

Magnet-Resonanz-Tomographie als Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der Leistungsprüfung beim Schwein

Magnetic resonance tomography as a reference technique to determine body composition in pig performance testing

U. BAULAIN¹, M. WIESE², E. THOLEN², R. HÖRETH³ und K. H. HOPPENBROCK⁴

¹Institut für Tierzucht Mariensee der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft

²Institut für Tierzuchtwissenschaft der Universität Bonn

³Institut für Fleischerzeugung und Vermarktung der Bundesanstalt für Fleischforschung

⁴Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Landwirtschaftszentrum Haus Düsse

Zusammenfassung

An 176 Schweineschlachtkörpern wurde die Eignung der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) als Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der Leistungsprüfung untersucht. Schlachthälften der Vaterlinie Piétrain, der Mutterlinien Deutsche Landrasse und Deutsches Edelschwein sowie Masthybriden der Herkünfte BHZP und Westhybrid wurden tomographiert und im Anschluss grobgeweblich zerlegt. Es wurde nachgewiesen, dass die Muskelmasse und der Muskelfleischanteil mit Hilfe der MRT sehr genau bestimmt werden können. Die Korrelationen zwischen den über Zerlegung einerseits und MRT andererseits bestimmten Merkmalen der geweblichen Zusammensetzung waren insbesondere für die Mutterlinien und für die Masthybriden sehr hoch; gleichermaßen günstige Werte wurden für die Schätzfehler gefunden. Die Schätzung des Muskelfleischanteiles bei den sehr mageren Tieren der Vaterlinie Piétrain zeigte im Vergleich dazu eine geringere aber ausreichende Genauigkeit. Die Magnet-Resonanz-Tomographie ist als Referenztechnik geeignet und kann statt einer Vollzerlegung eingesetzt werden, wenn z. B. neue Messtechniken oder andere Messstellen auf ihren Nutzen für die Leistungsprüfung überprüft werden sollen.

Summary

A total of 176 pig carcasses was investigated to evaluate the suitability of magnetic resonance tomography (MRT) as a reference technique to determine body composition in performance testing. Carcass sides of sire line Piétrain, dam lines German Landrace and Large White, as well as carcass sides of hybrid pigs from BHZP and Westhybrid were investigated by means of MRT and dissected afterwards. Total amount of muscle and percentage of lean can be determined with a high accuracy. The correlations between compositional traits acquired by means of full dissection on the one and MRT on the other hand were very high, particularly in dam lines and hybrid pigs. Corresponding figures were found for the prediction error. Percentage of lean of Piétrain pigs was estimated with a slightly lower accuracy. In conclusion, magnetic resonance tomography is suitable as a reference technique in performance testing. It can be applied instead of full dissection, when e.g. new measuring techniques and/or measuring positions have to be evaluated for their benefits in performance testing.

Schlüsselwörter

Schweineschlachtkörper – Schlachtkörperzusammensetzung – Magnet-Resonanz-Tomographie – Referenztechnik – Leistungsprüfung

Key Words

pig carcasses – carcass composition – magnetic resonance tomography – reference technique – performance testing

Einleitung

In den vergangenen 20 Jahren haben sowohl die Röntgen-Computertomographie (CT) als auch die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) überragende Bedeutung in der Humanmedizin sowohl für die Diagnostik als auch für die Operationsplanung erlangt. Aufgrund ihrer Applikationsbreite sind beide Verfahren auch für die Tierzucht- und Fleischforschung ein äußerst wertvolles Hilfsmittel. Die Eigenschaft, auf nicht invasivem Wege detaillierte anatomisch-morphologische Informationen vom Körper zu erhalten, eröffnete neue Möglichkeiten in Studien zu Wachstum und Entwicklung landwirtschaftlicher Nutztiere (BAULAIN und HENNING, 2001; KOLSTAD, 2001; LAMBE *et al.*, 2003; MITCHELL *et al.*, 2001; SZABO *et al.*, 1999). Nachdem CT und MRT anfangs vor allem in Studien eingesetzt wurden, in denen die Veränderung der geweblichen Zusammensetzung während des Wachstums eine zentrale Rolle spielte, wird die CT mittlerweile auch in der Selektion u.a. bei Schafen und Schweinen angewandt. Sowohl in der Tierzucht als auch in der Fleischforschung wird nunmehr diskutiert, ob die sehr personalintensive grobgewebliche Zerlegung von Schlachtkörpern, die seit langem als offizielles Referenzverfahren anerkannt ist, durch Tomographie ergänzt oder ersetzt werden kann. In der Leistungsprüfung besteht z.B. Bedarf, in regelmäßigen Abständen sowohl vorhandene als auch neu entwickelte Verfahren oder Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung zu evaluieren. So wurden in einer Studie von THOLEN *et al.* (2003a) verschiedene Verfahren zur Beurteilung der Qualität, d.h. des Muskelfleischanteiles, von Schweinebäuchen aus der stationären Geschwister-/Nachkommensprüfung verglichen, wobei statt der grobgeweblichen Zerlegung die MR-Tomographie bereits als Referenz diente.

