings lässt sich auch nach Anpassung der Formel bei einigen Teilstücken wie Filet oder Bauchgewicht die geforderte Mindestgenauigkeit von 5% bei einigen Herkünften nicht erreichen.

Vergleicht man die Schätzgenauigkeiten, die bei Anwendung linearer, stationär erfasster Schlachtkörpermaße erreicht werden mit denen der apparativen Klassifizierung, so sind nur marginale Unterschiede erkennbar. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass im Hinblick auf züchterische Selektionsentscheidungen, die Verwendung von AutoFOM Daten eine sinnvolle und kostengünstige Ergänzung oder Alternative der Stationsprüfung sein kann.

Ein relativer Schätzfehler von 5% wird generell als zufriedenstellende Genauigkeit zur Abschätzung der Schlachtkörperzusammensetzung akzeptiert. Dieser Wert basiert auf dem Root Mean Square Error of Calibration (RMSEC), der im Rahmen der OLS Analyse geschätzt wird. Der bei der PLS Analyse geschätzte Root Mean Press (RMP) unterscheidet sich vom RMSEC und liegt auf einem höheren Niveau. In vorliegender Untersuchung liegen die Unterschiede im CV_{RMSEC} und CV_{RMP} zwischen 0,2% und 0,6%. Darüber hinaus sollten bei der PLS Prozedur die Anzahl Faktoren und Parameter begrenzt werden. Diese Begrenzungen besitzen einen großen Einfluss auf die Genauigkeit der resultierenden Schätzgleichungen. Zur Limitierung der Anzahl

Faktoren wurden der Signifikanztests von VAN DER VOET (1994) herangezogen. Die Begrenzung der Anzahl Prädiktoren erfolgte mit Hilfe einer Reihe von Analysen, bei der die Anzahl maximal erlaubter Prädiktoren schrittweise von 1 auf die maximale Anzahl erhöht wurde. In dem endgültigen Modell wurde die Begrenzung gewählt, bei der der RMP ein Minimum aufwies. Diese Vorgehensweise ist meiner Meinung nach reproduzierbar und kann alternativ zu einer fixen Begrenzung zur Harmonisierung der PLS Analyse verwendet werden.

Summary

In the present study the reliability and accuracy of different determination methods of the carcass composition of slaughter pigs were analyzed. The data set included information from 292 pig carcasses of the breeds Pi, DE, DL, PixWesthybrid and db.65xdb.Classic. All pigs were slaughtered at the Westfleisch abattoir in Hamm. Every carcass was graded with ultrasound, the two-points-method and the AutoFOM-device. After classification, 202 carcasses were analyzed by magnetic resonance tomography (MRT) and fully dissected.

In a first step the accuracy of the MRT-technique for prediction of lean meat content in the carcass halves was calculated. The results showed very small relative estimation errors between 2.0% and 3.6%. In conclusion, MRT is an appropriate alternative for the time- and cost-consuming full dissection of carcasses. For the prediction of retail cuts the MRT is only partially suitable because of missing anatomic fix points in the MRT-images. The prediction of ham and shoulder weight is possible with high accuracies, but chops and sirloin cannot be predicted with sufficient accuracies (relative estimation errors >5%).

In a next step the accuracy of different formulas for prediction of lean meat content in the carcass halves and the retail cuts were calculated. For this purpose the sample of 202 fully dissected carcasses was amplified with 90 tomographed carcass halves of Pi- and DE/DL-pigs.

The formula used for the estimation of carcass lean percentage on-station showed large biases and unsatisfying estimation errors. However, the PLS reconstruction of the formula yields significant improvements in accuracy. In the meanwhile, these formulas are used as a standard for the prediction of carcass lean meat content of on-station tested pigs.

The accuracy of the currently used AutoFOM-formulas was not sufficient, but could be improved by PLS reconstruction. Although the sample used in this study includes only on-station tested pigs, this result indicates, that a revision of the AutoFOM formulas used in carcass grading of commercial slaughter pigs could be advised.

Comparing the accuracies of the formulas based on linear, on-station test results and AutoFOM-measurements, only marginal differences can be observed. From this follows that the results of AutoFOM-classification could be used as a valuable extension or an alternative of the costly on-station carcass grading procedure.

