

ARMIN M. SCHOLZ und MARTIN FÖRSTER

Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Körperzusammensetzung von Schweinen *in vivo*

Abstract

Title of the paper: **Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) for the determination of the body composition of pigs *in vivo***

New methods for the measurement of the body composition *in vivo* (or post mortem) like DXA need to be evaluated before routine use in livestock research or performance testing. Two body weight groups of pigs I) 30 – 50 kg (n=61) and II) 70 – 90 kg (n=62) were studied in this analysis. The whole bodies of the pigs were analyzed by a GE Lunar DPX-IQ scanner *in vivo* for the amount and percentage of fat, lean tissue, bone mineral, and the bone mineral density as well. Three days later, pigs were slaughtered and after a 24 h cooling period, the reference parts (shoulder, loin, side, and ham) of the left carcass half were dissected into lean meat, fat, bone, tendons, connective tissue and skin according to the EU reference method. Generally, DXA variables explained a high proportion of variation ($R^2 > 0.8$; $\sqrt{MSE} = 70 - 784$ g) in the tissue masses of the reference parts (fat, muscle, bone) in both weight groups. The fat percentage of the reference parts and the DXA whole body results (*in vivo*) showed a very high relationship with a maximum $R^2 = 0.82$ ($\sqrt{MSE} = 1.47\%$) for group II. Slightly lower was the relationship between the lean meat content (%) of the reference parts and DXA results *in vivo* ($R^2 = 0.72$; $\sqrt{MSE} = 1.75$) for group II. The bone percentage was predicted with $R^2 = 0.3$ ($\sqrt{MSE} = 0.64$), caused by the very different analysis methods. Generally, DXA is a suitable method for growth studies in the above body weight range. In order to predict the percentage of muscle (lean meat) or fat tissue accurately by DXA, pigs should weigh > 50 kg, since the soft tissue percentages of group I resulted in $R^2 \leq 0.38$ ($\sqrt{MSE} \leq 2.55$).

Key Words: pig, dual energy X-ray absorptiometry, body composition, *in vivo*, dissection

Zusammenfassung

Neue Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung wie die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie müssen vor einem routinemäßigen Einsatz in der Nutztierforschung oder Leistungsprüfung evaluiert werden. Zwei Gewichtsgruppen von Schweinen I) 30–50 kg (n=61) und II) 70–90 kg (n=62) wurden in dieser Studie analysiert. Mit Hilfe eines GE Lunar DPX-IQ-Scanners wurde der Fett-, Magerweichteil- und Knochenmineralgehalt (in g bzw. %) sowie die Knochenmineraldichte der kompletten Tiere *in vivo* untersucht. Drei Tage später erfolgte die Schlachtung der Tiere. Nach einer 24-stündigen Kühlungsphase wurden Schulter, Rücken, Seite und Schinken der linken Schlachthälfte grobgeweblich in Muskelfleisch, Fett, Knochen, Sehnen, Faszien und Schwarte nach der EU-Referenzmethode zerlegt. In beiden Gewichtsgruppen erklärten die DXA-Variablen einen hohen Anteil der Variation ($R^2 > 0,8$; $\sqrt{MSE} = 70-784$ g) in den Gewebemassen von Fett, Muskelfleisch und Knochen der Referenzteilstücke. Zwischen dem Fettgehalt (%) der Referenzteilstücke und den *In-vivo*-DXA-Ergebnissen bestand bei einem maximalen R^2 von 0,82 ($\sqrt{MSE} = 1,47$) eine hohe Beziehung in der Gruppe II. Geringfügig niedriger war die Beziehung zwischen dem Muskelfleischanteil der Referenzteilstücke und den DXA-Ergebnissen der Gruppe II ($R^2 = 0,72$; $\sqrt{MSE} = 1,75$), während der Knochenanteil nur ein $R^2 = 0,3$ ($\sqrt{MSE} = 0,64$) aufwies. Generell ist DXA eine geeignete Methodik für Wachstumsstudien zwischen 30 und 90 kg, wobei Fett (%) oder Muskelfleisch (%) erst ab 50 kg Lebendmasse genauer bestimmt werden können.

Schlüsselwörter: Schwein, Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie, Körperzusammensetzung, *in vivo*, Zerlegung

Einleitung

Im Rahmen von Wachstumsuntersuchungen sowie für die Leistungsprüfung von Zuchttieren ist es notwendig, frühzeitig exakte Informationen über die Körperzusammensetzung der Tiere zu erhalten. Geeignete Methoden sollten nicht invasiv und relativ schnell durchführbar sein. Ein in der Humanmedizin aber mittlerweile auch im Nutztierbereich häufiger eingesetztes Verfahren zur Ermittlung der Körperzusammensetzung ist die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie, die es gestattet, nicht invasiv die Gewebekompartimente Fett, Magerweichgewebe und Knochenmineral zu bestimmen. BUYSE et al. (2003) beim Geflügel, MITCHELL und SCHOLZ (1997), MITCHELL et al. (1996, 2002), DUNSHEA et al. (2003), OSTROWSKA et al. (2003) beim Schwein sowie HAMPE et al. (2005) beim Kalb setzten die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Veränderung der Ganzkörperzusammensetzung während des Wachstums ein. Für die Verwendung der DXA-Methodik wird vorausgesetzt, dass der Wassergehalt der fettfreien Masse mit ca. 74 % konstant bleibt (WANG et al., 1999). Da wachsende Tiere diesen Idealvorstellungen eines fixen Wassergehalts in der fettfreien Masse nicht entsprechen und damit Diskrepanzen zwischen den DXA-Gehalten an Fett, Magerweichgewebe sowie Knochenmineral und den chemischen Analysewerten (bzw. den Ergebnissen aus einer grobgeweblichen Zerlegung) verursachen, sind umfassende Referenzuntersuchungen zur Erzeugung genauerer Schätzgleichungen erforderlich (PIETROBELLI et al., 1998; LUKASKI et al., 1999). Im Gegensatz zu den anhand von vergleichenden Schlachtkörperanalysen ermittelten Genauigkeiten der DXA-Analyse (MITCHELL et al., 1998; MARCOUX et al., 2001; SCHOLZ et al., 2002; SUSTER et al., 2003) existieren nur wenige Arbeiten zur Genauigkeit der DXA-Methodik am lebenden „juvenilen bis adulten“ Schwein (SVENDSEN et al., 1993; MITCHELL et al., 1996, 2002; LUKASKI et al., 1999; SUSTER et al., 2003), die mit Ausnahme der Arbeiten von MITCHELL et al. (2002) und SUSTER et al. (2003) auf geringen Tierzahlen (n=7-20) beruhen. Zudem basieren die genannten Arbeiten auf anderen DXA-Geräten (GE Lunar DPX bzw. DPX-L, Hologic 2000W bzw. QDR4500) als in der vorliegenden Studie (GE Lunar DPX-IQ). Als Referenzmethodik wird jeweils die chemische Analyse verwendet, während hier die EU-Referenzzzerlegung nach WALSTRA und MERKUS (1995) zur Anwendung gelangt.

In dieser Untersuchung soll geklärt werden, mit welcher Genauigkeit die In-vivo-DXA-Messwerte die Resultate aus der Referenzzzerlegung voraussagen können und wie geeignet DXA für die Verwendung in Wachstumsversuchen beim Schwein in einem Lebendmassebereich zwischen 30 und 90 kg ist.

