Computertomographie als Methode zur Analyse der Schlachtkörper von Schweinen

Computed tomography as an analytical method for pig carcases

M. JUDAS, R. HÖRETH und A. DOBROWOLSKI

Zusammenfassung

Der Handelswert von Schweine-Schlachtkörpern wird auf der Grundlage ihres Muskelfleisch-Anteils bestimmt. In Schlachthäusern werden dazu Online-Methoden zur Klassifizierung angewendet, die gegen eine verlässliche Referenzmethode kalibriert werden müssen. Innerhalb der EU ist dies zurzeit eine manuelle grobgewebliche Zerlegung. Diese Referenz-Zerlegung ist arbeitsaufwändig und teuer, weshalb computertomographische Aufnahmen ganzer Schlachtkörper als alternative Referenzmethode in Betracht kamen. In einer zweistufigen Untersuchung wurde zunächst (mit n = 20) ein CT-Messverfahren gesucht, das einen guten Kompromiss darstellt zwischen Datenqualität und Kosten. Anschließend wurden zwei Verfahren angewendet, um das Muskelfleisch-Gewicht (MFG) aus den Spektren der Röntgen-Abschwächung für ganze Schlachtkörper abzuleiten (summiertes Voxel-Volumen für einzelne Werte HU auf der Hounsfield-Skala; n = 136). Lineare Regression ergab die beste Schätzung für 10 - 100 HU mit MFG (kg) = 1,027 x Volumen (L) und einem Kalibrierungs-RMSE = 304 g. PLS-Regression ergab die beste Schätzung für 10 - 100 HU und vier Hauptkomponenten mit einem Kreuzvalidierungs-RMSE = 274 g. Der Schätzfehler von LR wie PLS betrug damit nur 1 % des mittleren Schlachtkörper-Gewichts, und entspricht damit dem impliziten Fehler der Referenz-Zerlegung. Daraus ergibt sich, dass die Kombination von CT-Aufnahmen (nach einem definierten Messschema) am besten mit PLS-Regression eine anwendungsreife Alternative zur manuellen Zerlegung darstellt.

Summary

The determination of lean meat percentage is a central issue in the evaluation of the market value of pig carcases. Online methods to be applied for classification in abattoirs have to be calibrated against a reliable reference method, at present, within the EC, a manual dissection of raw tissue components. This reference dissection is laborious and costly, and therefore CT scanning of whole carcases has been considered as an alternative reference method. In a two-stage investigation, we first evaluated a CT scanning protocol to give a good compromise between data quality and scanning costs (n = 20). Then, two procedures were examined to estimate lean meat weight (LMW) from the spectra of X-ray attenuation data for whole carcases (partial volume per Hounsfield unit HU; n = 136). With linear regression, the volume of voxels in the range 10 - 100 HU gave the best fit with LMW (kg) = 1.027 x Volume (L) and a calibration RMSE = 304 g. With PLS-regression, the best fit was obtained with a restriction to 10 - 100 HU and four principal components, with a cross-validation RMSE = 274 g. With both LR and PLS, the estimation error was as low as 1 % of mean carcase weight, which corresponds to the implicit error of the reference method, manual dissection. We conclude that CT scanning with a defined protocol, best combined with PLS-regression, provides an applicable alternative to manual dissection.

Schlüsselwörter	Schwein – Schlachtkörper – Muskelfleischanteil – EU-Referenz – Röntgen-CT – PLS-Regression
Key Words	pig – carcase – lean meat percentage – EC reference – X-ray CT – partial least squares regression

Einleitung

Die Handelswert-Klassifizierung der Schlachtkörper von Schweinen erfolgt in der Schlachtlinie mit Geräten, die den Muskelfleisch-Anteil des Schlachtkörpers bestimmen. Für die Zulassung neuer Messgeräte – wie auch bei der Aktualisierung der Schätzformeln bereits zugelassener Geräte – muss eine Kalibrierung gegen eine valide Referenzmethode erfolgen. Auf EU-Ebene stellt die manuelle grobgewebliche Zerlegung die etablierte, gesetzlich vorgegebene Referenz dar. Diese Methode hat jedoch den Nachteil eines hohen Arbeitsaufwandes, der bei der vollständigen Zerlegung einer Schlachtkörper-Hälfte 8-10 Arbeitsstunden beträgt. Zudem ist die Zuverlässigkeit eines solchen manuellen Verfahrens von der Erfahrung des Zerlegepersonals abhängig, was eine Standardisierung innerhalb der EU erschwert. Es liegt daher nahe, nach Alternativen zu suchen, die aber folgende Bedingungen erfüllen müssen:

