

## Röntgen-Computertomographie als mögliche Referenz für die Schlachtkörperwertbestimmung beim Schwein

X-ray computed tomography as possible reference for the pig carcass evaluation

A. DOBROWOLSKI<sup>1</sup>, R. ROMVÁRI<sup>2</sup>, P. ALLEN<sup>3</sup>, W. BRANSCHIED und P. HORN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Fleischforschung, Institut für Fleischerzeugung und Vermarktung, Kulmbach

<sup>2</sup>University of Kaposvár, Institute for Diagnostic and Oncology, Kaposvár, Hungary

<sup>3</sup>Meat Technology Department, The National Food Centre, Dublin, Ireland

### Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung sollte an einer Stichprobe von 60 Schlachtkörpern geprüft werden, ob mit Hilfe des Röntgen-Computertomographen (CT) der Muskelfleischanteil der Hälfte ähnlich genau ermittelt werden kann wie mit der physischen grobgeweblichen Zerlegung. Von den rechten und linken Schlachthälften wurden mit einem Siemens Somatom Plus 40 Spiral-Scanner jeweils ca. 150 Querschnitte je Schlachtkörper aufgenommen. Aus der Zerlegung der linken Hälften stand das tatsächliche Muskelgewicht zur Verfügung. Da im Schlachtkörper die Muskulatur einen gut abgrenzbaren Bereich der Röntgenabsorption repräsentiert, wurde die Auswertung der Röntgenaufnahmen anhand von Grauwertspektren und nicht, wie üblich, durch Bildauswertung vorgenommen. Da bei dem Spiral-Scanning die Pixel des Bildes, multipliziert mit der Schichtdicke, als Volumina interpretiert werden können (Voxel), ist es möglich, mit der Summe der Voxel direkt das Muskelvolumen zu bestimmen. Aus diesem Volumen muss das Muskelgewicht berechnet werden. Hierzu wurden die Grauwertspektren in dem für die Muskulatur spezifischen Bereich mit Hilfe des PLS-Verfahrens ausgewertet und zur Berechnung von Koeffizienten genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe des Röntgen CT eine außerordentlich sichere Bestimmung des Muskelfleischanteils möglich ist ( $R^2 = 0,99$ ), wobei der Fehler ähnlich hoch wie der Zerlegefehler (um 1 %) liegt. Da vergleichend Scans der linken (zerlegt) und rechten (unzerlegt) Hälfte vorlagen, konnte belegt werden, dass morphologische Unterschiede zwischen beiden Hälften bestehen. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass im zukünftigen Einsatz des CT als Referenzgerät stets beide Hälften gescannt werden sollten. Insgesamt wird die Nutzung des Röntgen CT als Referenz für die Erfassung des Muskelfleischanteils empfohlen.

---

**Schlüsselwörter** Schweineschlachtkörper – Muskelfleischanteil – Röntgen – Computertomograph

**Key Words** pork carcasses – lean meat content – X-ray Computed Tomograph

---

### Summary

In the present investigation it should be examined on a random sample of 60 carcasses whether the lean content of the half carcass can be determined with help of the X-ray tomography (CT) as exactly as by physical tissue dissection. On both the left and the right halves respectively approx. 150 cross-sections per carcass were taken by a Siemens Somatom plus 40 Spiral scanner. From the dissection of the left halves, the actual muscle weight was available. Since in the carcass the muscular system represents a relatively well definable area of the X-ray absorption scale, the evaluation of the x-ray records was made using the greyscale histograms and not as usual through image analysis. Since at the spiral scanning the Pixels of the picture can be interpreted as volumes (Voxel) when multiplied with the slice thickness, it is possible to determine directly the muscle volume as the sum of the Voxels. From this volume the muscle weight must be converted. To achieve this, the muscle-specific range of

the grey spectra was evaluated with help of the PLS-regression and used for the calculation of coefficients. The results show that with help of the X-ray CT a most reliable determination of the lean meat content ( $R^2 = 0,99$ ) is possible, whereby the error is only as high as the dissection error (around 1 %). Since there were made scans of both the left (dissected) and right (non-dissected) sides, it could be shown that morphologic differences exist between both halves. This led to the conclusion that in the future use of the CT as reference instrument always both halves should be scanned. Altogether, the use of the X-ray CT as reference is recommended for the determination of the lean meat content.