A relative estimation error (CV) of <5% is generally accepted as a sufficient accuracy for predicting the carcass composition of slaughter pigs. This value is based on the mean square error of calibration (RMSEC), calculated by OLS techniques. In comparison to this accuracy parameter the estimation of an appropriate error term using the PLS-procedure is different. Normally within the PLS-procedure the root mean press error (RMP) is used, which is higher than the RMSEC of the OLS-procedure. In my study differences between CV_{RMSEC} and CV_{RMP} were between 0.2 and 0.6%. In addition, using the PLS-analyses, the numbers of allowed predictors and factors have to be restricted. Particular restriction of the number of predictors have a substantial effect on the accuracies of the formulas used for prediction. Within my study, I suggest to restrict the number of factors by VAN DER VOETS (1994) significance test. In addition, the maximum number of allowed predictors was derived by a series of PLS-analysis, where the number of allowed predictors was increased step by step from 1 to the maximum. Models, which yield the lowest RMP were used to construct the final equations to estimate the lean meat percentage or carcass cut weight. In my opinion, this limitation procedure is reproducible and can be used to harmonize the PLS-procedure.

7 Quellenverzeichnis

ALLEN, P. (2003): Presentation of possible alternative reference, EUPIGCLASS Workshop Roskilde, 6-7 October 2003

ALZ (1997): Richtlinie für die Stationsprüfung aus Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein

ALZ (1987): Richtlinie für die Stationsprüfung aus Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein

AUGUSTINI, C., A. DOBROWOLSKI, F. HEINING (1993): Objektive Schlachtkörperbewertung beim Rind, Kulmbacher Reihe 12, 27-53

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. (1996): Das Schwein in Scheiben - Kernspintomographie macht's möglich, Schweinezucht und Schweinemast, 1 / 1996, 42-44

BAULAIN, U., M. HENNING (2001): Untersuchungen zur Schlachtkörper- und Fleischqualität mit Hilfe von MR-Tomographie und MR-Spektroskopie, Arch. Tierz., Dummerstorf 44, 181-192

BAULAIN, U., M. WIESE, E. THOLEN, R. HÖRETH, K. H. HOPPENBROCK (2003a): Magnet-Resonanz-Tomographie als Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der stationären Leistungsprüfung beim Schwein, Mitteilungsblatt BAFF Kulmbach 42, 251-257

BAULAIN, U., M. WIESE, E. THOLEN, R. HÖRETH, K. H. HOPPENBROCK (2003b): Magnet-Resonanz-Tomographie als Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der stationären Leistungsprüfung beim Schwein, Kulmbacher Woche 2003, 6.-7. Mai

BAULAIN, U., M. HENNING, E. THOLEN, W. PESCHKE (1998): Der Schweinebauch in Scheiben, Schweinezucht und Schweinemast, 4 / 1998, 16-17

BAULAIN, U., M. HENNING, E. THOLEN, W. WITTMANN, W. PESCHKE (1997): Objektive Erfassung des Fleischanteils im Schweinebauch, 2. Mitteilung: Verwendung von Bildinformationen aus dem MR-Imaging, Züchtungskunde 70, 205-212

BAULAIN, U., R. SCHWERDTFEGGER, E. KALM (1991): Composition of carcass cuts assessed by Magnetic Resonance Tomography (MRT), 42nd Annual Meeting of the EAAP, Berlin

BAULAIN, U., W. GRIEP, M. HENNING, E. HÜSTER (†), E. KALLWEIT (1990): Composition of live pigs of different weight assessed by Magnetic Resonance Imaging (MRI), Proc. 44, EAAP Meeting, Aarhus/DK, 16th-19th August 1993

BERG, R. T., R. M. BUTTERFIELD (1976): New concepts of cattle growth, Sydney University Press

BERG, R. T., R. M. BUTTERFIELD (1968): Growth patterns of bovine muscle, fat and bone of young bulls, J. Anim. Sci. 27, 611-619

BEUCK, J. (2004): Wie Westfleisch Schweine bezahlt, Westfleisch-AutoFOM Spezial November 2004, 3-4

BEUCK, J. (2000): Mit AutoFOM in ein neues Zeitalter, Westfleisch - AutoFOM Spezial November 2000, 1-6

BEUCK, J. (1999): Abrechnungsmodell nach Handelswert - AutoFOM macht es möglich, Schweinezucht und Schweinemast 5 / 1999, 44-47

BLW (1999): Verordnung des BLW über die Einschätzung von Tieren der Schweinegattung sowie die Verwendung von technischen Geräten zur Qualitätseinstufung, Verordnung vom 23. September

BML (1990): Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweinehälften vom 16. August 1990, BGBl, 1809-1811

BOWMAN, G. H., J. A. WHATLEY jr., L. E. WALTERS (1962): Separation and measuring errors in swine carcass, J. Anim. Sci. 21, 950-954

BRANDT, H. (2000): Deutsche und dänische Vaterlinien getestet (Teil II), SUS 48, 3, 46-48

BRANDT, H., R. WÖRNER, H. HENNE (2000): Analyse der Nachkommenprüfung von Besamungsebern in Top-Genetik Programmen, Züchtungskunde 72, 59-68