Material und Methoden

Das hier vorgestellte Projekt ist Teil einer Gesamtstudie, die im Detail von THOLEN *et al.* (2003b) im vorangehenden Beitrag

beschrieben wird. Daher wird an dieser Stelle nur eine kurze Beschreibung der MRT gegeben. Mit Hilfe der auch als Kernspintomographie bezeichneten Magnet-Resonanz-Tomographie können überlagerungsfreie Schichtbilder verschiedener Körperregionen generiert werden, die sich durch einen hohen Weichgewebekонтраст auszeichnen. Sehr vereinfacht dargestellt, basiert die MRT auf den magnetischen Eigenschaften von Wasserstoffatomkernen (Protonen), die in einem Magnetfeld mit Radiowellen spezifischer Frequenz angeregt werden und ihrerseits – ähnlich wie bei dem Anschlagen einer Stimmgabel – Signale aussenden. Diese werden zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Anregung aufgenommen und von einem Computer in Bilder umgesetzt. Die in einem MR-Bild dargestellten Signalintensitäten (Grauwerte) sind dabei von einer Vielzahl messtechnischer und gewebespezifischer Einflussgrößen abhängig. Abbildung 1 zeigt im Hintergrund eine Schweineschlachthälfte im MR-Tomographen des Instituts für Tierzucht Mariensee mit vier transversalen Schnittbildern aus den Körperregionen Schulter, Brust, Lende und Schinken.

Mit einer Spinecho-Sequenz, d.h. einer Aufnahmetechnik, die zu verschiedenen Zeitpunkten nach Anregung der Protonen sog. Echobilder erzeugt, wurden Messblöcke mit je sieben Schichtaufnahmen bei einer Schichtdicke von 8 mm und einem Abstand von 16 mm aufgenommen. Um den gesamten Schlachtkörper vom Hals bis zum Eisbein zu erfassen, war die Aufnahme von bis zu 13 Messblöcken notwendig. Bei einer vorgegebenen Bildmatrix von je 256 Zeilen und 256 Spalten und einem Bildfenster von 46,08 cm betrug die Bildauflösung, d.h. die Größe der Bildpunkte 1,8 x 1,8 mm. Die Verarbeitung der MR-Bilder erfolgte mit dem Programmpaket Analyze 4.0 (© Analyze Direct, Lenexa KS, USA). Da Knochengewebe in MR-Bildern nicht über Grauwertschwellen von Muskel- und Fettgewebe separiert werden kann, mussten Knochen manuell in den Bildern gekennzeichnet werden. Nach dieser Maskierung wurden die Schnittbilder einer multispektralen Analyse unterzogen, d.h. es

wurden zwei Echobilder zur Einteilung der Bildpunkte in Muskel- oder Fettgewebe herangezogen. Aus der Summe der Muskel- und Fettflächen über alle Schichten, multipliziert mit dem Schichtabstand, wurden die Muskel- und Fettvolumina des gesamten Schlachtkörpers in Anlehnung an die in der Stereologie weit verbreitete Cavalieri-Methode berechnet (ROBERTS *et al.*, 1993).