Material und Methode

Tiermaterial

In zwei Lebendmassegruppen I) 30–50 kg und II) 70–90 kg wurden insgesamt 123 zufällig ausgewählte Probanden (n=61 bzw. n=62) in den Versuch einbezogen, der durch die Regierung von Oberbayern unter dem Aktenzeichen 209.1/211-2531-46/02 genehmigt wurde.

Die Zuordnung der Probanden zu Rasse, Geschlecht und Gewichtsgruppe ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Alle Tiere entstammten aus der Aufzucht des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim und wurden zweiphasig, rationiert gefüttert. In der Vor-

mastphase bis ca. 70 kg Lebendmasse enthielt das Futter 13,9 MJ ME und 18% Rohprotein in der Originalsubstanz bzw. in der Endmastphase 13,7 MJ ME und 16% Rohprotein. Bei durchschnittlich 40,1 kg variierte der Lebendmassebereich in der ersten Gruppe zwischen minimal 27 kg und maximal 52 kg, während in der zweiten Gruppe der Lebendmassebereich bei einem Durchschnitt von 79,6 kg zwischen minimal 64 kg und maximal 105 kg lag.

Tabelle 1

Tiermaterial nach Gewichtsguppe, Geschlecht und Rasse bzw. Kreuzungsgenotyp (Animal groups according to body weight, sex, breed or crossbred genotype)

Rasse/Kreuzung	Gruppe I (30-50 kg)			Gruppe II (70-90 kg)		
	Geschlecht		Total	Geschlecht		Total
	Männliche Kastraten	Weiblich		Männliche Kastraten	Weiblich	
Deutsche Landrasse (DL)	7	11	18			
Pietrain (PI)	5	16	21	8	29	37
PI x Deutsches Edelschwein	2		2	1	5	6
PI x DL	10	10	20	5	5	10
PI x Schwäbisch Hällisches				5	4	9
Total	24	37	61	19	43	62

DXA-Analyse

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie beruht auf einem Drei-Komponenten-Modell für die Gewebezusammensetzung. Es unterscheidet zwischen Fett- und Magergewebe als Weichgewebe sowie Knochengewebe (Abb.). Anhand der gewebeabhängig variierenden Schwächung von polyenergetischen Röntgenstrahlen bzw. Photonen wird der Gehalt und die Verteilung von Fett- und Magerweichgewebe sowie von Knochenmineralien im Gesamtkörper oder ausgewählten Körperregionen mit Hilfe einer speziellen Software ermittelt (PIETROBELLI et al., 1996; JEBB, 1997; MITCHELL and SCHOLZ, 2001; SCHOLZ et al., 2002).

Während des zeilenweise durchgeführten Scanvorgangs wird der komplette Tierkörper in eine Serie von Bildpunkten (Pixel) aufgeteilt. Für jeden Bildpunkt wird die Röntgen- bzw. Photonen schwächung in zwei verschiedenen Energieniveaus gemessen. Das Verhältnis der Röntgenschwächung für beide Energieniveaus wird als Röntgenschwächungskoeffizient (R-Wert) bezeichnet. Um mit DXA drei Gewebekomponenten schätzen zu können, muss zuerst eine Aufteilung in Bildpunkte erfolgen, die nur Weichgewebe (Fett- und Magerweichgewebe) bzw. die sowohl Weichgewebe als auch Knochenmineralstoffe enthalten. Weichgewebe, welches hauptsächlich aus Wasser und organischen Verbindungen besteht, reduziert den Photonenfluss zu einem viel geringeren Grad als Knochenmineral. Der R-Wert für Knochenmineral liegt mit >2,8 demzufolge weit höher als für Weichgewebe. Bei Energieniveaus von 38 bzw. 70 keV weist Fettgewebe einen R-Wert von ca. 1,2 und Magerweich- bzw. Muskelgewebe von ca. 1,35 auf. Aufgrund der hohen R-Wert-Unterschiede zwischen Knochen- und Weichgewebe kann über eine software-interne Schwellensetzung zwischen Bildpunkten (Pixel) für Knochenmineral und Bildpunkten, die allein aus Weichgewebe bestehen, differenziert werden. In den Regionen ohne Knochenmineral basiert der Anteil von Fett- und Magerweichgewebe ebenfalls auf einer geeigneten Kalibrierung in Bezug auf den Weichgewebe-R-Wert. Die Zusammensetzung der „reinen“ Weichgeweberegionen wird auf die Weichgeweberegionen, die das Knochengewebe über- bzw.

unterlagern, extrapoliert, um den Ganzkörperfett- bzw. Magerweichgewebegehalt zu bestimmen (PLANK, 2005).

Vor der In-vivo-Untersuchung wurden die Tiere ca. 16-18 Stunden genüchtert. Während der Nüchterungsphase stand den Tieren allein Wasser ad libitum zur Verfügung. Zur Vorbereitung der DXA-Analyse erfolgte zunächst eine Sedierung mit Ketaminhydrochlorid (Ursotamin® 11,5 mg/kg) und Azaperon (Stresnil® 1,2 mg/kg) i.m.. Nach 10 bis 15-minütiger Wartezeit wurden für die anschließende Narkose 15 - 20 (17,3) mg/kg Ketaminhydrochlorid (Ursotamin®) in eine Ohrvene injiziert. Anschließend wurden die Schweine in ventraler Position mit seitlich abgestreckten Vordergliedmaßen auf dem DXA-Tisch platziert und unter Verwendung des Ganzkörpermodus „Adult normal“ (GE Lunar Softwareversion 4.7e) von rostral nach caudal gescannt.

Zusammensetzung		Knochen Ergebnisse							
Standard Analyse - DEXA Kalibrierungen					Standard Analyse - DEXA Kalibrierungen				
Region	R-Wert	% Fett	Gewebe (g)	Fett (g)	Muskel (g)	Region	BMC* g	Fläche* cm ²	BMD g/cm ²
KOPF	-	-	6498	-	-	KOPF	380.63	217.96	1.746
ARME	1.349	21.9	11915	2613	9302	ARME	399.01	422.45	0.945
BEINE	1.359	16.7	15529	2593	12936	BEINE	429.76	477.57	0.900
RUMPF	1.358	17.3	43570	7549	36021	RUMPF	956.21	1044.55	0.915
RIPPEN	1.357	17.9	25061	4496	20565	RIPPEN	378.69	516.20	0.734
BECKEN	-	-	9713	-	-	BECKEN	245.31	242.66	1.011
WS ges	-	-	8796	-	-	WS ges	332.22	285.70	1.163
THORAX	-	-	6456	-	-	THORAX	242.35	202.75	1.195
LWS	-	-	2340	-	-	LWS	89.87	82.94	1.083
GESAMT	1.355	18.7	77512	14462	63050	GESAMT	2165.61	2162.53	1.001

Abb.: Beispiel für Ganzkörperergebnisse aus der Standard-DXA-Analyse (links: Weichgewebe-Analyse, rechts: Knochenmineral-Analyse) [Example of whole body results of standard DXA analysis; left: soft tissue analysis, right: bone mineral analysis) – BMC=Bone Mineral Content, BMD=Bone Mineral Density]

Obwohl im Ergebnis der Röntgendurchstrahlung ein zweidimensionales Bild entsteht (Abb.), ist DXA nicht direkt von einer Bildauswertung abhängig wie z.B. die Magnetresonanztomographie oder Röntgen-Computer-Tomographie. Das Ergebnis der Ganzkörperanalyse („Gesamt“) ist unabhängig von den in der Abbildung definierten Regionen, solange der komplette Tierkörper in den insgesamt zu analysierenden Bereich eingeht. Unter Verwendung des Standardanalyseverfahrens des GE-Lunar-DPX-IQ-Gerätes ist keine weitere Manipulation der vordefinierten Körperregionen nötig, falls keine regionale Analyse gewünscht wird.