- Präzision: sollte mindestens der Präzision der manuellen Zerlegung entsprechen
- Reproduzierbarkeit: muss eine Standardisierung des Verfahrens und eine Harmonisierung zwischen den Mitgliedsstaaten erlauben

Mit der Röntgen-Computertomographie bietet sich ein derartiges Verfahren an, welches den Vorteil hat, relativ schnell zu arbeiten und dabei die Schlachtkörper unversehrt zu lassen. Es ist daher bereits im Rahmen des EU-Projektes EUPIG-CLASS erprobt worden (DOBROWOLSKI *et al*. 2004). Die positiven Ergebnisse dieses Projektes gaben den Ausschlag, an der BFEL, Standort Kulmbach einen Computertomographen zu installieren und für die Bestimmung des Muskelfleisch-Anteils einzusetzen.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse zweier Versuche mit dem Röntgen-CT dargestellt: eines Vorversuches, in dem die Messparameter optimiert wurden, sowie eines Hauptversuches, in dem Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit evaluiert wurden.

Material und Methoden

Stichprobe und Referenzwert

Die untersuchten Schlachtkörper stammten vom Schlachthof Crailsheim der Fleischzentrale Südwest. Es wurden 136 Schlachtkörper selektiert, die die Variationsbreite von Speckdicke und Gewicht in der Gesamtpopulation deutscher Schweine abbilden, wobei die extremen Ausprägungen übergewichtet wurden (Tab. 1). Das Geschlechterverhältnis konnte nicht für alle Kombinationen gleich besetzt werden: magere Tiere waren überwiegend weiblich, bei den fetten Tieren und in der hohen Gewichtsklasse dominierten die Kastraten.

Tab. 1: Stratifizierung der Stichprobe nach Gewicht, Speckdicke und Geschlecht (Anzahl der Schlachtkörper)

Gewicht[1] (kg)	Speckdicke[2] (mm)						*m*[3]:*w*
	< 11,7	11,7 – 13,5	13,6 – 17,7	17,8 – 20,6	> 20,6	∑	
< 90	12	10	9	7	3	**41**	*21:20*
90-100	12	10	9	10	11	**52**	*23:29*
> 100	8	5	9	10	11	**43**	*29:14*
∑	**32**	**25**	**27**	**27**	**25**	**136**	
m[3]:*w*	*3:29*	*5:20*	*17:10*	*23:4*	*25:0*		*73:63*

[1] Warmgewicht des gesamten Schlachtkörpers
[2] Subkutanfett inkl. Schwarte zwischen der 2.- und 3.-letzten Rippe, 7 cm von der Spaltlinie (Ultraschallmessung)
[3] Kastraten

Der Versuch dauerte von August bis Dezember 2004. Die Schlachtung erfolgte jeweils montags; der Transport der gekühlten Schlachtkörper nach Kulmbach wurde am gleichen Tag unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Sämtliche CT-Aufnahmen erfolgten unmittelbar vor der Zerlegung der Schlachtkörper. In einem ersten Zerlegungsschritt wurden Teilstücke nach einer kombinierten DLG/ EU-Methode zugeschnitten. Anschließend wurden die Teilstücke durch ein erfahrenes Arbeitsteam in die Gewebefraktionen Muskelfleisch, Fettgewebe, Sehnen, Knochen und Schwarten zerlegt (Abb. 1). Die Bearbeitung der Schlachtkörper einer Arbeitswoche erfolgte 1-4 Tage nach Schlachtung, wobei eine durchgehende Kühlung auf 4 °C beachtet wurde. Verdunstungsverluste während der Lagerung wurden dadurch berücksichtigt, dass jede Zerlegung direkt im Anschluss an die zugehörige CT-Aufnahme erfolgte. Ein Einfluss der unterschiedlichen Lagerzeiten auf die Versuchsergebnisse konnte nicht festgestellt werden.