BRANSCHIED, W., A. DOBROWOLSKI (1999a): Evaluation of market value: comparison between different techniques applied on pork carcasses, European Expert Colloquium on Grading & Classification, Tuesday 15th June 1999

BRANSCHIED, W., A. DOBROWOLSKI (1999b): Evaluation of market value: comparison between different techniques applied on pork carcasses, Arch. Anim. Breeding 43, 131-137

BRANSCHIED, W., G. VON LENGERKEN (1998): Qualität von Fleisch und Fleischwaren, Die Erfassung der Schlachtkörperzusammensetzung und die Einstufung in Handelsklassen, Deutscher Fachverlag

BRANSCHIED, W., A. DOBROWOLSKI, R. HÖRETH (1999a): Video-Image-Analyse als Methode zur automatischen Handelswertbestimmung von Schweinehälften, Mitteilungsblatt der BAFF 38, 144, 207-214

BRANSCHIED, W., R. HÖRETH, A. DOBROWOLSKI (1999b): Klassifizierung von Schweinehälften: In Zukunft vollautomatisch, Schweinezucht und Schweinemast 4/1999, 42-43

BRANSCHIED, W., A. DOBROWOLSKI, R. HÖRETH (1997a): Bestimmung der Handelsklassen und des Handelswerts von Schweinehälften mit dem Gerät AutoFOM, Fleischwirtschaft 77, 619-622

BRANSCHIED, W., A. DOBROWOLSKI, R. HÖRETH (1997b): Neue Schätzformel und ein neues Gerät, Top Agrar 03/97, S 8-S 11

BRANSCHIED, W., A. DOBROWOLSKI, R. HÖRETH (1990): Vereinfachung der EG-Referenzmethode für die grobgewebliche Vollzerlegung von Schweineschlachtkörpern, Fleischwirtschaft 70, 550-553

BRANSCHIED, W., L. DEMPFLER, A. DOBROWOLSKI, E. SACK, R. HÖRETH (1990 b): Die Handelsklassen für Schweinehälften, Fleischwirtschaft 70, 1428-1436

BRANSCHIED, W., E. SACK, E. KALLWEIT, R. HÖRETH, U. BAULAIN (1989): Non-invasive methods in pig grading: a reliable possibility for calibration of grading devices, 35th International Congress of Meat Science and Technology, Copenhagen/Denmark, 20th-25th August 1989

BRANSCHIED, W., P. KOMENDER, A. OSTER, E. SACK, D. FEWSON (1987a): Untersuchungen über die Eignung einzelner Schlachtkörpermaße und Messstellenkombinationen für die Klassifizierung von Schweinehälften nach dem Muskelfleischanteil, 1. Mitteilung: Eignung zugelassener Klassifizierungsverfahren und Schätzformeln, Züchtungskunde 59, 202-209

BRANSCHIED, W., P. KOMENDER, A. OSTER, E. SACK, D. FEWSON (1987b): Untersuchungen über die Eignung einzelner Schlachtkörpermaße und Messstellenkombinationen für die Klassifizierung von Schweinehälften nach dem Muskelfleischanteil, 2. Mitteilung: Eignung multipler Schätzfunktionen, Züchtungskunde 59, 275-279

BRØNDUM, J. (1996): Grading moves to multi-point measurement, Pig International 26, 8

BRØNDUM, J., M. EGEBO, C. AGERSKOV, H. BUSK (1998): On-line pork carcass grading with the AutoFOM ultrasound system, J. Anim. Sci. 76, 1859-1868

BURGSTALLER, G. (1991): Schweinefütterung, Verlag Eugen Ulmer

BUSK, H. (2002): The accuracy of the reference - test results, EUPIGCLASS Workshop Gent, 20-21 March 2002

BUSK, H. (1988): Applications of Ultrasound imaging in animal science, In: E. KALLWEIT, M. HENNING, E. GROENEVELD "Applications of NMR Techniques on the Body Composition of Live Animals", CEC-Seminar 14-15 June 1988 in Mariensee, Elsevier Applied Science London, 75-90

BUTTERFIELD, R. M. (1963): Relative growth of the musculature of the ox, in Tribe: CARCASS composition and appraisal of meat animals, CSIRO, Melbourne

CHRISTEN, H. (2006): Fette Bäuche beim Schwein-Wer ist schuld?, UFA-Revue 02/2006, 42-43

COLLEWET, G., A. DAVENEL, P. BOGNER, P. ALLEN, H. BUSH, A. DOBROWOLSKI, E. OLSEN (2003): Results from Magnetic Resonance Image acquisition and analysis, EUPIGCLASS Workshop Roskilde, 6th-7th October 2003