## Einleitung

Die Handelsklasseneinstufung von Schweineschlachtkörpern entsprechend ihrem Muskelfleischanteil macht relativ aufwändige Schätzverfahren erforderlich, mit denen der Muskelfleischanteil noch frühzeitig, d. h. in der Schlachtlinie ermittelt werden kann. Ein großer Teil des Aufwandes liegt dabei in der Bereitstellung der Grundlagen, die für die Berechnung von Schätzformeln erforderlich sind. Hierfür muss entsprechend den Vorgaben der EU-Verordnung (Kommission, 1985) für jedes neue Klassifizierungssystem ein Zerlegeversuch durchgeführt werden, in dem die vorgesehenen Prädiktoren der Klassifizierungsgeräte (z. B. Fleisch- oder Speckdicken) in Beziehung zu der gesuchten Referenzgröße, also dem Muskelfleischanteil, gesetzt werden. Diese Referenzgröße kann bisher nur durch physische Zerlegung der Schlachtkörper nach der hinsichtlich Personal und Kosten aufwändigen Referenzmethode (WALSTRA und MERKUS, 1995) ermittelt werden. Da mit der modernen Computer-Tomographie eine Methode vorliegt, die einen Einblick in den gesamten Schlachtkörper bietet, sollte im Rahmen eines weitergehenden EU-Projektes (EU-Projekt G6RD-CT-1999-00127 EUPIGCLASS) geprüft werden, ob auf diesem Wege die Ermittlung des Referenzmuskelfleischanteils möglich ist. Zielsetzung der Studie war daher, auf der Basis eines Versuches mit Hilfe der grobgeweblichen Vollzerlegung einer repräsentativen Stichprobe von Schlachtkörpern zu prüfen, ob mit der Methode der Röntgen-Computertomographie der Muskelfleischanteil ausreichend genau erfasst

werden kann. Um zukünftig die derzeitige Referenzmethode durch die Computertomographie ersetzen zu können, wäre zu fordern, dass diese praktisch keine Genauigkeitsabstriche in Kauf nehmen muss.

## Material und Methoden

### Zur Untersuchung der Schlachtkörper

Die Untersuchung wurde im Institute for Diagnostic and Oncology, University of Kaposvar, Ungarn, durchgeführt. Dem Institut steht ein Röntgen-Computertomograph Siemens Somatom Plus 40 Spiral-Scanner zur Verfügung. Parallel wurde an denselben Schlachtkörpern ein Kernspin-Tomograph eingesetzt, dessen Ergebnisse jedoch hier nicht dargestellt werden.

Die Stichprobe ( $n=60$ ) wurde aus der normalen Tageschlachtung des Schlachtbetriebs Kaposvar gezogen, indem auf eine Schichtung entsprechend des Genotyps und der Verfettung geachtet wurde. Die Verfettungsstufen wurden anhand der Speckdicke festgelegt, die vom in der Betriebsklassifizierung eingesetzten Fat-o-Meat'er (Fa. SFK, DK) gemessen wurde. Dabei wurde unter 15 mm Rückenspeck als fleischig, zwischen 15-20 als mittel und über 21 mm Rückenspeckdicke als fett eingestuft.

In der Stichprobe sind die drei Genotypen Dalland, Large White/Landrasse und Seghers sowie die Geschlechter anteilig vertreten (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammensetzung der Versuchsstichprobe

Verfettung <sup>1</sup>	Dalland		LW/LR		Seghers		Gesamt	
	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich
Fleischig	-	4	4	2	4	9	8	15
Mittel	9	4	1	2	2	3	12	9
Fett	2	1	6	4	1	2	9	7
Gesamt	11	9	11	8	7	14	29	31

<sup>1</sup> nach FOM

Nach der Kühlung wurden 60 linke und dazu gehörige rechte Schlachtkörperhälften im Spiral-Scanning mit ca. 150 Querschnitten/Schlachtkörper aufgenommen. Nachfolgend wurden die linken Hälften entsprechend der EU-Referenzmethode (WALSTRA und MERKUS, 1995) in die Teilstücke und dann grobgeweblich zerlegt. Als Referenzgrößen standen das Muskelgewicht und der Muskelfleischanteil für jeden einzelnen Schlachtkörper zur Verfügung.