Jeweils die linke Hälfte eines Schlachtkörpers wurde im CT gescannt und anschließend grobgeweblich zerlegt. Als Vorbereitung wurde der Schlachtkörper entsprechend den EU-Richtlinien präpariert, d. h. Schwanz, Reste vom Zwerchfell, Diaphragma sowie Flomenbestandteile wurden entfernt. Kopf (ohne Backe) und Spitzbeine zählten zum Gesamtgewicht der Schlachtkörper-Hälfte, wurden aber bei der Präparation des Muskelgewebes nicht berücksichtigt. Das Gesamtgewicht des präparierten Muskelfleisches (MFG) stellt den Referenzwert für die CT-Analyse dar; der – geringe – Zerlegeverlust wurde in das MFG eingerechnet, da angenommen wird, dass es sich um einen Verdunstungseffekt während der Zerlegung handelt. Das Muskelgewicht bezogen auf das Gesamtgewicht der Schlachtkörper-Hälfte (rechnerisch: Summe der Teilstücke) ergab den Muskelfleisch-Anteil des Schlachtkörpers (MFA). Der MFA ist derjenige Wert, der einer Einstufung in Handelsklassen zugrunde liegt.

Abb. 1: Manuelle grobgewebliche Zerlegung der Schlachtkörper. Nach Zuschnitt der Teilstücke erfolgt die Trennung von Fett- und Muskelgewebe sowie Knochen

Computertomographie

Prinzip. Die Röntgen-Computertomographie ist ein Verfahren zur detaillierten räumlichen Untersuchung von Objekten, z. B. von Organen in der Humanmedizin (vgl. KALENDER 2000).

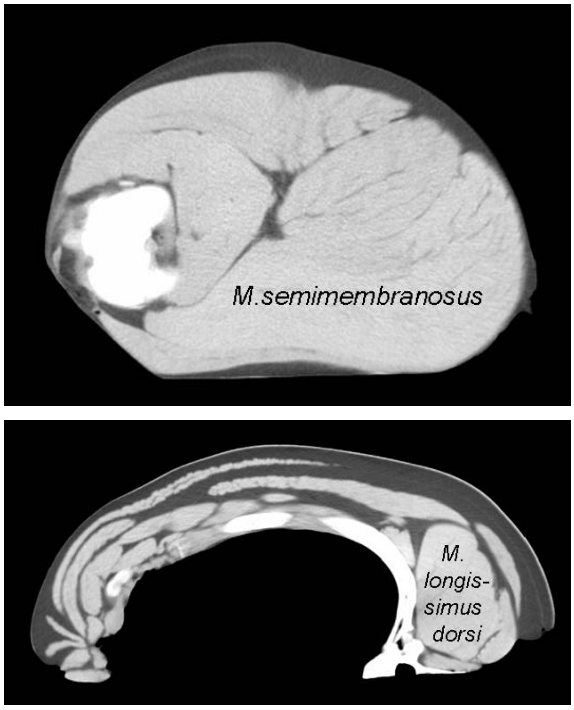

Abb. 2: CT-Aufnahmen einer Schlachtkörper-Hälfte am Beispiel des Schinken-Bereichs (oben) und des Bauch/Kotelett-Bereichs (unten). Knochen sind weiß (oben: Oberschenkel, unten: Wirbelkörper und Rippenbogen), Muskeln sind hellgrau, Fettgewebe ist dunkelgrau dargestellt. Einzelne Muskelstränge sowie intermuskuläre Fettschichten sind gut zu identifizieren

Das Verfahren basiert auf der Abschwächung von Röntgen-Strahlung; diese Abschwächung ist der Dichte der durchstrahlten Objekte proportional. Dadurch erlaubt CT die Unterscheidung von Strukturen unterschiedlicher Dichte und ist für die Trennung von Muskel- und Fettgewebe sowie Knochen sehr gut geeignet (vgl. Abb. 2). Für die CT-Aufnahme wird das Untersuchungsobjekt (hier: ein Schlachtkörper) auf einem Tisch durch eine Öffnung des Gerätes (Gantry) gefahren (Abb. 3). Um die Öffnung rotiert eine Messeinheit, deren Kernstück aus einer Röntgenröhre und einem gegenüberliegenden Detektorsystem besteht.