DELAVIER, F. (2000): Der Muskel-Guide, BLV-Verlag, München

DOBROWOLSKI, A., R. ROMVÁRI, P. ALLEN, W. BRANSCHIED, P. HORN (2003): Röntgen-Computertomographie als mögliche Referenz für die Schlachtkörperbewertung beim Schwein, Mitteilungsblatt BAFF Kulmbach 161, 267-273

DOBROWOLSKI, A., W. BRANSCHIED (1997): Zur statistischen Prüfung von Schätzfunktionen der Schlachtkörperzusammensetzung und der Fleischqualität, Fleischwirtschaft 77, 359-362

DOBROWOLSKI, A., R. HÖRETH, W. BRANSCHIED (1993): Apparative Klassifizierung von Schweinehälften, Kulmbacher Reihe 12, 1-26

DOBROWOLSKI, A., W. BRANSCHIED, E. SACK (1990): Die Vereinfachung der EG-Referenzmethode für die grobgewebliche Vollzerlegung von Schweineschlachtkörpern. Mitteilungsblatt der BAFF 29, 107, 5-8

ECKERT, S., U. MÜLLER, F. GSCHWENDER, U. BERGFELD, L. SCHÖBERLEIN (2001): Drei Vaterrassen im Test: Wer hat die Nase vorn? SUS 49, 4, 32-35

EDWARDS, R. L., G. C. SMITH, H. R. CROSS, Z. L. CARPENTER (1980): Muscle to bone ratios in pork carcasses, J. Anim. Sci. 51, 1321-1329

EßL, A. (1987) Statistische Methoden in der Tierproduktion, Österreichischer Agrarverlag Wien

EVANS, D. G., A. J. KEMPSTER (1979): A comparison of different predictors of the lean content of pig carcasses, Anim. Prod. 28, 97-108

FAHEY, T. J., D. M. SCHAEFER, R. G. KAUFFMANN, R. J. EPLEY, P. F. GOULD, J. R. ROMANS, G. C. SMITH, D. G. TOPEL (1977): A comparison of practical methods to estimate pork carcass composition, J. Anim. Sci. 44, 8-17

FEWSON, D., W. BRANSCHIED, E. SACK (1990a): Untersuchungen über das relative Wachstum der Teilstücke und Gewebe von männlichen und weiblichen Mastschweinen verschiedener Herkünfte, Züchtungskunde 62, 304-316

FEWSON, D., W. BRANSCHIED, E. SACK (1990b): Untersuchungen über den Fleischanteil einzelner Teilstücke und der Schlachthälfte beim Schwein, Züchtungskunde 62, 38-51

FLACHOWSKY, G. (1998): Einflussmöglichkeiten der Tierernährung auf Inhaltsstoffe und Qualität von Lebensmitteln tierischer Herkunft, Verbraucherdienst 43-3, 388-392

FOSTER, M.A. (1984): Magnetic Resonance in Medicine and Biology, Pergamon Press, Oxford

FOSTER, M. A., P. A. FOWLER (1988): Non-invasive methods for assessment of body composition, Proceedings of the Nutrition Society 47, 375-385

GISPERT, M., P. GOU, A. DIESTRE (1999): Bias and future trends of pig carcass classification methods, Grading&Classification, European Expert Colloquium, 15th June 1999

GLODEK, P., KRATZ, R., SCHULZ, E., FLACHOWSKY, G. (2004): Der Einfluss verschiedener Vaterrassen in praxisüblichen Schweinekreuzungen auf deren Ansatzleistung, Schlachtkörperzusammensetzung sowie Fleisch- und Fettbeschaffenheit, Arch. Tierz. 47, 59-74

GRIEP, W. (1991): Schätzung der grobgeweblichen Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinen unterschiedlichen Alters mit der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT), Diss. Göttingen

GRISDALE, B., L. L. CHRISTIAN, H. R. CROSS, D. J. MEISINGER, M. F. ROTHSCHILD, R. G. KAUFFMAN (1984): Revised approaches to estimate lean of pork carcasses of known age or days on test, J. Anim. Sci. 58, 335-345

HAMMOND, J. (1960): Farm animals-their breeding, growth and inheritance, 3rd Edition, Edward Arnold, London

HAMMOND, J. (1932): Pigs for pork and pigs for bacon, J. Royal. Agric. Soc., 93, 131-145

HANSSON, I., ANDERSSON, K. (1984) Pig carcass assessment in grading and breeding, Proc. 30th Europ. Mtg. Meat Res. Workers, Bristol

HENNING, M. (1994): Schlachtkörper- und Teilstückzusammensetzung mit MRI (Magnet-Resonanz-Imaging), Workshop "Nicht-invasive Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung-Optimierung der quantitativen Analyse", 2.-3. Dezember 1992