#### Zur Ermittlung der Messergebnisse mit Hilfe des Röntgen-CT

Die im Spiralscanning erhaltenen, elektronisch gespeicherten Querschnitte entsprechen grundsätzlich üblichen röntgenologischen Aufnahmen: Unterschiedliche Gewebetypen stellen sich entsprechend der unterschiedlichen Röntgenabsorption in unterschiedlichen Schattierungen zwischen schwarz (z. B. Luft) und weiß (z. B. Knochen) dar. Im Computertomogramm verteilen sich die überhaupt erreichbaren Schattierungen auf einer Skala mit ca. 4.000 Stufen. Die Skala wird als Hounsfield-Skala bezeichnet, auf der nach Hounsfield-Units (HU) bemessen wird (Abb. 1). Sie ist so eingestellt, dass Wasser den Wert 0 HU einnimmt und Knochengewebe mit 1.000 HU das biologisch überhaupt erreichbare Maximum erzielt. Die Muskulatur liegt zwischen Knochen und Wasser (ca. 20 – 200 HU), während Fett eine noch geringere Röntgendichte als Wasser aufweist (-20 bis -200 HU).

Es wurde in der Gestaltung des Auswertungsprogramms davon ausgegangen, dass im Schlachtkörper aufgrund der fehlenden Eingeweide nur die Gewebetypen Knochen, Fett/Bindegewebe sowie Muskulatur anzutreffen sind. Bei richtiger Zuordnung der Grauwerte zu diesem Gewebetypen kann im Röntgenbild der jeweilige Anteil der Gewebe ermittelt werden. Üblicherweise werden hierfür die Pixel des elektronischen Bildes entsprechend zugeordnet. Da im Spiralscanning Schichten bekannter Dicke gemessen werden, können nachfolgend durch Multiplikation der Pixelflächen mit der Schichtdicke virtuelle Kuben berechnet werden, die als Volumenpixel (Voxel) bezeichnet werden. Die Summe aller Voxel eines Grauwertbereiches, der einen bestimmten Gewebetyp repräsentiert, ergibt am Ende das Gesamtvolumen dieses Gewebetyps im analysierten Schlachtkörper (z. B. Gesamtvolumen Fleisch).

Da die Handelseinheit für Fleisch das Gewicht ist, muss das so erhaltene Gesamtvolumen des Fleisches im Schlachtkörper in Gesamtgewicht des Fleisches umgerechnet werden. Hierfür müsste theoretisch nur das spezifische Gewicht bekannt sein, das bei Fleisch aber je nach Verfettungsgrad unterschiedlich ist und daher geschätzt werden muss. Als Hypothese kann man hierfür unterstellen, dass Muskulatur sich röntgenologisch deshalb nicht punktuell, sondern in einem gewissen Grauwertbereich ausprägt, weil die Grauwerte mit unterschiedlicher Verfettung des

Fleisches korreliert sind. Das bedeutet, dass sich aus Grauwertspektren (Summe der Voxel über die Hounsfield-Einheiten hinweg) ein Prädiktor für das mittlere spezifische Gewicht der untersuchten Muskulatur ergeben könnte. Genau dies wird in Abbildung 2 anhand der Grauwertspektren von drei unterschiedlich verfetteten Schlachtkörpern nahe gelegt. Der extrem fleischige Schlachtkörper weist einen sehr hohen und schmalen Peak bei ca. 70 HU auf, während der sehr fette Schlachtkörper einen deutlich flacheren und in Richtung Fett ausgezogenen Peak (Linksverschiebung) zeigt. Der bei dem fetten Schlachtkörper deutlich erhöhte Zwischenbereich des Spektrums (zwischen ca. 50 und 20 HU) zeigt offensichtlich Muskulatur zunehmender Verfettung an, die bei dem fleischreichen Schlachtkörper erwartungsgemäß weitgehend fehlt.