Abb. 3: Messaufbau zur CT-Analyse eines Schlachtkörpers. Die präparierte Schweinehälfte wird mit zwei bis drei Spiralaufnahmen vollständig erfasst

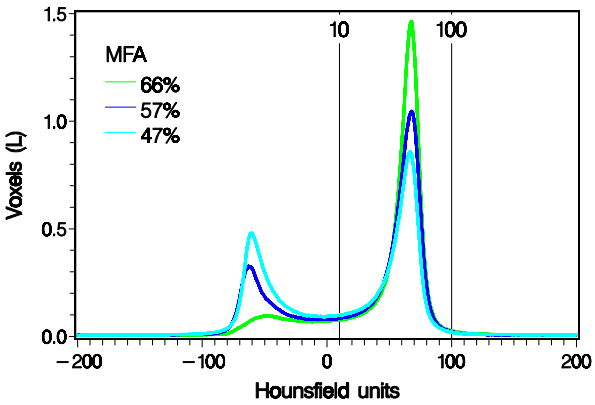

Abb. 4: Quantitative CT am Beispiel der Hounsfield-Spektren von drei Schlachtkörpern mit unterschiedlichem Muskelfleischanteil (MFA; Gewicht jeweils 51 kg). Der Bereich zwischen 10 und 100 HU ist optimal für die Bestimmung des Muskelgewichts (vgl. Abb. 5-7)

Während der Rotation der Messeinheit wird eine Schicht des Untersuchungsobjektes aus zahlreichen Richtungen durchstrahlt. Aus den Messergebnissen der einzelnen Rotationswinkel wird für jeden Raumpunkt ein spezifischer Abschwächungswert berechnet. Diese Abschwächung wird in Hounsfield units (HU) dargestellt und kann Werte annehmen zwischen -1000 für Luft (keine Abschwächung) und > 1000 für sehr dichte Objekte, wobei HU = 0 der Abschwächung durch Wasser entspricht.

Ablauf. Die Untersuchung wurde mit einem *Siemens Somatom Plus 4* durchgeführt. Die Aufnahmen erfolgten als Spiralen, d. h. bei kontinuierlichem Tisch-Vorschub durch die rotierende Messeinheit. Diese Technik erlaubt eine relativ schnelle Aufnahme, die im Regelfall pro Schlachtkörper 10 - 15 min dauerte. Aufgrund der Röhrenbelastung war es erforderlich, eine Aufnahme auf 2-3 getrennte Spiralen aufzuteilen; teilweise kam es zu notwendigen Abkühlungszeiten, die den Zeitaufwand auf 20 - 30 min erhöhten. Zur Verwaltung der CT-Aufnahmen diente das Programm *MagicView 300* (Siemens Medical Solutions, Erlangen); Datenkonvertierung und 3D-Rekonstruktion erfolgten mit *VGStudio Max 1.2* (Volume Graphics, Heidelberg).

Einstellungen. Die Messergebnisse lassen eine Darstellung einzelner Quer- oder Längsschnitte zu, und es ist auch eine vollständige 3D-Rekonstruktion möglich. Die Auflösung im Querschnitt ist dabei von der Fensterung der CT-Aufnahme abhängig und betrug im Versuch ca. 1 x 1 mm², im Längsschnitt entspricht sie der gewählten Rekonstruktions-Schichtdicke (im Hauptversuch: 10 mm). Die Qualität der Ergebnisse wird nicht nur von der Auflösung beeinflusst, sondern auch von anderen Geräte-Einstellungen, wie Rotationszeit pro Schicht, Geschwindigkeit des Vorschubs relativ zur Rotationszeit (Pitch), sowie Spannung und Stromfluss der Röntgen-Röhre. Verschiedene Parameter wurden in einem Vorversuch getestet, um einen optimalen Kompromiss zwischen Bildauflösung und Röhrenverschleiß zu finden (Tab. 2).

Tab. 2: Parameter des Röntgen-CT *Siemens Somatom Plus 4* – Spektrum der Geräte-Optionen, in einem Vorversuch getestete Parameter, und für den Hauptversuch ausgewählte Einstellungen

	Optionen	Test	Auswahl
Schichtdicke (mm)	1 – 10	5 – 10	10
Rotationszeit (s)	0,75; 1; 1,5	1; 1,5	1
Pitch[1]	0,5 – 3	1; 1,5; 2	1
Röhrenspannung (kV)	80 – 140	140	140
Röhrenstrom (mA)	43 – 360	146	146