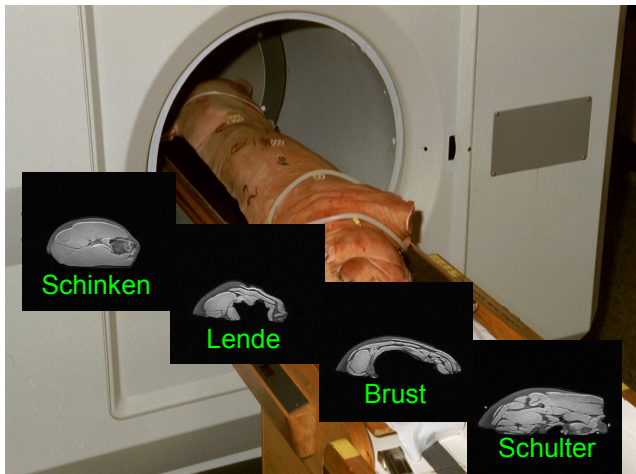


Abb. 1: Magnet-Resonanz-Tomographie an der Schlachthälfte: Transversalschnitte aus verschiedenen Körperregionen. (Die auf dem Schlachtkörper angebrachten Markierungen dienen der anatomischen Orientierung bei der Bildanalyse).

Ergebnisse und Diskussion

Gesamte Schlachthälfte

Da die Auswertung der Bilddaten zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Beitrages noch nicht vollständig war, basieren die vorgestellten Ergebnisse auf insgesamt 176 Tieren. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass die Hybriden die höchsten absoluten Muskelmassen aufwiesen. Die mit der Cavalieri-Methode aus den MR-Bildern bestimmten Muskelvolumina waren durchgehend niedriger als die Muskelmasse nach Zerlegung. Dies liegt zum Einen an dem spezifischen Gewicht von Muskulatur, das größer als eins ist, zum Anderen aber an einer bei Zerlegung und Tomographie nicht völlig übereinstimmenden Abgrenzung des Schlachtkörpers. Die aus Zerlegung und Tomographie berechneten Muskelfleischanteile sind nicht direkt miteinander vergleichbar,

da sie eine unterschiedliche Bezugsgröße haben: im Falle der MRT ist dies die Summe aus Muskel- und Fettvolumen, während bei der Zerlegung das Muskel durch das Hälftegewicht geteilt wird. Auffallend ist die im Vergleich zu den anderen Herkünften sehr niedrige Standardabweichung beim Muskelfleischanteil der Piétrain-Schweine, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass von dieser genetischen Gruppe nur die beiden unteren Gewichtsklassen besetzt sind.

Die Beziehungen zwischen den Muskelvolumina und den über die Vollzerlegung bestimmten Muskelmassen sind in Tabelle 2 dargestellt. Während die Beziehungen mit $r > 0,98$ für die Mutterlinien und die Masthybriden sehr eng sind, fällt der Korrelationskoeffizient für die Vaterline Pi mit $r = 0,94$ geringfügig niedriger aus. Beim Vergleich der Muskelanteile ist der für die Rasse Piétrain berechnete Korrelationskoeffizient mit $r = 0,77$ deutlich niedriger als der für die Mutterlinien und die Hybriden, für die Werte von über 0,9 berechnet wurden.

Tabelle 3 zeigt die Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse mit Hilfe der mit MRT bestimmten Muskel- und Fettvolumina aus den verschiedenen Körperbereichen. Der niedrigste Schätzfehler sowohl absolut (307 g) als auch relativ in Form des Variationskoeffizienten (1,63 %) tritt bei den Tieren der Mutterlinien auf. Die fleischreicheren Hybriden und Vaterlinien weisen mit über 400 g höhere Schätzfehler auf, liegen jedoch alle deutlich unter 2 % Variation. Die Korrelationen liegen in allen Herkünften bei $R = 0,99$.

Diese Schätzung ist im Vergleich zur Untersuchung an lebenden Tieren, über die BAULAIN und HENNING (2001) berichteten, deutlich besser. Die bei Tieren der Deutschen Landrasse aufgetretenen Schätzfehler von über 500 g werden hier bei den vergleichbaren Tieren der Mutterlinien mit ca. 300 g klar unterschritten. Dies liegt zum einen daran, dass es sich in der früheren Studie um Lebendmessungen handelte, aber auch daran, dass die Bildverarbeitung seitdem weiterentwickelt und verbessert wurde.