Akzeptiert man diese Hypothese, so braucht man nicht mehr die eigentlichen Röntgenbilder nach Gewebeflächen/Volumina auszuwerten, sondern kann sich auf die Erfassung der Grauwertspektren beschränken, die man aus den ca. 150 Scans/Schlachtkörper ableiten kann. Um diese Spektren nutzen zu können, müssen jedoch, wie in Abbildung 2 für das eigene Datenmaterial gezeigt, Grenzwerte für Muskulatur (-19 bis 100 HU) und für Fett (-26 bis -100 HU) ermittelt werden. Die Summe der Voxel in diesen Bereichen entspricht dem Volumen von Muskulatur bzw. Fett im Schlachtkörper. Um aus dem Volumen das Muskelgewicht zu berechnen, wurde das PLS-Regressionsverfahren (Programmpaket Unscrambler) benutzt, das es erlaubt, zuverlässige Kalibrationsfunktionen aus Häufigkeitsspektren abzuleiten, sofern diese in Beziehung zur gesuchten Zielgröße (hier Muskelfleischgewicht) stehen. Im Folgenden wird die Validität dieses Ansatzes untersucht.

Aufgrund des komplexen experimentellen Aufbaus der Untersuchung mussten drei Lösungswege beschriftet werden, die zur Berechnung und Prüfung der Kalibrationsfunktionen führen sollten:

- Modell „Kalibrierung“: Berechnung einer Kalibrationsfunktion an 60 linken Hälften auf Basis der Ermittlung des Referenzwertes durch grobgewebliche Zerlegung an denselben Hälften.
- Modell „rechts/links“: Anwendung der obigen Kalibrationsfunktion auf 60 rechte Hälften derselben Schlachtkörper zur Schätzung der an der linken Hälfte ermittelten Referenzwerte.
- Cross Validation: Die Cross Validation prüft die Schätzgenauigkeit am Originaldatensatz (linke Hälften,  $n=60$ ), indem aus der Gesamtstichprobe sukzessive alle möglichen Teilstichproben mit  $(n-1)$  gebildet und zur Berechnung einer jeweils an die Teilstichprobe angepassten Kalibrationsformel genutzt werden. Diese Kalibrationsformeln werden dann an dem jeweils nicht in der Stichprobe enthaltenen Schlachtkörper angewendet und anhand der Übereinstimmung der erhaltenen Schätzwerte zum dazugehörigen Referenzwert geprüft. Da die geprüften Schlachtkörper jeweils nicht im Berechnungsdatensatz enthalten sind, kommt das Prüfergebnis einer neutralen Validierung gleich.

## Ergebnisse

Naturgemäß weist die Kalibrationsfunktion an der Teilstückprobe der Kalibrierung (linke Hälften vollzerlegt,  $n=60$ ) die höchste Genauigkeit und keine Verzerrung auf. Aber auch bei Anwendung derselben Kalibrationsfunktion an den entsprechenden rechten Hälften ( $n=60$ ) und Vergleich mit den an den linken Hälften gewonnenen Referenzwerten zeigt sich, dass die Vorhersagegenauigkeit nur wenig abfällt. Das Bestimmtheitsmaß ( $B\%$ ) sinkt um 1,1 %, der Schätzfehler nimmt um etwa 190 g zu. Die nunmehr auftretende Verzerrung ist 191 g.