[1] Rotationsvorschub relativ zur Schichtdicke

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung basierte auf der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Abschwächungswerte (Abb. 4). Die Verteilungen zeigten typische Peaks im Bereich um -70 HU (Fettgewebe) und um 70 HU (Muskelfleisch). Sie unterschieden sich dabei deutlich zwischen fetten und mageren Tieren: im Vergleich zu einem Tier mit mittlerem Muskelfleisch-Anteil waren die Peaks fetter bzw. magerer Tiere im Bereich des Fettgewebes größer bzw. kleiner, im Bereich des Muskelfleisches kleiner bzw. größer (Abb. 4). Dieser Unterschied in den Verteilungen der Volumina auf einzelne HU-Werte erlaubte die Schätzung des Muskelfleisch-Gewichtes (MFG), die nach zwei Ansätzen erfolgte:

1. Lineare Regression (LR): Summierung des Voxel-Volumens für einen definierten HU-Bereich, und Regression des Referenzwertes (MFG aus der Zerlegung) auf dieses CT-Volumen
2. PLS-Regression: Schätzung des Referenz-MFG durch eine Spektralanalyse der HU-Verteilungen mittels Partial Least Squares

Die LR-Schätzung ist ein einfaches, geradliniges Verfahren: iterativ wird ein HU-Bereich gesucht, der eine maximale Schätzgenauigkeit für das Referenz-MFG liefert. Der dabei berechnete lineare Regressions-Koeffizient (bei Regressions-Konstante = 0) stellt das mittlere spezifische Gewicht des so definierten Gewebes dar. Im Versuch wurde für dieses Verfahren eine maximale Kalibrierungs-Genauigkeit bestimmt. Als Schätzfehler wurde der RMSEC (*root mean square error of calibration*) berechnet. Die Vorhersage-Genauigkeit wurde nicht untersucht. Die Auswertung erfolgte mit *SAS 9.1* (SAS Institute, Carey, NC, USA).

Die PLS-Regression stellt ein multivariates Verfahren dar, das iterativ die Varianzerklärung für die abhängige wie auch die unabhängigen Variablen optimiert (NÆS *et al*. 2002). Dabei ist eine Hauptkomponenten-Analyse eingebaut, die eine Vielzahl potentieller unabhängiger Variablen auf möglichst wenige Hauptkomponenten reduziert. Dadurch ist das Verfahren besonders für die Analyse von Spektralwerten geeignet und bietet sich auch für die Analyse der HU-Häufigkeitsverteilungen an. Auf eine PLS-Analyse mit relativ vielen Hauptkomponenten erfolgt eine endgültige Analyse, in der die Anzahl der Hauptkomponenten auf ein Minimum reduziert wird. Eine ideale Anzahl lässt sich an Hand des Schätzfehlers ermitteln. Dieser nimmt für die Kalibrierungs-Daten kontinuierlich mit der Anzahl der Hauptkomponenten ab. Für Daten aus einer Kreuzvalidierung nimmt der Schätzfehler für die ersten, informativen Hauptkomponenten auf ein Minimum ab, nimmt aber wieder zu, wenn weitere, aber Informations-leere Hauptkomponenten berücksichtigt werden. Als Schätzfehler wurde ein RMSEP (*root mean square error of prediction*) berechnet, der auf einer vollständigen Kreuzvalidierung beruht (*leave-one-out cross-validation*). Zusätzlich wurde der – optimistischere – RMSEC bestimmt, um einen direkten Vergleich mit der LR-Schätzung zu erlauben. Für die Auswertung wurde *The Unscrambler 9.1* (Camo, Oslo, Norwegen) verwendet.

Der HU-Bereich, für den PLS eine optimale Schätzung liefert, wurde iterativ gesucht. Die PLS-Regression erfolgte mit zentrierten und standardisierten Voxel-Volumina pro HU-Wert. Dadurch werden gewichtete Regressions-Koeffizienten ermittelt, die die Bedeutung einzelner HU-Werte für die Differenzierung der MFG-Referenzwerte beschreiben (vgl. Abb. 6). Die eigentlichen Schätzwerte werden aber mit den re-transformierten, d. h. ungewichteten, Koeffizienten berechnet.