HENNING, M., E. HÜSTER (†), U. BAULAIN, E. KALLWEIT (1991): Evaluation of porcine body composition during growth by means of Magnetic Resonance Tomography (MRT), 42nd Annual Meeting of the EAAP, Berlin, 8th-12th September

HEYLEN, K. (1999): Variation von anatomisch-physiologischen Merkmalen sowie Merkmalen der Fleischqualität im M. longissimus thoracis et lumborum des Schweines unter besonderer Berücksichtigung des intramuskulären Fettgehaltes, Diss. Halle

HÖRETH, R. (1995): Zusammensetzung von Schweineschlachtkörpern und der Anteil der Teilstücke nach Änderung der 4./6. DVO, Mitteilungsblatt BAFF 134, 5-12

HÖRETH, R., W. BRANSCHIED (1997): Veränderung von Anteilen und Zusammensetzung der Teilstücke durch Variation der Schnittführung bei Schweineschlachtkörpern, Mitteilungsblatt BAFF 137, 273-279

HÖRETH, R., S. ROTH (1999):

http://www.schweine.net/autofom_sicherheitskonzept_und_ueberwachung.html

HÖRNICKE, H. (1961): Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung lebender Tiere unter besonderer Berücksichtigung des Schweins, Z. Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde, 16, 267-297

HULSEGGE, B., P. STERRENBURG, G. S. M. MERKUS. (1994) Prediction of lean meat content in pig carcasses and in the major cuts from multiple measurements made with the Hennessy Grading Probe, Anim. Prod. 59, S. 119–123.

HUXLEY, J. S. (1932): Problems of relative growth, Methuen and Co. Ltd., London

JÄGER, W. (2005): persönliche Mitteilung

JÜNGST, H., K. SCHELLANDER, E. THOLEN (2002): Fleischleistungsprüfung von Besamungsebern auf Station, Top-Genetik 5/2002, 22-25

JUL, M. (1983a): Nährwert und Genusswert des Fleisches. Fleischwirtschaft, 63, 1726-1729

JUL, M. (1983b): Nährwert und Genusswert des Fleisches. Fleischwirtschaft, 63, 1847-1850

KALLWEIT, E., G. AVERDUNK (1984): Pig carcass classification and grading: Perspectives for instrumental techniques, Carcass evaluation in Beef and Pork: Opportunities and constraints, Satellite Symposium EAAP, 4th August 1984, The Hague

KALLWEIT, E., U. BAULAIN (1997): Intramuskulärer Fettgehalt im Schweinefleisch, Schweinezucht und Schweinemast 1/1995, 40-42

KALLWEIT, E., H. H. WESEMEIER, D. SMIDT, U. BAULAIN (1994): Einsatz der Magnet-Resonanz- Messung in der Tierzuchtforschung, Arch. Tierz. 37, 105-120

KALLWEIT, E., G. KIELWEIN, R. FRIES, S. SCHOLTYSEK (1988): Qualität tierischer Nahrungsmittel, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

KAUFMANN, D. (2006): Welche Eberrasse? UFA-Revue 12/2006, 2-3

KEMPSTER, A. J., A. CUTHBERTSON, G. HARRINGTON (1982): Carcass evaluation in livestock breeding, production and marketing. Granada Publishing Limited, London

KÜCHENMEISTER, U., H. LADEGAST, K. ENDER (1990): Schlachtkörperbewertung und Klassifizierung bei Schwein und Rind, Forschungsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Bd. 28, Heft 2, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR

KIRCHGESSNER, M. (2004): Tierernährung, DLG-Verlags-GmbH Frankfurt

KÖHLER, W., G. SCHACHTEL, P. VOLESKE (2001): Biostatistik, Springer-Verlag Berlin

LASLEY, E. L., E. A. KLINE (1957): Splitting and cutting errors in swine carcass evaluation, J. Anim. Sci.16, 485-489

LEISTNER, L. und J. DRESEL (1988): Untersuchung der hygienischen Risiken bei der Geräteklassifizierung, Mitteilungsblatt der BAFF 100, 7899-7908

LISSNER, J. SEIDERER, M. (1990): Klinische Kernspintomographie, F. Enke Verlag, Stuttgart

LOOSER, J., C. HENSEL (2006): Informationen zur Leistungsprüfung 2006, 1-29

LUEBBERT (2007): <http://www.luebbert.net/uni/statist/statc/statc1.php>

MATTHES, W., SCHIMKE, E. (2000): Magerfleischanteil ist nicht alles. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 21, 1-9