Tab. 2: Genauigkeit der Bestimmung des Muskelgewichtes im Schlachtkörper unter Prüfsituationen

Prüfsituation	Anzahl (n)	R <sup>2</sup>	RSD	Bias
Kalibrierung	60	0,993	0,232	-
rechts/links	60/60	0,982	0,419	0,191
Cross Validation (links)	60	0,990	0,270	0,016

Die ergänzend durchgeführte „Cross Validation“ liefert ein Ergebnis, das sich von der Kalibrierung kaum unterscheidet. Mit Hilfe dieser Auswertung bietet sich aber nun die Möglichkeit, den aus dem Hälftenunterschied entstehenden Fehler (Hälftenfehler) in Unabhängigkeit vom Methodenfehler (Fehler aus Zerlegung und Scanning im Röntgen-CT; entspricht dem durch Cross validation ermittelten Fehler) zu schätzen. Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ist der kombinierte Fehler der durch das Zusammenwirken des Hälftenfehlers und des Methodenfehlers entsteht, folgendermaßen zu berechnen:

$$S_{\text{kombiniert}}^2 = S_{\text{Methode}}^2 + S_{\text{Hälften}}^2 \quad (1)$$

Wenn

$S_{\text{kombiniert}}$  (RSD = 0,419) und

$S_{\text{Methode}}$  (RSD = 0,270)

bekannt sind, führt die Formel

$$S_{\text{Hälften}}^2 = S_{\text{kombiniert}}^2 - S_{\text{Methode}}^2 \quad (2)$$

zur Berechnung eines Hälftenfehlers von  $S_{\text{Hälfte}} = 0,320$  kg. Dieser Fehler ist deutlich größer als der Methodenfehler und zeigt an, dass die Anwendung einer Schätzfunktion, die an den linken Hälften berechnet wurde, nicht auf die CT-Scans der rechten Hälfte angewendet werden sollte.

Dieses Ergebnis weist aber auf ein weiteres Problem hin: Die bisherige Praxis, nur die linke Hälfte mit der jeweiligen Referenzmethode zu untersuchen, könnte bei dem Einsatz des Röntgen-CT zu überdenken sein. Denn bei dieser Methode besteht ohne zusätzlichen Aufwand die Möglichkeit, beide Hälften gleichzeitig zu scannen. Die offenbar bestehenden mor-

phologischen Unterschiede zwischen rechter und linker Hälfte legen nahe, für die Kalibrierung von Klassifizierungsgeräten mit der Referenz des Röntgen-CT stets die Scans beider Hälften heranzuziehen.

Als letzte Fragestellung wurde geprüft, zu welchem Ergebnis die Umrechnung des ermittelten Muskelfleischgewichtes in dem eigentlich gesuchten Muskelfleischanteil führt. Hierzu wurde das vom CT ermittelte Muskelfleischgewicht als Anteil (%) des real gewogenen Hälftengewichtes berechnet. Abbildung 3 zeigt, dass diese Umrechnung praktisch nicht mit einem Verlust an Genauigkeit einhergeht. Das sehr hohe Bestimmtheitsmaß im Verhältnis zum Referenzwert von  $R^2 = 0,988$  und der niedrige Schätzfehler, der in der Größenordnung etwa 1 % des Mittelwertes des Merkmales ausmacht, belegen die Genauigkeit.

### Schlussfolgerungen

Die Untersuchung hatte zum Ziel, die Methode der Röntgen-Computertomographie als möglichen Ersatz der Referenzmethode für die Ermittlung des Muskelfleischanteils der Hälfte (grobgeweblichen Zerlegung) zu prüfen. Der Einsatz eines Computertomographen zur Ermittlung des „tatsächlichen“ Muskelfleischanteils würde insbesondere Personalkosten und Arbeitszeiten einsparen helfen.

Die Umstellung von der physischen Zerlegung auf eine neue Methode der Referenzwertermittlung setzt aber voraus, dass beide Methoden in hoher Übereinstimmung zueinander stehen. Da die grobgebliche Zerlegung eine EU-Referenz-

methode ist und noch für lange Zeit als solche bestehen bleiben wird, ist auf diese Übereinstimmung besonderer Wert zu legen.