Zerlegung

Als anerkanntes Verfahren zur Evaluierung neuer Techniken für die Bestimmung der Körperzusammensetzung kann nach einheitlichen Regeln die EU-Referenzzerteilung von Schlachttieren bzw. von repräsentativen Teilstücken einer Schlachthälfte in Muskelfleisch, Fett (sowie Schwarte und Sehnen) und Knochen verwendet werden (WALSTRA and MERKUS, 1995; Verordnung (EWG) Nr. 2967/85 bzw. neu: EG-Verordnung 3127/94).

Die Schlachtung der Tiere erfolgte jeweils drei Tage nach der In-vivo-DXA-Analyse im Versuchsschlachthaus der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub. Das Schlachtgewicht (warm) der 61 Probanden der Gruppe I variierte zwischen 19,2 und 42,2 kg, während in der Gruppe II das niedrigste Schlachtgewicht (warm) 51,8 kg und das höchste 83,8 kg betrug.

Nach ca. 24 Stunden Kühlung wurde die linke Schlachthälfte (ohne innere Organe und umgebendes Fett) nach der EU-Referenzmethode, der stark vereinfachten Kulmbacher Referenzmethode, zerlegt (WALSTRA and MERKUS, 1995; HÖRETH, 2000, persönliche Mitteilung). Zunächst wurde die linke Schlachthälfte grob in die für die Feinzerlegung vorgesehenen Teilstücke Schulter (Bug), Kotelett (Rücken), Schinken und Bauch (Seite) getrennt. Diese Teilstücke wurden in Muskelfleisch, Sehnen und Bindegewebe, Fett (subkutanes und intermuskuläres Fett), Haut (Schwarte) und Knochen zerlegt. Das Filet ging neben den Zerlegeverlusten als zusätzliches unzerlegtes Teilstück in den Muskelfleischanteil ein. Allein beim Kotelett (Rücken) wurde die Schwarte nicht vom subkutanen Fett getrennt, so dass für die Berechnung des Fettanteils der grobgeweblich zerlegten Teilstücke die Schwarte der Rückenregion in den Fettanteil eingeht. Für den prozentualen Fett-, Muskelfleisch- bzw. Knochenanteil der linken Schlachthälfte wurde jeweils das Verhältnis aus Fett-, Muskelfleisch- bzw. Knochenmasse der zerlegten Teilstücke zur Summe der zerlegten Teilstückgewichte (inklusive Filet) berechnet. Abweichend zum oben beschriebenen Muskelfleischanteil der Referenzteilstücke ist der Muskelfleischanteil (MFWM%) nach der modifizierten Formel von WALSTRA und MERKUS (1995) mit einem Multiplikationsfaktor von 1,3 im Verhältnis zum Gewicht der linken Schlachthälfte berechnet worden:

Muskelfleisch modifiziert nach Walstra und Merkus (MFWM, kg) = [Bugfleisch + Kotelettfleisch + Bauchfleisch + Schinkenfleisch + Filet + Bugzerlegeverlust + Kotelettzerlegeverlust + Bauchzerlegeverlust + Schinkenzerlegeverlust] * 1,3.

Die vom Muskelfleisch während der grobgeweblichen Zerlegung abtrennbaren Bestandteile von Sehnen und Faszien wurden nicht dem Muskelfleisch angerechnet.

Der prozentuale Muskelfleischanteil (MFWM%) ergibt sich aus:

$$\text{MFWM (kg)/Schlachthälftengewicht (kg)} \times 100.$$

Der Magerweichgewebegehalt enthält zusätzlich zum Muskelfleischanteil den Schwarten- und Sehnenanteil. Der Schwartenanteil begrenzt sich jedoch wie oben beschrieben nur auf die Teilstücke Schinken, Bug und Bauch, da die Schwarte des Rückenbereiches nicht vom Rückenspeck (subkutanen Fettgewebe) separiert wurde. Die richtige Zuordnung der Schwarte (Haut) zum Fett- oder Magerweichgewebe ist nicht eindeutig geklärt, da der Fettgehalt von Schweinehäuten zwischen 5 und 30 % variieren kann (HERFELD, 1990; SCHARNOW, 2005). Nach eigener Ansicht wäre eine Zuordnung zum Magerweichgewebe und nicht zum Fettgewebe, wie nach WALSTRA und MERKUS (1995) vorgesehen, richtig, da GRAY and YARDLEY (1975) in den Zellen der Epidermis (Oberhaut) unterschiedlicher Schweinegenotypen nur einen Lipidgehalt von ca. 8 % in der Trockensubstanz feststellten. Die darunterliegende Dermis (Lederhaut oder Korium) besteht hauptsächlich aus Muskelzellen, Bindegewebszellen (Kollagen), und Talgdrüsen. Allein die Subcutis (Unterhaut) ist größtenteils aus adipösem Fett und Bindegewebe sowie Nervengewebe und

Blutgefäßen zusammengesetzt. Bei der hier mit Ausnahme des Rückenbereiches vorgenommenen Separation von der Schwarte wird das Unterhautgewebe dem subkutanen Fettgewebe zugeordnet, so dass die verbleibende Schwarte mit Ausnahme des Rückenbereiches dem Magerweichgewebe zuzuordnen ist.

Die prozentualen Gewebeanteile (Fett, Muskelfleisch, Magerweichgewebe und Knochen) der Referenzteilstücke der linken Hälfte wurden mit der Ganzkörperzusammensetzung der lebenden Tiere aus der DXA-Messung verglichen.

Statistische Auswertung

Für die Ermittlung der Genauigkeit der DXA-Ergebnisse im Vergleich zu den Ergebnissen aus der EU-Referenzerlegung wurde im ersten Schritt eine einfache lineare Regressionsanalyse mit dem Modul „Proc Reg“ des Statistikpaketes SAS 8.02 durchgeführt. Die Merkmale aus der Zerlegung dienen als abhängige Variable in der Regressionsanalyse.

In einem zweiten Schritt erfolgte eine Stepwise-Regressionanalyse mit dem Ziel, die DXA-Variablen zu identifizieren, die in Kombination oder einzeln den höchsten Anteil an der Variation der Zerlegeergebnisse erklären. Als potentielle unabhängige Variable gingen die DXA-Gewebemerkmale (Fett, Magerweichgewebe, Knochenmineral) in Gramm bzw. prozentual zur DXA-Gewebemasse sowie die Knochenmineraldichte (BMD, g/cm^2) und der Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizient (R) in die Berechnung ein. Da die Tiere entsprechend ihrer Lebendmasse für den Versuch selektiert wurden, ging die DXA-Gewebemasse (entspricht der Lebendmasse) nicht als potentielle unabhängige Variable in die Stepwise-Regression ein. Nach einer Simulationsstudie von ENGEL et al. (2003) würde eine Berücksichtigung von Variablen (Merkmalen), nach denen die Tiere für die Referenzuntersuchung selektiert wurden, die Aussagekraft der ermittelten Regressionsgleichungen negativ beeinflussen. Die Signifikanzgrenze zur Aufnahme und zum Verbleib in der Regressionsgleichung wurde jeweils mit $p \leq 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Gruppe I: 30 – 50 kg Lebendmasse (Tabellen 2, 3)

In Tabelle 2 wird ein Überblick zu den Mittelwerten und Standardabweichungen der mittels DXA bzw. EU-Referenzerlegung erfassten Merkmale für die Gruppe I und II gegeben.