MC MEEKAN, C.P. (1940b): Growth and development in the pig, with special reference to carcass quality characters. II. The influence of plane of nutrition on growth and development, J. Agr. Sci. 30, 387-436

MELZER, G., J. KÜHLEWIND (2002): Eignungstest für Väter, Neue Landw., 4, 60-64

MÜLLER, S. (2005): Piétrain, mehr als nur ein Schinkenmacher, SUS 4/2005, 44-48

MUSSMANN, T. (1995): Vergleichende Untersuchungen über Meßmethoden zur Ermittlung der Fleischbeschaffenheit und des Fleischanteils beim Schwein, Agr. Diss. Bonn

NEUPERT, B., R. CLAUS, E. HERBERT, U. WEILER (1995): Einfluss von Geschlecht, Fütterung und Lichtprogrammen auf Mastleistung und Schlachtkörperwert sowie die Androstenon- und Skatolbildung beim Schwein, Züchtungskunde 67, 317-331

NISSEN, P.M., BUSK, H., OKSAMA, M., SEYNAEVE, M., GISPERT, M., WALSTRA, P., HANSSON, I., OLSEN, E. (2006): The estimated accuracy of the EU reference dissection method for pig carcass classification, Meat Science 73, 22-28

NÜRNBERG, K., J. WEGNER, K. ENDER (1998): Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals, Livest. Prod. Sci. 56, 145-156

OKSAMA, M. (2002): The accuracy of the reference-calculations, EUPIGCLASS Workshop Gent, 20-21 March 2002

OLSEN, E. V. (2001): Standardization of pig carcass classification in the EU through improved statistical procedure and new technological developments, 47th ICoMST in Krakow, Poland, 26th-31st August, 2001

ORKUTT, M. W., J. C. FORREST, M. D. JUDGE, A. P. SCHINCKEL, C. H. KUEI (1990): Practical means for estimating pork carcass composition , J. Anim. Sci. 68, 3987-3997

OSTER, A., D. FEWSON, P. KOMENDER, W. BRANSCHIED, E. SACK (1987): Schätzung des Muskelgewebeanteils beim Schwein aufgrund der Forchheimer Teilstückzerlegung sowie üblicher Schlachtkörpermaße, Züchtungskunde, 59, 281-295

PFUHL, K. , P. GLODEK (1996): Die Bestimmung des Fettgehalts von Schweineböcken mittels NIR und dessen Beziehung zu anderen Verfettungskriterien an der Schlachthälfte, Züchtungskunde 68, 48-64

PIEPER, R. (2005): persönliche Mitteilung

PRINGLE, T.D., S. E. WILLIAMS (2001) Carcass traits, cut yields, and compositional end points in high lean yielding pork carcasses: Effects of 10th rib backfat and loin eye area. J. Anim. Sci. 79, S.115-121.

RAMM, B., W. SEMMLER, M. LANIADO (1986): Einführung in die MR-Tomographie Grundlagen und klinische Anwendung, F. Enke Verlag, Stuttgart

RANDALL, T. D. (1995): <http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/library/pls.pdf>

ROGOWSKI, B. (1982): Die ernährungsphysiologische Bedeutung von Fleisch und Fett, Fleischwirtschaft, 62, 465-476

ROGOWSKI, B. (1974): Der Nährwert von Fleisch und Fleischwaren, Fleischwirtschaft, 10, 1610-1615

ROMVÁRI, R., A. DOBROWOLSKI, P. HORN, P. ALLEN (2003): CT-Examination of pig carcasses, EUPIGCLASS Workshop Roskilde, 6th-7th October 2003

SACK, E. (1982a): Zur Bedeutung einiger Hilfsmerkmale für die Schätzung des quantitativen Schlachtwerts von Schweinehälften, Mitteilungsblatt der BAFF 78, Kulmbach, 5267-5272

SACK, E. (1982b): Aussagewert einiger im Bereich des M. long. dorsi planimetrisch und linear ermittelter Maße über Gewebeanteile von Schweinehälften, Fleischwirtschaft 62, 212-215

SACK, E. (1982c): Der Lendenstärke-Speck-Quotient (LSQ) im Vergleich zu Parametern des M. long. dorsi bei Schlachtwertschätzungen an Schweinehälften, Mitteilungsblatt BAFF Kulmbach 77, 5110-5114

SACK, E. (1981): Einige praktikable Methoden zur Schätzung des Muskelfleischanteils von Schweinehälften, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung 74, Kulmbach, 4812-4817

SACK, E., L.SCHÖN, W. SCHOLZ (1981): Untersuchung zur apparativen Klassifizierung von Schweinehälften in der Bundesrepublik Deutschland, Meßsysteme KSA und SKG, Fleischwirtschaft 61, 1559-1568

SAS (1999): SAS/STAT User Guide, Version 8, Cary NC USA, SAS Institute Inc.