Ergebnisse

Lineare Regression

Eine maximale Schätzgenauigkeit wurde ermittelt für das Volumen der Voxel mit 10-100 HU (vgl. Abb. 4). Das spezifische Gewicht dieser Muskelfleisch-Voxel betrug im Mittel 1,027 g/cm³ (Abb. 5). Dies stimmte überein sowohl mit den Werten aus dem Vorversuch (1,025 g/cm³, JUDAS *et al.*, im Druck) als auch aus dem EUPIG-CLASS-Projekt der EU (1,028 g/cm³, DOBROWOLSKI, unpubl.). Der Schätzfehler (RMSEC) betrug 304 g, was 1,1 % des mittleren Schlachtkörper-Gewichtes entsprach.

Es ist anzumerken, dass ein ähnlich niedriger Schätzfehler auch für andere HU-Bereiche kalkuliert werden konnte. Diese Ergebnisse waren mit einem modifizierten spezifischen Gewicht verbunden: bei einem erweitertem HU-Bereich war das spezifische Gewicht verringert, bei einem engerem HU-Bereich erhöht. Es kann hier nicht entschieden werden, ob dies auf eine Robustheit des Verfahrens hinweist, oder ob dies Ausdruck ist für eine eher willkürliche Anpassung an einen spezifischen Datensatz.

PLS-Regression

Auch für die PLS-Schätzung erwies sich der Bereich mit 10-100 HU als optimal. Für die Differenzierung der Zielwerte (Referenz-MFG) hatten HU-Werte um 70 die größte Bedeutung (Abb. 6), Werte < 19 HU und > 92 HU gingen negativ in die Berechnung des Schätzwertes ein. Der Schätz-

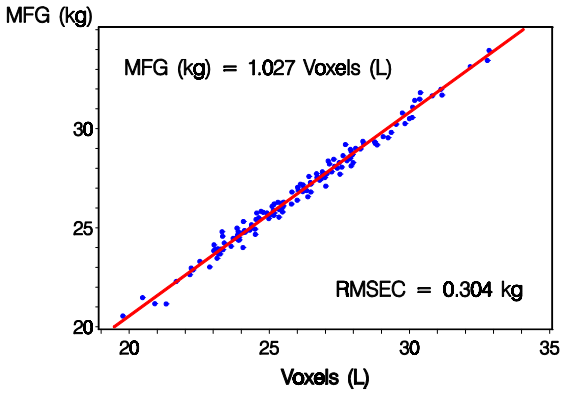

Abb. 5: Bestimmung des Muskelgewichtes durch lineare Regression (rot). Der Referenzwert (MFG) korreliert maximal mit dem Volumen der Voxels (in Litern) im Bereich 10-100 HU

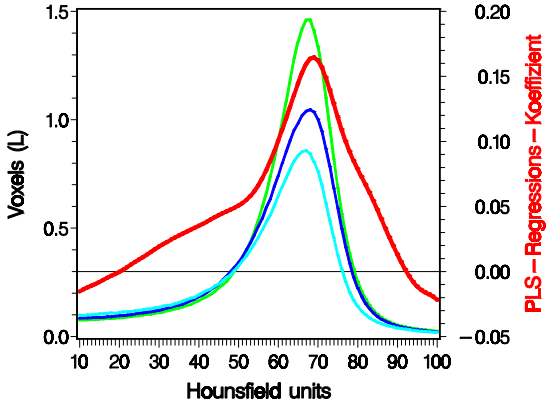

Abb. 6: Bestimmung des Muskelfleisch-Gewichtes durch PLS-Regression. Die Schätzung des Referenzwertes (vgl. Abb. 7) ist optimal im Bereich 10-100 HU mit 4 Hauptkomponenten. Die gewichteten PLS-Regressions-Koeffizienten (rot) beschreiben die Bedeutung der einzelnen HU-Werte für die Trennung der Zielwerte (n = 136; davon sind nur die HU-Spektren von drei Schlachtkörpern dargestellt, vgl. Abb. 4)

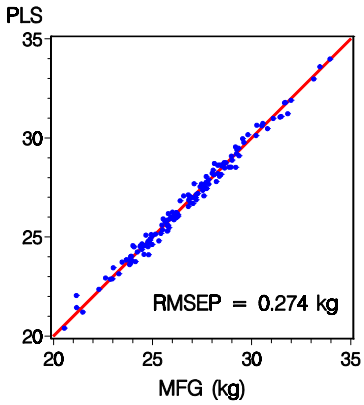

Abb. 7: Schätzung des Muskelfleisch-Gewichtes (Referenzwert MFG) durch PLS-Regression (Schätzwert PLS; 10-100 HU, 4 Hauptkomponenten, vollständige Kreuzvalidierung; rot: MFG = PLS)

fehler (RMSEP) betrug 274 g oder 1,0 % des mittleren Schlachtkörper-Gewichtes (Abb. 7). Der Schätzfehler der Kalibrierung (RMSEC) betrug 258 g oder 1,0 %.