Die nicht in Tabelle 3 aufgeführte Beziehung zwischen durchschnittlichem Schlachtgewicht warm (31,6 kg) und In-vivo-DXA-Gewebemasse ($\bar{X}=40,1$ kg) wies erwartungsgemäß ein hohes Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,98$ auf. Die minimalen Abweichungen in der Regression ($\sqrt{\text{MSE}}=0,97$ kg) sind hauptsächlich durch die dreitägige Wartezeit zwischen DXA-Analyse (*in vivo*) und Schlachtung bedingt.

Das durchschnittliche linke Schlachthälftengewicht (kalt) als Summe der zerlegten Gewebefraktionen (inklusive Zerlegeverlusten und Filet) und nicht zerlegter Schlachthälften-Teilstücke Kopf und Backe, Kamm (einschließlich Kammspeck mit Schwarte), Zuwamme, Brustspitze sowie Eisbein hinten bzw. vorn lag bei $14,31 \pm 3,08$ kg und zeigte ebenfalls mit einem $R^2=0,99$ ($\sqrt{\text{MSE}}=0,55$ kg) die erwartete enge Beziehung zum Schlachtgewicht (warm).

In der Gruppe I betrug die aus Schlachtgewicht warm (inklusive Kopf) und DXA-Gewebemasse berechnete Schlachtausbeute durchschnittlich 78,8 %. Die Summe aus DXA-Magerweichgewebe (LEAN, g), DXA-Fettgewebe (FAT, g) und DXA-Knochenmineralgehalt (BMC, g) ergibt die DXA-Gewebemasse, die der Lebendmasse entspricht.

Speziell der prozentuale Knochenmineralanteil aus der DXA-Analyse (Gruppe I: 2,11) weicht erwartungsgemäß stark vom Knochengehalt (%) der Referenzteilstücke ab (10,25). Die deutlich höheren Werte bei der Zerlegung resultieren hauptsächlich aus der Bewertung des kompletten Knochensystems. Dieses enthält inklusive Knochenmark Fettanteile zwischen 17,6 und 27,9 % bzw. Wasseranteile zwischen 33,9 und 25,8 % (MITCHELL et al., 2001), während bei der DXA-Messung allein der Mineralgehalt (BMC) der Knochen gemessen wird.

Tabelle 2

Ergebnisse aus der EU-Referenzzerlegung und der In-vivo-DXA-Analyse für Schweine beider Gewichtsgruppen (Results of EU reference dissection and DXA analysis in vivo for pigs of both weight groups)

Variable	Gruppe I: 30-50 kg		Gruppe II: 70-90 kg	
	MW	SD	MW	SD
DXA Gewebemasse (g) in vivo	40108	7475	79615	10420
DXA Magerweichgewebe (g) in vivo	35128	5957	61684	6786
DXA Fettgewebe (g) in vivo	4120	1757	15681	5173
DXA Knochenmineralgehalt (g) in vivo	860	236	2249	472
Schlachtgewicht (kg, warm)	31,64	6,63	65,47	9,37
Hälftengewicht (links, kalt, kg)	14,31	3,08	30,04	4,34
Summe der Referenzteilstückgewichte der linken Schlachthälfte inklusive Kopf, Backe, Zuwamme, Brustspitze, Kamm, Eisbein hinten und vorn				
Muskelfleisch Referenzteilstücke+Filet+Zerlegeverluste (g)	7062	1629	15053	2149
Fettmasse (g) Referenzteilstücke	1626	524	4090	1125
Knochenmasse Referenzteilstücke (g)	1017	159	1746	256
Sehnen und Schwarten; Referenzteilstücke (g)	409	88	743	147
Restmasse Zerlegung (g) Kopf, Backe, Zuwamme, Brustspitze, Kamm, Eisbein hinten und vorne	4198	866	8406	1245
Magerweichgewebe Referenzteilstücke (g)	7471	1702	15796	2254
Muskelfleisch (%; modif. Formel Walstra & Merkus 1995)	64,00	3,21	65,25	3,39
Muskelfleischanteil (%) Referenzteilstücke	69,75	2,99	69,72	3,30
Fett (%) Referenzteilstücke	15,93	2,90	18,74	3,50
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	10,25	1,21	8,11	0,77
Magerweichgewebeanteil (%) Referenzteilstücke	73,82	2,81	73,15	3,27
DXA Magerweichgewebe (%) in vivo	87,93	3,14	77,83	4,80
DXA Fett (%) in vivo	9,96	2,99	19,37	4,64
DXA Knochenmineralanteil (%) in vivo	2,11	0,23	2,80	0,27

(MW=Mittelwert und SD=Standardabweichung; MW=arithmetic mean, SD=standard deviation)

Erwartungsgemäß bestehen zwischen den korrespondierenden Gewebemassen aus der Teilstückzerlegung und der DXA-Analyse höhere Beziehungen als zwischen den prozentualen Gewebeanteilen (siehe Tab. 3). Die höchsten Bestimmtheitsmaße weisen die Magerweichgewebe- bzw. Muskelfleischmasse ($R^2=0,94$ bzw. $0,93$) gefolgt von der Fettmasse ($R^2=0,78$) auf. Leicht vermindert ist die Vorhersagegenauigkeit der In-vivo-Untersuchung über den DXA-Knochenmineralgehalt (g) für die Knochenmasse aus Zerlegung ($R^2=0,73$).

Die aus der Referenzuntersuchung gewonnenen Werte für den prozentualen Fettanteil der zerlegten Teilstücke der linken Schlachthälfte stehen in mittlerer Beziehung zu den

In-vivo-DXA-Ergebnissen für den durchschnittlichen Fettgehalt ($R^2 = 0,36$). Noch niedriger ist die Beziehung zwischen dem Knochenanteil aus Zerlegung (%) und dem In-vivo-Knochenmineralgehalt (BMPC, %) mit einem R^2 von 0,27 bzw. zwischen dem Muskelfleischanteil der Referenzteilstücke (%) und dem In-vivo-DXA-Magerweidgehalt (%) mit einem R^2 von 0,15.