SCHEPER, J., W. SCHOLZ (1985): DLG-Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf, in: DLG, Arbeitsunterlagen, Frankfurt

SCHEPER, J., A. STIEBING, M. GAREIS (1996): Fleisch und Fleischerzeugnisse, AID, 1005

SCHINCKEL, A. P., C. F. M. De LANGE (1996): Characterization of growth parameters needed as inputs for pig growth models, J. Anim. Sci. 74, 2021-2036

SCHINCKEL, A. P., J. R. WAGNER, J. C. FORREST, M. E. EINSTEIN (2001): Evaluation of alternative measures of pork carcass composition, *J. Anim. Sci.* 79, 1093-1119

SCHÖN, L., O. K. PEDERSEN (1977): Ermittlung des Muskelfleischanteils an Schlachttierkörpern von Schweinen mit dem dänischen KSA-Gerät, *Fleischwirtschaft* 57, 2028-2034

SCHÖN, L., J. SCHEPER (1967): Untersuchungen über die Fleischschweinezucht in der Bundesrepublik Deutschland, 2. Mitteilung: Grobgewebliche Zusammensetzung des Schlachtkörpers, *Fleischwirtschaft* 47, 1130-1139

SCHÖN, L., W. SCHOLZ (1983): Grobgewebliche Zusammensetzung von Schweinehälften und Merkmale zur Schlachtwertschätzung, *Fleischwirtschaft* 63, 1434-1444

SCHULTE, B. (1977): Eignung von Bewertungskriterien für den Schlachtkörperwert beim Vergleich von Zuchtschweineherkünften und als Selektionsmerkmale in der Schweinezucht, Agr. Diss. Göttingen

SCHWERDTFEGGER, R. (1991): Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit von Mastendprodukten beim Schwein unter Berücksichtigung der Fettbeschaffenheit und Bauchbeurteilung, Diss. Christian-Albrechts-Universität Kiel

SCHWÖRER, D., P. MOREL und A. REBSAMEN (1990): Bedeutung der chemischen Zusammensetzung der Fettgewebe für die Schweinezucht, *Der Kleinviehzüchter*, 38, 298-309

SEIDLER, D., E. BARTNICK (1985): Zur apparativen Handelsklasseneinstufung von Schweinehälften, *Die Fleischerei* 36, 47-48

SEHESTED, E., O. VANGEN (1989): Computer tomography, a non destructive method of carcass evaluation, 41st Annual Meeting of the EAAP, Helsinki 1st July 1988

SÖNNICHSEN, M., A. DOBROWOLSKI, R. HÖRETH, W. BRANSCHIED (2002): Videobildauswertung an Schweinehälften, Fleischwirtschaft 1/2002, 98-101

SÖNNICHSEN, M., A. DOBRWOLSKI, R. HÖRETH (2001): Videobildauswertung an Schweineschlachtkörpern und Schlachtkörperanschnitten, Kulmbacher Woche 2001, 8.-9. Mai

SPEER, V.C. (1988): Altering carcass measurements and composition of the pig, in: Designing Foods: Animal product options in the marketplace, National Academy Press, Washington DC, 273-277

STILLER, H. (2004): Optische Tomographie durch Auswertung der spektralen Modulation von Weißlichtinterferenz, Diss. Hamburg

STREITZ, E., U. BAULAIN, E. KALLWEIT (1995): Untersuchungen zur Körperzusammensetzung wachsender Lämmer mit Hilfe der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT), Züchtungskunde 67, 392-403

SWENSEN, K., M. ELLIS, M. S. BREWER, J. NOVAKOFSKI, F. K. McKEITH (1998a): Pork carcass composition: 1. Interrelationships of Compositional End Points, J. Anim. Sci. 76, 2399-2404

SWENSEN, K., M. ELLIS, M. S. BREWER, J. NOVAKOFSKI, F. K. McKEITH (1998b): Pork carcass composition: 2. Use of Indicator Cuts fro Predicting Carcass Composition, J. Anim. Sci. 76, 2405-2414

SZABO, P., T. FARKAS (2003): http://ling.uni-graz.at/~wsna/3_03.htm

THOLEN, E., U. BAULAIN, M. HENNING, K. SCHELLANDER (2003a): Comparison of different methods to assess the composition of pig bellies in progeny testing, J. Anim. Sci. 81, 1177-1184

THOLEN, E., M. WIESE, U. BAULAIN, R. HÖRETH, K. H. HOPPENBROCK (2003b): Schätzung des Muskelfleischanteils von-stationär leistungsgeprüften Zuchtschweineherkünften, *Mitteilungsblatt BAFF Kulmbach* 42, 241-250