Während die Erfassung des Muskelvolumens auf dem Wege des Spiralscannings im Röntgen-CT als Direkterfassung möglich ist, wenn tatsächlich der gesamte Schlachtkörper gescannt wird, gilt dies für das Muskelgewicht nicht. Dieses muss aus dem Muskelvolumen ermittelt werden. Als Grundlage dieser Berechnung wurde nicht der bisher übliche Weg einer Bildauswertung der Originalaufnahmen gewählt. Vielmehr wurden die Scans in ihrer Gesamtheit in Volumenpixel (Voxel) gleicher Grauwerte gruppiert und Häufigkeitsverteilungen der Grauwerte erstellt. In diesen Häufigkeitsverteilungen konnte der Bereich identifiziert werden, der für das Muskelfleisch spezifisch ist. Mit bestimmten statistischen Methoden (PLS-Regressionsverfahren) lassen sich aus solchen Verteilungsspektren Kalibrationsfunktionen extrahieren. Die auf diesem Wege erzielte Kalibrationsfunktion für das Muskelfleischgewicht der Hälfte ist mit Bestimmtheitsmaßen um  $R^2=0,99$  hoch genau, wobei der Schätzfehler nur etwa 1 % des Mittelwertes ausmacht. Diese Charakteristika bleiben auch dann erhalten, wenn das Gewicht auf den eigentlich gesuchten Muskelfleischanteil umgerechnet wird. Der Fehler der Methode liegt somit im Bereich des Fehlers, der auch bei der Zerlegung zu erwarten ist. Insofern konnte gezeigt werden, dass der Röntgen-Computertomograph als Ersatz der bisherigen EU-Referenzmethode für den Muskelfleisch-

anteil der Hälfte ernsthaft in Erwägung gezogen werden sollte.

Die Untersuchung hatte aber weiter zum Ziel, dem bisher wenig berücksichtigten Einfluss der rechten/linken Hälfte auf das Schätzergebnis näher zu beleuchten. Im Endergebnis ist festzuhalten, dass die beiden Hälften eines Schlachtkörpers wider Erwarten offensichtlich so weit morphologische Unterschiede aufweisen, dass diese nicht vernachlässigt werden sollten. Für den zukünftigen Einsatz des Röntgen-CT als Referenzmethode sollte daher geprüft werden, ob die Kalibrierung der Methode nicht mit Hilfe der röntgenologischen Scans beider Hälften durchgeführt werden könnte. Da man die beiden Hälften ohne weiteres in einem Durchlauf durch den Tomographen bearbeiten kann, wäre dies ohne zusätzlichen Zeitaufwand möglich. Hierdurch ist zu erwarten, dass der Röntgen-CT näher an die tatsächlichen Verhältnisse des Muskelfleischanteils im Schlachtkörper herankommt und somit eine deutlich verbesserte Referenz darstellt. Dies würde sich auch in der Schätzgenauigkeit der mit Hilfe des Röntgen-CT zukünftig zugelassenen Geräte positiv auswirken.

Zusammengefasst folgern wir, dass die Methode des Röntgen-CT als Ersatz der Zerlegungsmethode die hinreichende Genauigkeit aufweist. Die Methode hat den zusätzlichen Vorteil, dass sie international leichter zu standardisieren und damit in der Anwendung sicherer ist als die Zerlegungstätigkeit.

## Literatur

Kommission: Verordnung (EWG) Nr. 2967 /85 der Kommission vom 24. Oktober 1985 mit Durchführungsbestimmungen zum gemeinschaftlichen Handelsklassenschema für Schweineschlachtkörper (ABl. Nr. L 285/39), geändert durch VO EG Nr. 3127/94 vom 20.12.1994 (ABl. Nr. L 330/43)

Glasbey, C. A. and Robinson, C. D.: Estimators of tissue proportions from X-ray CT images, *Biometrics*, 58, 928-936 (2002)

Glasbey, C. A. and Robinson, C. D.: Inference from X-ray CT images of sheep, Invited talk at 52<sup>nd</sup> ISI Session, Helsinki, Finland (1999)