Tabelle 3

Beziehungen zwischen Ergebnissen der EU-Referenzerlegung und der In-vivo-DXA-Analyse für Schweine der Gruppe I (30 - 50 kg) [Relationship among results of EU reference dissection and DXA analysis *in vivo* for pigs of weight group I (30-50 kg)]

Abhängige Variable EU- Referenzerlegung	Unabhängige Variable DXA-Messwerte (in vivo)	R ² (adjusted)	√MSE	Intercept (Std. Error)	Slope (Std. Error)
Muskelfleisch (g) Referenzteilstücke	Magerweidgebilde (g)	0,93	424,89	-2217,7581 (327,9898)	0,2642 (0,0092)
Muskelfleisch (%) (Walstra & Merkus '95)	Magerweidgebilde (%)	0,10	3,05	33,5659 (11,0437)	0,3462 (0,1255)
Muskelfleisch (%) Referenzteilstücke	Magerweidgebilde (%)	0,15	2,75	35,7126 (9,9788)	0,3871 (0,1134)
Muskelfleisch (%) Referenzteilstücke	Fett (%)	0,15	2,75	73,8234 (1,2339)	-0,4093 (0,1187)
Muskelfleisch (%) Referenzteilstücke	Weidgebilde-Röntgen- schwächungskoeffizient (R)	0,10	2,83	-136,9466 (73,8015)	150,7514 (53,8265)
Magerweidgebilde (g) Referenzteilstücke	Magerweidgebilde (g)	0,94	414,04	-2268,7385 (319,6129)	0,2773 (0,009)
Magerweidgebilde (%) Referenzteilstücke	Magerweidgebilde (%)	0,19	2,54	38,6786 (9,2016)	0,3997 (0,1046)
Fettgebilde (g) Referenzteilstücke	Fettgebilde (g)	0,78	244,40	536,1893 (80,3336)	0,2645 (0,018)
Fettgebilde (%) Referenzteilstücke	Fettgebilde (%)	0,36	2,33	10,0705 (1,0454)	0,5885 (0,1006)
Fettgebilde (%) Referenzteilstücke	Weidgebilde-Röntgen- schwächungskoeffizient (R)	0,36	2,33	371,1615 (60,7245)	-259,0860 (44,2890)
Knochenmasse (g) Referenzteilstücke	Knochenmineral (BMC, g)	0,73	82,39	519,4519 (40,1824)	0,578 (0,0451)
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	Knochenmineralgehalt (BMPC, %)	0,27	1,04	16,17694 (1,23745)	-2,80763 (0,58236)
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	Knochenmineraldichte (BMD, g/cm ²)	0,37	0,96	19,19529 (1,49347)	-11,47906 (1,90897)
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	Weidgebilde-Röntgen- schwächungskoeffizient (R)	0,28	1,03	-122,5205 (26,7751)	96,8329 (19,5282)

Gruppe II 70 - 90 kg (Tabellen 2, 4)

Ebenso wie in der Gruppe I lässt sich das neben den anderen Messwerten in Tabelle 2 dargestellte durchschnittliche Schlachtgewicht warm (65,5 kg) mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,98$ sehr genau durch die In-vivo-DXA-Gewebemasse ($\bar{X}=79,6$ kg) voraussagen. Die Abweichungen von der Regressionsgeraden ($\sqrt{MSE}=1,48$ kg) sind wie bereits beschrieben hauptsächlich durch die dreitägige Wartezeit zwischen DXA-Analyse *in vivo* und Schlachtung bedingt.

Das durchschnittliche linke Schlachthälftengewicht (kalt) lag bei 30,04 kg und wies wie in Gruppe I mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,99$ ($\sqrt{MSE}=0,71$ kg) die erwartete enge Beziehung zum Schlachtgewicht (warm) auf. In der Gruppe II lag die durchschnittliche Schlachtausbeute erwartungsgemäß mit 82,3 % höher als in Gruppe I.

Im Vergleich zur Gruppe I ist die absolute Differenz zwischen prozentuaalem Knochenmineralanteil aus der DXA-Analyse (Gruppe II: 2,80) und dem Knochengehalt (%) der Referenzteilstücke (8,11) etwas geringer ausgefallen.

Wie in der Gruppe I bestehen zwischen den korrespondierenden Gewebemassen aus der Teilstückzerlegung und der DXA-Analyse höhere Beziehungen als zwischen den prozentualen Gewebeanteilen (Tab. 4). Die höchste Beziehung weist hier jedoch die Fettgewebemasse ($R^2=0,89$) gefolgt von der Magerweichgewebe- und Muskelfleischmasse ($R^2=0,82$) auf. Niedriger ist wiederum die Vorhersagegenauigkeit der In-vivo-Untersuchung für die Knochenmasse ($R^2=0,72$).

Tabelle 4

Beziehungen zwischen Ergebnissen der EU-Referenzerlegung und der In-vivo-DXA-Analyse für Schweine der Gruppe II (70–90 kg) [Relationship among results of EU reference dissection and DXA analysis *in vivo* for pigs of weight group II (70-90 kg)]

Abhängige Variable aus EU-Referenzerlegung	Unabhängige Variable DXA-Messwerte (in vivo)	R^2 (adjusted)	\sqrt{MSE}	Intercept (Std. Error)	Slope(s) (Std. Error)
Muskelfleisch (g) Referenzteilstücke	Magerweichgewebe (g)	0,82	913,98	-2654,8831 (1069,9785)	0,2871 (0,0172)
Muskelfleisch (%) (Walstra & Merkus '95)	Magerweichgewebe (%)	0,50	2,41	26,2928 (5,0046)	0,5005 (0,0642)
Muskelfleisch (%) Referenzteilstücke	Magerweichgewebe (%)	0,66	1,93	26,17304 (4,01232)	0,55947 (0,05146)
Muskelfleisch (%) Referenzteilstücke	Fett (%)	0,68	1,88	81,05734 (1,03219)	-0,58551 (0,05184)
Muskelfleisch (%) Referenzteilstücke	Weichgewebe-Röntgen-schwächungskoeffizient (R)	0,69	1,85	-309,39938 (32,66180)	280,49021 (24,16443)
Magerweichgewebe (g) Referenzteilstücke	Magerweichgewebe (g)	0,82	947,38	-2830,9439 (1109,0705)	0,3020 (0,0179)
Fettgewebe (g) Referenzteilstücke	Fettgewebe (g)	0,89	369,87	866,2219 (151,0479)	0,2056 (0,0092)
Fettgewebe (%) Referenzteilstücke	Fettgewebe (%)	0,74	1,80	6,18533 (0,98956)	0,64827 (0,04970)
Fettgewebe (%) Referenzteilstücke	Weichgewebe-Röntgen-schwächungskoeffizient (R)	0,75	1,74	439,73427 (30,83229)	-311,47278 (22,81090)
Knochenmasse (g) Referenzteilstücke	Knochenmineral (BMC, g)	0,72	135,97	707,9550 (0,4616)	0,4616 (0,0369)
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	Knochenmineralgehalt (BMPC, %)	n.s. (P>0,05)			
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	Knochenmineraldichte (g/cm ²)	n.s. (P>0,05)			
Knochenanteil (%) Referenzteilstücke	Weichgewebe-Röntgen-schwächungskoeffizient (R)	0,15	0,71	-35,22809 (12,59041)	32,06420 (9,31486)

Die bei der Referenzerlegung gewonnenen Werte für den prozentualen Fettanteil der zerlegten Teilstücke der linken Schlachthälfte stehen in enger Beziehung zu den In-vivo-DXA-Ergebnissen für den durchschnittlichen Fettgehalt ($R^2=0,74$). Etwas niedriger ist die Beziehung zwischen dem Muskelfleischanteil der Referenzteilstücke (%)

und dem In-vivo-DXA-Magerweichgewebegehalt (%) mit $R^2=0,66$. Alternativ zum DXA-Magerweichgewebegehalt (%) erklärt der Weichgewebe-R-Wert bzw. der DXA-Fettgehalt (%) einen nahezu identisch hohen Anteil in der Variation des Muskelfleischanteils der Referenzteilstücke ($R^2=0,69$ bzw. $0,68$). Bedeutend ungenauer lässt sich jedoch der nach der Formel von WALSTRA und MERKUS (1995) berechnete Muskelfleischanteil aus den DXA-Ergebnissen ableiten. Exemplarisch wurde hier nur die Regression zum DXA-Magerweichgewebegehalt mit einem $R^2=0,5$ ($\sqrt{MSE}=2,41$) dargestellt. Die Ursache für die geringere Beziehung liegt in der Methodik der EU-Referenzzzerlegung sowie der entsprechenden Formel zur Berechnung des Muskelfleischanteils begründet. Da bei der EU-Referenzzzerlegung - wie in Material und Methodik beschrieben - nicht alle Teilstücke der linken Hälfte grobgeweblich zerlegt werden, der Referenzmuskelfleischanteil aber „einfach“ über einen Multiplikationsfaktor 1,3 auf das Gewicht der kompletten Schlachthälfte hochgerechnet wird, sind entsprechende Ungenauigkeiten vorprogrammiert. Speziell die Variation von Fett- und Muskelgewebe im Teilstück Kamm aber auch den anderen nicht zerlegten Teilstücken Zuwamme, Brustspitze, Eisbein hinten und vorn bleibt völlig unberücksichtigt. Diese Nachteile der EU-Referenzzzerlegung führen auch dazu, dass in der Gruppe II zwischen dem Knochenanteil aus Zerlegung und dem In-vivo-Knochenmineralgehalt (BMPC, %) keine signifikante Beziehung festgestellt wurde.