Tab. 1: Mittelwerte und Standardabweichungen für Muskelfleisch nach Zerlegung und MRT

	<i>Piétrain</i>		<i>DE/DL</i>		<i>BHZP</i>		<i>Westhybrid</i>	
	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x
Muskelmasse _{ZER} [kg]	25,946	2,227	23,494	2,141	26,292	3,583	26,296	3,064
Muskelvolumen _{MRT} [l]	23,022	2,246	21,061	1,940	23,575	3,435	23,493	3,120
Muskelanteil _{ZER} [%]	64,77	1,95	51,27	2,98	58,36	3,23	58,14	3,21
Muskelanteil _{MRT} * [%]	81,49	2,95	64,87	4,37	73,86	4,64	73,34	4,16
	n = 16		n = 33		n = 61		n = 66	

* Muskelanteil_{MRT} = Muskelvolumen / (Muskelvolumen + Fettvolumen)

Tab. 2: Korrelationen zwischen Muskelmasse und Muskelvolumen bzw. den entsprechenden Muskelfleischanteilen, erfasst durch grobgewebliche Zerlegung und MR-Tomographie

		<i>Piétrain</i>	<i>DE/DL</i>	<i>BHZP</i>	<i>Westhybrid</i>
Muskelmasse _{ZER}	Muskelvol. _{MRT}	0,94	0,99	0,98	0,98
Muskelanteil _{ZER}	Muskelanteil _{MRT} *	0,77	0,95	0,96	0,92

* Muskelanteil_{MRT} = Muskelvolumen / (Muskelvolumen + Fettvolumen)

Tab. 3: Genauigkeit der Schätzung der Muskelmasse (Absoluter und relativer Schätzfehler, multiple Korrelation)

	<i>Piétrain</i>	<i>DE/DL</i>	<i>BHZP</i>	<i>Westhybrid</i>
RMSE [g]	424	307	448	494
CV [%]	1,63	1,31	1,71	1,88
R	0,99	0,99	0,99	0,99

RMSE: root mean square error; CV = RMSE/Mittelwert

Die Schätzung des Muskelfleischanteiles ist ebenfalls mit hoher Genauigkeit möglich (Tab. 4). Für die Mutterlinie ergab sich mit 0,6%-Punkten der niedrigste Fehler. Die Vaterlinie zeigt ebenfalls einen niedrigen Schätzfehler, aber die Korre-

lation zu den Werten aus der Zerlegung ist mit R=0,86 geringer als bei DE/DL und den Hybridherkünften. Die relative Schätzgenauigkeit in Form der Variationskoeffizienten liegt für alle Herkünfte unter zwei Prozent.

Tab. 4: Genauigkeit der Schätzung des Muskelfleischanteiles (Absoluter und relativer Schätzfehler, multiple Korrelation)

	<i>Piétrain</i>	<i>DE/DL</i>	<i>BHZP</i>	<i>Westhybrid</i>
RMSE [%]	1,02	0,62	0,95	1,06
CV [%]	1,58	1,20	1,63	1,82
R	0,86	0,98	0,96	0,95

RMSE: root mean square error; CV = RMSE/Mittelwert

Es stellt sich die Frage, warum bei den mageren Piétrain-Tieren nicht eine ähnlich hohe Genauigkeit der Fleischanteilschätzung wie bei den Hybriden und/oder den fetten Mutterlinien zu erreichen ist: Ein limitierender Faktor bei der MRT ist die niedrige Bildauflösung, d.h. die mit 1,8 mm Kantenlänge relativ großen Bildpunkte. Dünne Fettgewebeschichten lassen sich bei dieser Auflösung nicht optimal von dem umgrenzenden Gewebe trennen. Das gleiche gilt aber auch für die Zerlegung: das bei Piétrain relativ weiche und in dünnen Schichten vorkommende Fett lässt sich deutlich schlechter vom Muskelfleisch separieren als dickere Fett-schichten.