Jopson, N. B., Kolstad, K., Sehested, E. and Vangen, O.: Computed tomography as an accurate and cost effective alternative to carcass dissection, *CAT-Scanner Publication, Inner Vision, Invermay, New Zealand* (1995)

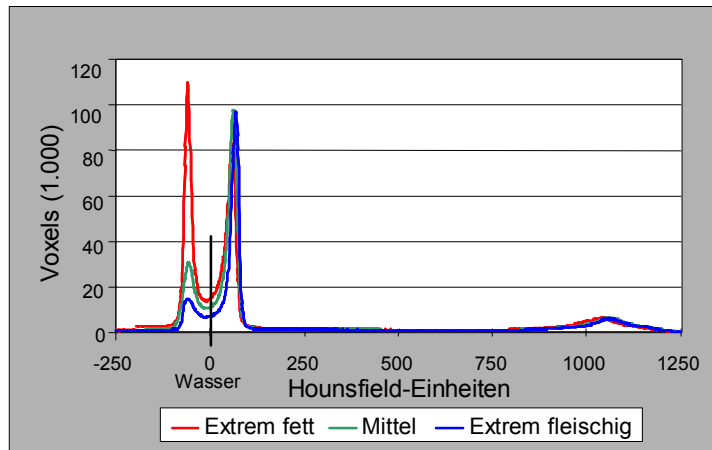


Abb. 1: Grauwert-Histogramme drei unterschiedlich verfetteter Schlachtkörper auf der Hounsfield-Skala

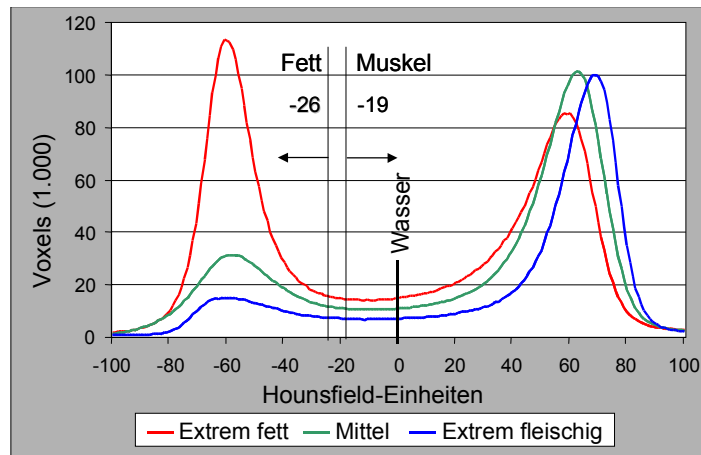


Abb. 2: Die Histogramme im Fett/Fleischbereich, mit den genau erfassten Grenzwerten zwischen Fett- und Fleischbereich

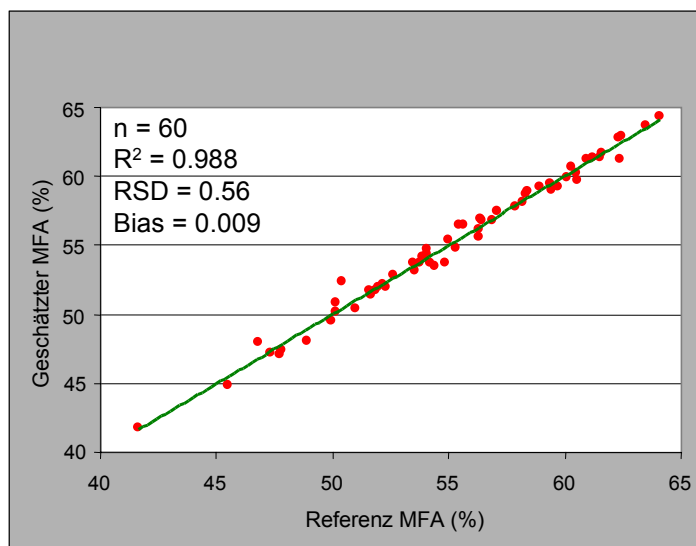


Abb. 3: Vergleich des Referenz-Muskelfleischanteils mit der Ermittlung durch CT