Stepwise Regression

In einem zweiten Analyseschritt wurde eine Stepwise-Regression durchgeführt, um die DXA-Variablen zu identifizieren, die den höchsten Anteil der Variation in den Merkmalen aus der grobgeweblichen Zerlegung erklären (Tabellen 5, 6). Wie für die Regression zwischen den Einzelmerkmalen wurden im Lebendmassebereich 30–50 kg niedrigere Beziehungen zwischen den prozentualen Gewebeanteilen aus der Zerlegung und der DXA-Analyse ermittelt als im höheren Lebendmassebereich von 70-90 kg (Tab. 5).

Tabelle 5

Höchste (multiple) Beziehungen zwischen den prozentualen Gewebeanteilen aus der Referenzzzerlegung und In-vivo-DXA-Analyse [Highest (multiple) relationships among tissue proportions from reference dissection and DXA analysis *in vivo*]

Gewichtsgruppen	30 - 50 kg (n=61)		70 - 90 kg (n=62)	
	R ² adj.	\sqrt{MSE}	R ² adj.	\sqrt{MSE}
Muskelfleisch (%)	0,38	2,55	0,72	1,75
DXA-Variable(n)	Magerweichgewebe (g), Fett (g), BMD (g/cm ²)		R, BMPC (%)	
Fett (%)	0,36	2,32	0,82	1,47
DXA-Variable(n)	Magerweichgewebe (%)		R, BMPC (%)	
Knochen (%)	0,58	0,79	0,30	0,64
DXA-Variable(n)	BMD(g/cm ²), Magerweichgewebe (%), R		R, BMPC (%), BMD (g/cm ²)	

BMD=Bone Mineral Density; BMPC=Bone Mineral (%); R=Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizient

Der durchschnittliche Muskelfleischanteil (%) der Referenzteilstücke aus grobgeweblicher Zerlegung wird in der Gruppe II am stärksten durch den Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten und den Knochenmineralgehalt (%) erklärt (multiples $R^2=0,72$). Hingegen erklären in der Gruppe I die Fettmasse (g), die Magerweich-

gewebemasse (g) und die Knochenmineraldichte (g/cm^2) gemeinsam den höchsten Anteil der Variation im Muskelfleischanteil (%) der Referenzteilstücke.

In die Gleichung für den Fettanteil (%) aus der grobgeweblichen Zerlegung wurde nicht wie erwartet der durchschnittliche DXA-Fettgehalt (%) sondern für die Gewichtsgruppe I der Magerweichgewebegehalt (%) bzw. für die Gruppe II der Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizient (R) und der DXA-Knochenmineralgehalt (%) aufgenommen. Allein das multiple Bestimmtheitsmaß der Gruppe II von $R^2=0,82$ liegt jedoch wesentlich über dem höchsten Einzel-Bestimmtheitsmaß für die Beziehung zwischen Zerlege-Fettanteil (%) und Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizient von $R^2=0,75$ (siehe Tabellen 5 und 6).

Tabelle 6

Höchste (multiple) Beziehungen zwischen den Gewebemassen aus der Referenzzzerlegung und In-vivo-DXA-Messergebnissen [Highest (multiple) relationships among tissue weights from reference dissection and DXA analysis *in vivo*]

Gewichtsgruppen	30 – 50 kg (n=61)		70 –90 kg (n=62)	
	R ² adj.	√MSE	R ² adj.	√MSE
Muskelfleisch (g)	0,93	424,89	0,87	783,97
DXA-Variable(n)	Magerweichgewebe (g)		Magerweichgewebe (g), BMC (g)	
Fett (g)	0,84	208,29	0,92	312,91
DXA-Variable(n)	Fett (g), Fett (%)		Fett (g), BMC (g), BMD (g/cm^2)	
Knochen (g)	0,80	70,34	0,81	110,68
DXA-Variable(n)	Magerweichgewebe (g)		BMPC (%), Magerweichgewebe (g)	

BMD=Bone Mineral Density; BMPC=Bone Mineral (%); BMC=Bone Mineral Content (g)

Obwohl in der Gruppe II der durchschnittliche Knochenanteil aus Zerlegung jeweils allein keine signifikante Beziehung zum DXA-Knochenmineralgehalt (%) und der Knochenmineraldichte (g/cm^2) aufweist (Tab. 4), gehen diese beiden Variablen neben dem Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten in die multiple Regressionsgleichung ein (Tab. 5). Für die Gruppe I ist das multiple Bestimmtheitsmaß mit $R^2=0,56$ höher als in der Gruppe II ($R^2=0,3$), wobei hier anstelle des DXA-Knochenmineralgehaltes (%) der Magerweichgewebegehalt (%) in die Regressionsgleichung einging.

In beiden Lebendmassegruppen bewirkt eine Berücksichtigung des Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten (R), der mit einem $R^2=0,99$ ($\sqrt{\text{MSE}}=0,53$ %) für die Gruppe II bzw. $R^2=0,92$ ($\sqrt{\text{MSE}}=0,87$ %) für die Gruppe I in sehr enger Beziehung zum DXA-Fettgehalt (%) steht, eine bessere Voraussage des Knochenanteils als eine alleinige Beachtung des DXA-Knochenmineralgehaltes (BMC, g).

Erwartungsgemäß liegen in beiden Gruppen die multiplen bzw. einfachen Beziehungen zwischen den Gewebemassen aus Zerlegung und den DXA-Merkmalen mit Bestimmtheitsmaßen von $R^2 \geq 0,8$ (Tab. 6) in einem höheren Bereich als für die prozentualen Merkmale (Tab. 5).

Diskussion

In der Literatur liegen den Autoren keine bekannten Vergleichsangaben für den Lebendmassebereich 30 – 50 kg vor, da die In-vivo-Studien für das juvenile bis adulte Wachstumsstadium beim Schwein entweder wie bei SUSTER et al. (2003) bzw. SVENDSEN et al. (1993) einen weiteren Lebendmassebereich von 10 – 120 kg

(n=151) bzw. 35 – 95 kg (n=7) umfassen oder erst ab einer Lebendmasse von 52 kg (bis 113 kg, n=20) bei LUKASKI et al. (1999) bzw. ca. 90 kg (n=10) bei MITCHELL et al. (1996) oder zwischen 56 und 138 kg (n=212) bei MITCHELL et al. (2002) vorliegen. Die folgenden Angaben für LUKASKI et al. (1999) beziehen sich allein auf Tiere, die in ventraler Lage gescannt wurden. Die Ergebnisse aus dem Scan in Seitenlage, die sich nur unwesentlich vom Scan in ventraler Positionierung unterschieden, werden nicht dargestellt.