Teilstück Bauch

Die Genauigkeit der MRT zur Bestimmung der geweblichen Zusammensetzung von Teilstücken soll hier am Beispiel des Schweinebauches dargestellt werden. BAULAIN *et al.* (1998) untersuchten insgesamt 197 Bäuche der Herkunft Piétrain (Pi), Piétrain x Deutsche Landrasse (Pix DLS) und Deutsche Landrasse (DLS) mit ähnlicher Vorgehensweise wie zuvor beschrieben. Es wurde ebenfalls eine MR-Aufnahmetechnik verwendet, die die gleichzeitige Erfassung mehrerer paralleler Scheiben ermöglichte. Aus den Gewebeflächen in den einzelnen Quer-

schnittbildern und dem Scheibenabstand wurden die Muskel- und Fettvolumina des gesamten Bauches und schließlich der Muskelanteil in Vol.-% berechnet. Nach der Untersuchung im MR-Tomographen wurden die Bäuche grobgeweblich in Fleisch, Fett, Knochen und Schwarte zerlegt.

In Tabelle 5 sind die Korrelationen zwischen den Merkmalen der Bauchzusammensetzung, erfasst durch grobgewebliche Zerlegung einerseits und mit Hilfe der MR-Tomographie andererseits, wiedergegeben. Beim Fleischanteil der Herkunft DLS und Pix DLS ergaben sich mit $r=0,93$ und $r=0,94$ sehr hohe Korrelationen. Bei den Piétrain-Schweinen war mit $r=0,72$ eine geringere Beziehung zu verzeichnen. Dies entspricht den zuvor dargestellten Ergebnissen von der ganzen Schlachthälfte. Diese schlechtere Übereinstimmung zwischen MRT und Zerlegung bei den mageren Bäuchen der Vaterlinie Piétrain kann vermutlich wie zuvor u.a. auf eine zu grobe Bildauflösung zurückgeführt werden. Aber auch hier muss berücksichtigt werden, dass auch die manuelle Zerlegung nicht frei von Ungenauigkeiten ist, insbesondere dann, wenn sehr dünne Gewebsschichten – wie im Bauch – separiert werden müssen.

Tab. 5: Korrelationen zwischen den Merkmalen der Bauchzusammensetzung, erfasst durch grobgewebliche Zerlegung und MR-Tomographie

		<i>Piétrain</i>	<i>Pi x DLS</i>	<i>DLS</i>
Zerlegung	MR-Tomographie			
Gesamtgewicht	Gesamtvolumen	0,96	0,99	0,99
Muskelgewicht	Muskelvolumen	0,89	0,95	0,94
Fettgewicht	Fettvolumen	0,92	0,97	0,96
Fleischanteil (Gew.-%)	Fleischanteil (Vol.-%)	0,72	0,94	0,93
		n = 67	n = 68	n = 62

Schlussfolgerungen und Perspektiven

Die hier vorgestellten Ergebnisse belegen, dass mit Hilfe der Magnet-Resonanz-Tomographie die Muskelmasse und der Muskelfleischanteil von Schlachthälften und Teilstücken (Bauch) von Schweinen mit sehr unterschiedlichem Genotyp exakt erfasst werden kann. Dies lässt den Schluss zu, dass die MRT als Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der Leistungsprüfung beim Schwein geeignet ist und somit die grobgewebliche Zerlegung ergänzen und langfristig sogar ersetzen kann.

Neben einem Einsatz als Referenz – wie z. B. bei dem in der Arbeit von THOLEN *et al.* (2003a) beschriebenen Geräte- bzw. Methodenvergleich bei der Beurteilung der Qualität von Schweineböcken – bietet die MRT weitere interessante Anwendungs-

perspektiven für die Tierzucht. Dreidimensionale Darstellungen des Schlachtkörpers und seiner Teilstücke ermöglichen u. a. vorhandene Messstellen zu überprüfen und/oder neue Messpunkte für Techniken, die routinemäßig in der Leistungsprüfung eingesetzt werden, zu simulieren. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 2 die aus einer Serie von Querschnittsbildern durchgeführte dreidimensionale Rekonstruktion eines Kotelett-Teilstranges. Weiteres Potential kann in der Einrichtung einer Datenbank mit virtuellen Schlachtkörpern gesehen werden, auf die in nachfolgenden Untersuchungen erneut zugegriffen werden kann. So erscheint durchaus denkbar, auf mit Hilfe dreidimensionaler Bildgebungstechniken langfristige Veränderungen der Körperzusammensetzung und etwaige Verschiebungen von Körperproportionen zu dokumentieren und für züchterische Zwecke zu nutzen.