Tierzuchtgesetz vom 21. Dezember 2006, *BGBI. I*, S. 3294)

THOLEN, E., W. PESCHKE, U. BAULAIN, K. SCHELLANDER (1998): Fleischanteil im Bauch objektiv erfassen, *Schweinezucht und Schweinemast* 4/98, 12-15

VAN DER VOET, H. (1994): Comparing the predictive accuracy of models using a simple randomization test, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 25, 313-323

VON LENGERKEN, G., M. WICKE, K. FISCHER (1998): Qualität von Fleisch und Fleischwaren, Schlachttierwert des Schweins, *Deutscher Fachverlag*, Frankfurt

VON ROHR, (1998): Wirtschaftliche Gewichte für Mastleistungs- und Schlachtkörperqualitätsmerkmale beim Schwein, *Diss. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*, Nr. 12733

WAGNER, J. R., A. P. SCHINCKEL, W. CHEN, J. C. FORREST, B. L. COE (1999): Analysis of body composition changes of swine during growth and development, *J. Anim. Sci.* 77, 1442-1466

WALSTRA, P. (2000): Pig carcass classification - History and main problems, *Workshop Lelystad, The Netherlands, Statistical Methods in pig classification in the EU*, 22-23 May 2000

WALSTRA, P. (1999): Pork: Development in classification systems and the need for automation, *Grading&Classification, European Expert Colloquium*, 15th June 1999

WALSTRA, P. (1980): Growth and carcass composition from birth to maturity in relation to feeding level and sex in Dutch landrace pigs, Dissertation Univ. Wageningen, H. Veenman & Zonen B. V., Wageningen

WALSTRA, P., G. S. M. MERKUS (1995): Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification, Zeist, Netherlands

WENK, C., PRABUCKI, A. L. (1990) Faktoren der Qualität von Schweinefleisch aus Schweizer Sicht, Aktuelle Themen der Tierernährung und Veredelungswirtschaft, Tag. Ber. Lohmann-Tierernährung, Cuxhaven, S. 53-66.

WEILER, U., HOFÄCKER, S. (1997) Schweinefett - Bedeutung für Genuß und Gesundheitswert, I Informationsdienst Fleisch aus Deutschland, (12-1996-1/1997) S. 6-13

WIEDERHOLD, S. (1996): In vivo Messungen ausgewählter Merkmale der Körperzusammensetzung bei Wassergeflügel mit Hilfe der Magnet-Resonanz-Tomographie, Dissertation Univ. Halle-Wittenberg

WOLD, S. (1994): PLS for Multivariate Linear Modelling; QSAR: Chemometric Methods in Molecular Designs; Methods and Principles in Medicinal Chemistry; ed. H. van de Waterbeemd, Weinheim, Germany; Verlag Chemie

ZDS (2002): Schweineproduktion 2002 in Deutschland, Ausgabe 2003 des Zentralverbandes der deutschen Schweineproduktion, 98

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Schellander für die Überlassung des Themas der vorliegenden Dissertation sowie Frau Prof. Dr. Petersen für die Übernahme des Koreferates und die gewährte Unterstützung.

Desweiteren gilt mein Dank allen Projektpartnern: dem deutschen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, dem Institut für Tierwissenschaften der Universität Bonn, dem Institut für Nutztiergenetik des Friedrich-Loeffler-Instituts in Mariensee und dem Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch des Max-Rubner Instituts.

Insbesondere möchte ich mich bei Dr. Ernst Tholen, Dr. Ulrich Baulain und Dr. Martina Henning bedanken. Alle drei haben mich während der gesamten Zeit immer unterstützt. Ihr fachlich-kritischer Beistand hat zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Besonders wertvoll waren die Ratschläge von Herrn Dr. Ernst Tholen in allen „Statistikfragen“.

Für die Unterstützung auf dem Schlachthof, bei der Vollzerlegung und den MRT-Untersuchungen bedanke ich mich besonders bei dem Team der LPA Haus Düsse unter Leitung von Frau Schulze-Langenhorst, dem Zerlegeteam des Max-Rubner-Instituts unter Leitung von Herrn Höreth und bei Frau Wittig, Frau Worat, Herrn Kahle, Frau Becker und Frau Ronge aus Mariensee.

Bei allen Kollegen und Mitstreitern aus dem Institut für Tierwissenschaften der Uni Bonn möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit bedanken. Rat bei „Computerfragen“ wußten Heinz-Josef Schreinemachers und Peter Müller.

Vielen Dank an meine Eltern für die Unterstützung während meiner gesamten Ausbildung und an meinen Mann für Hilfestellung in „allen Lebenslagen“.