Der Muskelfleisch-Anteil ergibt sich aus dem Muskelfleisch-Gewicht als Anteil an der Schlachtkörper-Einwaage. Der absolute Schätzfehler für den Muskelfleisch-Anteil betrug RMSEP = 0,6 %-Punkte, was ebenfalls einem relativen RMSEP = 1,0 % entsprach.

Diskussion

Unsere Versuche bestätigen das generelle Ergebnis des EUPIGCLASS-Projektes: Röntgen-CT ist sehr gut geeignet, eine präzise Schätzung des Muskelfleisch-Gewichtes zu liefern (vgl. DOBROWOLSKI *et al*. 2004). Der Muskelfleisch-Anteil, der die eigentliche Zielgröße darstellt, wird sowohl bei der CT-Analyse als auch im Referenzverfahren in Relation zur Schlachtkörper-Einwaage bestimmt. Daher ist die Genauigkeit des Muskelfleisch-Anteils nur von der Genauigkeit abhängig, mit der das Muskelfleisch-Gewicht bestimmt wird. Mit beiden Verfahren – LR und PLS – lag der Schätzfehler bei ca. 1 % des Zielwertes. Damit war er geringer als der Fehler, der im EUPIGCLASS-Projekt für die manuelle Zerlegung ermittelt wurde (NISSEN *et al*., in Vorb.), und er lag auch unter dem Fehler für eine Schlachtkörper-Analyse mit Magnet-Resonanz-Tomographie (COLLEWET *et al*. 2005).

Unter Einhaltung der Messbedingungen stellt die CT-Analyse also eine präzise und reproduzierbare Methode dar, um den Muskelfleisch-Anteil von Schlachtkörpern zu bestimmen. Dabei erscheint uns der Einsatz der PLS-Regression sinnvoller als die Lineare Regression. Bei letzterer wird eine mittlere spezifische Dichte für Muskelfleisch bestimmt, während die Dichte sowohl zwischen als auch innerhalb von Muskeln als Funktion des intramuskulären Fettgehaltes schwankt. Daher ist die Gültigkeit der gemittelten spezifischen Dichte für andere Populationen noch zu überprüfen. Demgegenüber berücksichtigt die PLS-Regression die unterschiedliche Dichte einzelner Voxels dadurch, dass jedem HU-Wert ein spezifischer PLS-Regressions-Koeffizient zugewiesen wird. Dies macht das Verfahren prinzipiell besser geeignet für eine allgemeingültige Analyse von Schlachtkörpern mit stark variierendem intramuskulärem Fettgehalt. Die Robustheit der Methode und die Verlässlichkeit der ermittelten Koeffizienten ist jedoch noch an unabhängigen Stichproben zu überprüfen.

Literatur

Collewet G., Bogner P., Allen P., Busk H., Dobrowolski A., Olsen E., Davenel A. 2005. Determination of the lean meat percentage of pig carcasses using magnetic resonance imaging. Meat Science 70: 563-572

Dobrowolski A., Romvári R., Allen P., Branscheid W., Horn P. 2004. Schlachtkörperwertbestimmung beim Schwein – Röntgen-Computertomographie als mögliche Referenzmethode. Fleischwirtschaft 84: 109-112

Judas M., Höreth R., Dobrowolski A. (im Druck). Die Bestimmung des Muskelfleisches von Schweinen mit einem Röntgen-Computertomographen. Jahresbericht 2004 der BFEL

Kalender W. 2000. Computertomographie: Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen. Publicis MCD Verlag, München

Næs T., Isaksson T., Fearn T., Davies T. 2002. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. NIR Publications, Chichester

Nissen P.M., Busk H., Oksama M., Seynaeve M., Gispert M., Walstra P., Hansson I., Olsen E. (in Vorb.). The estimated accuracy of the EU reference dissection method for pig carcass classification.