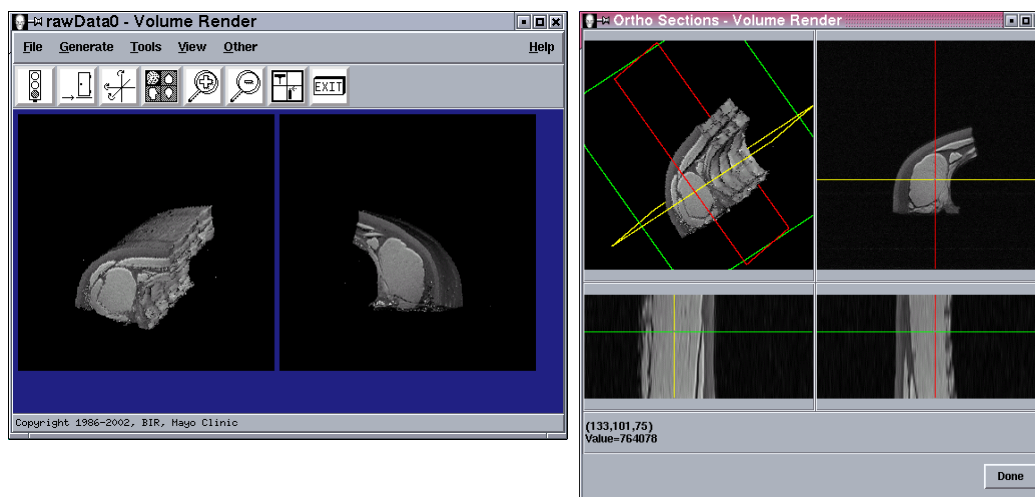


Abb. 2: 3-D-Rekonstruktion eines Kotelettabschnittes aus transversalen MR-Schnittbildern (linkes Bild) mit multiplanarer Ansicht (rechtes Bild)

Literatur

BAULAIN, U., HENNING, M., THOLEN, E., WITTMANN, W. und PESCHKE, W. (1998): Objektive Erfassung des Fleischanteils im Schweinebauch. 2. Mitteilung: Verwendung von Bildinformationen aus dem MR-Imaging. *Züchtungskunde*, 70: 205-212.

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

KOLSTAD, K. (2001): Fat deposition and distribution measured by computer tomography in three genetic groups of pigs. *Livest. Prod. Sci.* 67:281-292

LAMBE, N.R., YOUNG, M.J., MCLEAN, K.A., CONINGTON, J. and SIMM, G. (2003): Prediction of total body tissue weights in Scottish Blackface ewes using CT scanning. *Animal Science* 76:191-197

MITCHELL, A.D., Scholz, A.M., Wang, P.C. and Song, H. (2001): Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. *J. Anim. Sci.* 79:1800-1813

ROBERTS, N., CUZ-ORIVE, L.M., REID, N.M.K., BRODIE, D.A., BOURNE, and EDWARDS, R.H.T. (1993): Unbiased estimation of human body composition by the Cavalieri method using magnetic resonance imaging. *J. of Microsc.* 171:239-253

SZABO, C.S., BABINSZKY, L., VERSTEGEN, M.W.A., VANGEN, O., JANSMAN, A.J.M. and KANIS, E. (1999): The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: a review. *Livest. Prod. Sci.* 60:1-11

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

THOLEN, E., WIESE, M., BAULAIN, U., HÖRETH, R. und HOPPENBROCK, K.H. (2003b): Schätzung des Muskelfleischanteiles von stationär leistungsgeprüften Zuchtschweineherkünften. *Mitteilungsblatt der BAFF*, Nr. 161:241-250