Von MITCHELL et al. (1996) und SUSTER et al. (2003) werden keine direkt vergleichbaren Angaben zur Schätzgenauigkeit der prozentualen Gewebeanteile gemacht, während SVENDSEN et al. (1993) bzw. LUKASKI et al. (1999) allein für den prozentualen Fettgehalt Bestimmtheitsmaße von $R^2 > 0,94$ ($\sqrt{\text{MSE}} = 2,9$) bzw. $R^2 = 0,95$ ($\sqrt{\text{MSE}} = 1,02$) angeben. Sowohl für die Fettgewebemasse als auch für die Magerweichgewebemasse oder Proteinmasse werden von den genannten Autoren Bestimmtheitsmaße von $R^2 \geq 0,93$ ($\sqrt{\text{MSE}} = 12-2700$) angegeben. Für die Rohaschemasse bzw. Knochenmineralmasse liegen die Bestimmtheitsmaße (R^2) zwischen 0,85 (SUSTER et al., 2003), 0,86 (SVENDSEN et al., 1993) und 0,95 (LUKASKI et al., 1999). Die Standardschätzfehler ($\sqrt{\text{MSE}}$) variieren zwischen 35 g (SUSTER et al., 2003) und 110 g (LUKASKI et al., 1999).

MITCHELL et al. (1996) führen im Gegensatz zu den anderen Arbeiten die absoluten Unterschiede zwischen den Ergebnissen der chemischen Analyse und der DXA-Untersuchung an. Bei ca. 90 kg schweren Schweinen wird durch DXA die Protein- bzw. die Lipidmasse (nicht signifikant) um 340 g über- bzw. um 1099 g unterschätzt; genauso wird die Rohaschemasse um 570 g (nicht signifikant) unterschätzt. Allein der für die DXA-Analyse berechnete Rohproteingehalt unterscheidet sich im Vergleich zur chemischen Analyse um signifikant +0,58 %. Der prozentuale Fettgehalt (-0,85) bzw. Rohaschegehalt (-0,62) unterscheidet sich nicht signifikant von den Ergebnissen der chemischen Analyse. In einer nachfolgenden Arbeit geben MITCHELL et al. (2002) für die (multiple) Schätzung des prozentualen Fettgehaltes aus der chemischen Analyse mittels Ganzkörper-DXA Bestimmtheitsmaße zwischen $R^2 = 0,85$ und 0,89 mit $\sqrt{\text{MSE}} = 2,33$ bis 1,96 (%) an. Etwas niedriger fallen die (multiplen) Schätzgenauigkeiten für den aus Protein- und Wassergehalt berechneten Magerweichgewebegehalt mit $R^2 = 0,79$ bis 0,84 und entsprechenden $\sqrt{\text{MSE}}$ von 2,07 bzw. 2,59 % aus. Der geringste Standardschätzfehler ergibt sich für die einfache Schätzgleichung unter Einbeziehung des Weichgewebe-Röntgenschwächungskoeffizienten mit einem $\sqrt{\text{MSE}}$ von 1,97 % bei einem $R^2 = 0,81$. Im vergleichbaren Gewichtsbereich (Gruppe II: 70-90 kg) des eigenen Materials besteht ebenfalls die höchste Einzelbeziehung zwischen dem hauptsächlich aus Protein und Wasser bestehenden Muskelfleischanteil der Referenzteilstücke und dem Röntgenschwächungskoeffizienten mit einem $R^2 = 0,69$ und $\sqrt{\text{MSE}} = 1,85\%$.

Diese Beziehung zwischen den Ergebnissen aus der In-vivo-DXA-Analyse und der EU-Referenzerlegung ist erwartungsgemäß bedeutend höher als zwischen dem Muskelfleischanteil (%) der zerlegten Teilstücke und dem mittels „Hennessy Grading Probe“ an der Schlachthälfte geschätzten Muskelfleischanteil ($R^2 = 0,43$; $\sqrt{\text{MSE}} = 2,48$). Die In-vivo-Vorhersagegenauigkeit des Muskelfleischanteils mittels DXA ist demzufolge auf keinen Fall schlechter als der im Rahmen der Leistungsprüfung bzw. Handelsklasseneinstufung am Schlachtkörper ermittelte Muskelfleischanteil. Für die Ge-

wichtsgruppe I wurden am Versuchsschlachthof keine Muskelfleischanteile mittels „Hennessy Grading Probe“ bestimmt, so dass kein Vergleich möglich ist.

Die Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen der In-vivo-DXA-Analyse und der grobgeweblichen Referenzteilstückzerlegung sind zum großen Teil methodischer Natur. Während z.B. im grobgeweblich ermittelten Fettgehalt (subkutan und intermuskulär) neben Fett bzw. Speck (hauptsächlich Lipid + Wasser) noch ein Teil der Schwarte (aus dem Rückenbereich) enthalten ist, besteht das DXA-Fett – in Abhängigkeit vom DXA-Modell - allein aus Lipid bzw. Fettsäuren und Triglyzeriden (aus allen grobgeweblichen Bestandteilen wie subkutanem, intermuskulärem und intramuskulärem Fett sowie zumindest teilweise Schwarte und Knochen).

Da DXA bei der Messung des Magerweichgewebes neben Muskelgewebe (vor allem Wasser, Protein, Glykogen) weitere nicht-lipidenthaltende Bestandteile von Sehnen, Schwarten und nicht-knochenassoziierte Mineralstoffe einbezieht, liegt der Muskelfleischanteil der Referenzteilstücke (Gruppe I: 69,75 % bzw. II: 69,72 %) unter den prozentualen DXA-Werten für das Magergewebe (Gruppe I: 87,93 %, II: 77,83). Außerdem werden grundsätzlich bei der EU-Referenzzerlegung nur ausgewählte Bestandteile des Körpers (der linken Schlachthälfte) untersucht, während mittels DXA der komplette Körper in die Analyse eingeht. Folglich sind die Gewebeanteile nicht direkt vergleichbar. Da mit steigender Lebendmasse die Schlachtausbeute zunimmt, ergeben sich automatisch für Tiere in den höheren Gewichtsklassen bessere Übereinstimmungen zwischen den prozentualen Gewebeanteilen der beiden Analysemethoden als bei leichteren Tieren. Aussagen über eine Unter- oder Überschätzung von Gewebeanteilen lassen sich mit der vorliegenden Studie nicht exakt treffen, da für eine Hochrechnung der Ergebnisse aus der EU-Referenzzerlegung auf den intakten Körper sehr vage Annahmen getroffen werden müssten.

Generell lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass DXA unter Verwendung des Pencilbeam-Scanners GE Lunar DPX-IQ sehr gut für die Verwendung in Wachstumsstudien beim Schwein geeignet ist, da die Gewebemassen (Muskelfleisch, Fett, Knochen) bereits im niedrigen Lebendmassebereich (30 - 50 kg) mit einer sehr hohen Genauigkeit ($R^2 \geq 0,8$) bestimmt werden. Eine genauere Voraussage ($R^2 > 0,7$, $\sqrt{MSE} < 2,5$ %) der prozentualen Weichgewebeanteile Muskelfleisch und Fett ist erst bei Tieren ab 50 kg Lebendmasse zu erwarten. Bis 50 kg Lebendmasse liegen die (multiplen) Korrelationen zwischen prozentualem Muskel- bzw. Fettanteil der Referenzteilstücke und den DXA-Ergebnissen mit $r \geq 0,6$ in einem mittleren Bereich.

Nachdem die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bereits Einzug in die Qualitätskontrolle der Schlachtindustrie gehalten hat (KRÖGER et al., 2005), sollte einer Nutzung für die Leistungsprüfung wertvoller Zuchttiere nichts mehr im Weg stehen.

Literatur

- BUYSE, J.; SWENNEN, Q.; JANSSENS, G.P.J.; DECUYPERE, E.; GEERS, R.:
Evaluation of dual-energy X-ray absorptiometry to determine the in vivo body composition of broilers. In: Progress in research on energy and protein metabolism. EAAP publication, **109** (2003), 477-480
- DUNSHEA, F.R.; SUSTER, D.; KERTON, D.J.; LEURY, B.J.:
Exogenous porcine somatotropin administered to neonatal pigs at high doses can alter lifetime fat but not lean tissue deposition. British Journal of Nutrition, **89** (2003), 795-801
- ENGEL, B.; BUIST, W.G.; WALSTRA, P.; OLSEN, E.; DAUMAS, G.:
Accuracy of prediction of percent lean meat and authorization of carcass measurement instruments: adverse effects of incorrect sampling of carcasses in pig classification. Anim. Sci., **76** (2003), 199-209
- GRAY, G.M.; YARDLEY, H.J.:

- Different populations of pig epidermal cells: isolation and lipid composition. *Journal of Lipid Research*, **16** (1975), 441-447
- HAMPE, J.; NÜSKE, S.; SCHOLZ, A.M.; FÖRSTER, M.:
Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). *Arch. Tierz., Dummerstorf* **48** (2005) 5, 428-444
- HERFELD, H.:
Bibliothek des Leders. Band 1, Die tierische Haut. ISBN 3524820042, Umschau Verlag, Frankfurt am Main, (1990) 92-167
- JEBB, S.A.:
Measurement of soft tissue composition by dual energy X-ray absorptiometry. *British Journal of Nutrition*, **77** (1997), 151-163
- KRÖGER, C.; BARTLE, C.M.; WEST, J.G.:
Non-invasive measurements of wool and meat properties. *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, **47** (2005) 1, 25-28
- LUKASKI, H.C.; MARCHELLO, M.J.; HALL, C.B.; SCHAFER, D.M.; SIDERS, W.A.:
Soft Tissue Composition of Pigs Measured With Dual X-Ray Absorptiometry: Comparison With Chemical Analyses and Effects of Carcass Thicknesses. *Nutrition*, **15** (1999), 697-703
- MARCOUX, M.; BERNIER, J.F.; POMAR, C.:
Évaluation par absorptiométrie aux rayons X de la teneur en muscles, en gras et en os du jambon, de l'épaule, du flanc et de la longe de porc. *J. Rech. Porcine Fr.*, **33** (2001), 79-85
- MITCHELL, A.D.; CONWAY, J.M.; SCHOLZ, A.M.:
Incremental changes in total and regional body composition of growing pigs measured by dual-energy-x-ray absorptiometry. *Growth, Dev. Aging*, **60** (1996), 113-123
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.:
Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) analysis of growth and composition of pigs of different ryanodine receptor genotypes. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **40** (1997) 1, 47-56
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; PURSEL, V.G.; EVOCK-CLOVER, C.M.:
Composition Analysis of Pork Carcasses by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *J. Anim. Sci.*, **76** (1998), 2104-2114
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; PURSEL, V.G.:
Total body and regional measurements of bone mineral content and bone mineral density in pigs by dual energy X-ray absorptiometry. *J. Anim. Sci.*, **79** (2001), 2594-2604.
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.:
Techniques for Measuring Body Composition of Swine (**Chapter 41**). In: *Swine Nutrition 2nd Edition* (Ed.: A.J. Lewis and L. Lee Southern), CRC Press, Boca Raton, FL, USA, (2001) 917-960
- MITCHELL, A.D.; SCHOLZ, A.M.; PURSEL, V.G.:
Prediction of the in vivo Body Composition of Pigs Based on Cross-Sectional Region Analysis of Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) Scans. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **45** (2002), 535-545
- OSTROWSKA, E.; SUSTER, D.; MURALITHARAN, M.; CROSS, R.F.; LEURY, B.J.; BAUMAN, D.E.; DUNSHEA, F.R.:
Conjugated linoleic acid decreases fat accretion in pigs: evaluation by dual-energy X-ray absorptiometry. *British Journal of Nutrition*, **89** (2003), 219-229
- PIETROBELLI, A.; FORMICA, C.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, ST.B.:
Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am. J. Physiol.*, **271** (1996), E941-E951
- PIETROBELLI, A.; WANG, Z.; FORMICA, C.; HEYMSFIELD, ST.B.:
Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *Am. J. Phys.*, **274** (1998), E808-E816
- PLANK, L.D.:
Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr. Opin. in Clin. Nutr. Metab. Care*, **8** (2005), 305-309
- SCHARNOW, R.:
Die Ware im Container. In: *Containerhandbuch – Fachinformationen der deutschen Versicherer*. (2005) Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV).
- SCHOLZ, A.M.; SOFFNER, P.; LITTMANN, E.; PESCHKE, W.; FÖRSTER, M.:
Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30-39 kg) anhand der EU-Referenzerlegung. *Züchtungskunde* **74** (2002), 376-391

SUSTER, D.; LEURY, B.J.; OSTROWSKA, E.; BUTLER, K.L.; KERTON, D.J.; WARK, J.D.; DUNSHEA, F.R.:

Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA), weight and P2 back fat to predict whole body and carcass composition in pigs within and across experiments. *Livest. Prod. Sci.*, **84** (2003), 231-242

SVENDSEN, O.L.; HAARBO, J.; HASSAGER, C.; CHRISTIANSEN, C.:

Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. *Am. J. Clin. Nutr.*, **57** (1993), 605-608

WALSTRA, P.; MERKUS, G.S.M.:

Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method. In: *PIG CARCASS CLASSIFICATION*. DLO-Research Institute for Animal Science and Health (ID-DLO), (1995)

WANG, Z.M.; DEURENBERG, P.; WANG, W.; PIETROBELLI, A.; BAUMGARTNER, R.N.; HEYMSFIELD, S.B.:

Hydration of fat-free body mass: review and critique of classic body-composition constant. *Am. J. Clin. Nutr.*, **69** (1999), 833-841

Verordnung (EWG) Nr. 2967/85 - Amtsblatt L 285 vom 25.10.1985

Verordnung der Kommission vom 24. Oktober 1985 mit Durchführungsbestimmungen zum gemeinschaftlichen Handelsklassenschema für Schweineschlachtkörper. Diese Verordnung wurde zuletzt durch folgende Maßnahme geändert:

Verordnung (EG) Nr. 3127/94 - Amtsblatt L 330 vom 21.12.1994

Eingegangen: 04.07.2006

Akzeptiert: 11.08.2006

Anschrift der Verfasser

PD Dr. ARMIN M. SCHOLZ*, Prof. Dr. Dr. habil. MARTIN FÖRSTER

Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität München

St. Hubertusstr. 12

85764 OBERSCHLEIBHEIM / GERMANY

*Autor für Korrespondenz

E-Mail: A.S@lmu.de